

Lámpsaikos

No. 22 | pp. 1-157 | julio-diciembre | 2019 | Medellín - Colombia

Presentación Presentation

Editorial

Transformación digital en instituciones de educación superior: entre el mito y la realidad

Artificial Intelligence and the fourth industrial revolution

John William Branch

Artículos de investigación científica y tecnológica

Evaluación de las propiedades mecánicas de concretos modificados con microesferas de vidrio y residuos de llantas

Evaluation of the mechanical properties of modified concrete with glass microspheres and tire residues

Juan Pablo Valencia Villegas, Ana María González Mesa, Oscar Felipe Arbeláez Pérez

Adaptación de la teoría de la información para el régimen de propagación lineal de una red óptica DWDM de próxima generación

Adaptation of the information theory for the linear propagation regime of a next-generation DWDM optical network

Gustavo Adolfo Gómez Agredo, José Giovanni López Perafan

Desarrollo de nanomaterial con carbón activado de vástago de banano

Development of nanomaterial with activated carbon of banana stem

Esdras Nahum Quintero Ruiz, Efrén Giraldo Toro, Carlos Alberto Acevedo Álvarez

Caso de estudio del desarrollo de un videojuego basado en BCI

Case study of the development of a videogame based on BC

Erika Juliet Restrepo Zapata, Alejandro Díaz Jaramillo, Montealegre, Isabel Margarita Vega Rodríguez, Sandra Milena Velásquez Restrepo

Análisis de la variación temporal de las zonas de erosión-sedimentación en perfiles transversales de la playa de Marbella, sector túnel de Crespo, Cartagena

Analysis of the temporal variation of the erosion-sedimentation zones in cross-sectional profiles of the Marbella beach, Crespo tunnel sector, Cartagena

Alexander Muñoz Guzmán, Cesar Augusto Tovia Gracia, Lina Marcela Díaz Arellano, Edenia Del Pilar Simancas Vásquez

Plan estratégico del servicio basado en ITIL para una mypime del sector tecnológico en el departamento de Arauca- Colombia

Strategic plan based on ITIL for MSMEs in the department of Arauca-Colombia

Carlos Eduardo Puentes Figueroa, Gina Paola Maestre Góngora

Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual

Internet of things applied to agriculture: current status

Jhonatan Paolo Tovar Soto, José de los Santos Solórzano Suárez; Andrés Badillo Rodríguez, Genner Oswaldo Rodríguez Cainaba

La interactividad y la conectividad al servicio de la industria de la confección

Interactivity and connectivity at the service of the clothing industry

Leidy Vega Rodríguez, Fabio Andrés Gaviria, Luz Eugenia Botero

Reacciones químicas de los azúcares simples empleados en la industria alimentaria

Chemical reactions of simple sugars used in the food industry

Sebastián Arias Giraldo, Diana M. López Velasco

©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°. 22, julio-diciembre 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

Coordinadores de Programas

Ingeniería de Sistemas

Lina María Montoya

Ingeniería Civil

Daniel Rojas Rodríguez

Ingeniería Industrial

Lucy Ocampo

Arquitectura

Amilkar David Álvarez Cuadrado

Jefe Departamento de Fondo Editorial

Carolina Orrego Moscoso

Diseño y diagramación

Arbey David Zuluaga Yarce

Correctora de estilo

Leidy Andrea Ríos Restrepo

Traductores

Ángel Monsalve, Carlos Rojas, Andrés Salazar y Andrés Ochoa

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

Comité de Árbitros de la edición

Mariana Evangelina Cóccola, PhD
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – Universidad Tecnológica Nacional, Concepción del Uruguay, Argentina

Cristina López Granada, PhD
Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Gina Paola Maestre Góngora, PhD
Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín, Colombia

Gustavo Alejandro Schweickardt, PhD
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – Universidad Tecnológica Nacional, Concepción del Uruguay, Argentina

Diana Marcela Escobar Sierra, PhD
Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Fabián Augusto Lamus Báez, PhD
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Rosalba Ríos Galvis, PhD
Instituto Técnico Industrial Pascual Bravo, Medellín, Colombia

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

Fernán Alonso Villa, PhD
Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia

Lina Marcela Agudelo Laverde, PhD
Universidad del Quindío, Armenia, Colombia

Franklin Ferraro Gómez, PhD
Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia

Juan Alberto Hernández Martínez, MSc
Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, México

Jenny Cuatindioy Imbachi, MSc
Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Ana Elena Builes Vélez, MSc
Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

Víctor Hugo Aristizabal Tique, MSc
Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín, Colombia

Jose Eucario Parra Castrillon, MSc
Politécnico Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia

Juan Carlos Monsalve Gómez, MSc
IE Marco Tobón Mejía, Santa Rosa de Osos, Colombia

Andres Leonardo Silva Balaguera, MSc
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - UPTC - Sede Tunja, Colombia

Oscar Julián Galeano Echeverri, MSc
Instituto Técnico Industrial Pascual Bravo, Medellín, Colombia

Eder Alonso Acevedo, MSc
Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín, Colombia

Jeaneth Gutiérrez Rincón, MSc
Universidad

Juan Camilo Jaramillo, MSc.
Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia

Luisa María Jiménez Ramos, MSc..
Politécnico Gran Colombiano – Medellín, Colombia

Yenny Alejandra Aguirre Álvarez, MSc
Institución Universitaria Salazar y Herrera, Medellín, Colombia

John Jairo Castro Maldonado, MSc
Centro de Servicios y Gestión Empresarial SENA Regional Antioquia, Medellín, Colombia

Jairo Ramírez García, MSc
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia

Felipe Arbeláez Salazar, MSc
Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia de Colombia, sede Medellín, Colombia

Rubén Gómez Gutiérrez, MSc
Universidad Católica Luis Amigó Medellín, Colombia

Amilkar David Alvarez Cuadrado, MSc
Universidad Católica Luis Amigó Medellín, Colombia

Juan Felipe Muñoz Fernández, Esp.
Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia

Contacto editorial

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

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

DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/issn.2145-4086>



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

Presentation

Editorial

Transformación digital en instituciones de educación superior: entre el mito y la realidad

Artificial Intelligence and the fourth industrial revolution

John William Branch

13

Artículos de investigación

Research papers

Evaluación de las propiedades mecánicas de concretos modificados con microesferas de vidrio y residuos de llantas

Evaluation of the mechanical properties of modified concrete with glass microspheres and tire residues

Juan Pablo Valencia Villegas, Ana María González Mesa, Oscar Felipe Arbeláez Pérez

16

Adaptación de la teoría de la información para el régimen de propagación lineal de una red óptica DWDM de próxima generación

Adaptation of the information theory for the linear propagation regime of a next-generation DWDM optical network

Gustavo Adolfo Gómez Agredo, José Giovanni López Perafan

27

Desarrollo de nanomaterial con carbón activado de vástago de banano

Development of nanomaterial with activated carbon of banana stem

Esdra Nahum Quintero Ruiz, Efrén Giraldo Toro, Carlos Alberto Acevedo Álvarez

37

Caso de estudio del desarrollo de un videojuego basado en BCI

Case study of the development of a videogame based on BC

Erika Juliet Restrepo Zapata, Alejandro Díaz Jaramillo, Montealegre, Isabel Margarita Vega Rodríguez, Sandra Milena Velásquez Restrepo

48

Análisis de la variación temporal de las zonas de erosión-sedimentación en perfiles transversales de la playa de Marbella, sector túnel de Crespo, Cartagena

Analysis of the temporal variation of the erosion-sedimentation zones in cross-sectional profiles of the Marbella beach, Crespo tunnel sector, Cartagena

Alexander Muñoz Guzmán, Cesar Augusto Tovia Gracia, Lina Marcela Díaz Arellano, Edenia Del Pilar Simancas Vásquez

59

Plan estratégico del servicio basado en ITIL para una mypime del sector tecnológico en el departamento de Arauca- Colombia

Strategic plan based on ITIL for MSMEs in the department of Arauca-Colombia

Carlos Eduardo Puentes Figueroa, Gina Paola Maestre Góngora

68

Artículos de revisión

Review papers

Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual

Internet of things applied to agriculture: current status

Jhonatan Paolo Tovar Soto, José de los Santos Solórzano Suárez; Andrés Badillo Rodríguez, Genner Oswaldo Rodríguez Cainaba

86

La interactividad y la conectividad al servicio de la industria de la confección

Interactivity and connectivity at the service of the clothing industry

Leidy Vega Rodríguez, Fabio Andrés Gaviria, Luz Eugenia Botero

106

Reacciones químicas de los azúcares simples empleados en la industria alimentaria

Chemical reactions of simple sugars used in the food industry

Sebastián Arias Giraldo, Diana M. López Velasco

123

Presentación

Ingrid-Durley Torres Pardo

Estilo de citación de artículo:

I-D, Torres Pardo, Presentación, *Lámpsakos*, (21), pp. 6-7. (julio-diciembre, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3453>

Lámpsakos, en su número 22, abre su publicación con una editorial relacionada con la “Transformación digital en instituciones de educación superior” [1]. Un tema de interés y actualidad, escrito por uno de los expertos más reconocidos en el ámbito de la academia. Esta editorial es la antesala del valioso contenido que la publicación presenta a nuestros lectores en esta nueva edición.

Bajo el título, “Evaluación de las propiedades mecánicas de concretos modificados con microesferas de vidrio y residuos de llantas” [2], los autores realizan una propuesta que parte de la adición conjunta de microesferas y residuos de llantas para sustituir materiales tradicionales en la construcción. El artículo además de ser soportado por varios gráficos que caracterizan la mezcla de ambos materiales, vistos desde las propiedades de densidad, elasticidad y resistencia, también constituye una promesa para la reutilización de residuos que impactan positivamente el medio ambiente y benefician a la industria.

En “Adaptación de la teoría de la información para el régimen de propagación lineal de una red óptica DWDM de próxima generación” [3], los autores presentan para-

lamente un ajuste a la teoría de Shannon y desarrollan una ecuación que permite generar la posibilidad de controlar algunos parámetros y características de configuración de una red óptica de próxima generación. En el ejercicio de la investigación, los autores logran demostrar mejoras en la eficiencia espectral y alcanzar altas capacidades de acceso con grandes anchos de banda.

Continuamos con “Desarrollo de nanomaterial con carbón activado de vástago de banano” [4], cuya finalidad es describir el proceso de conversión del vástago de banano criollo en un nuevo nanomaterial con las características adecuadas de adsorción y área superficial que permitiera aplicaciones en refrigeración. En el manuscrito, los autores describen los pasos, equipos utilizados y los acompañan con gráficas que resumen sus hallazgos.

“Caso de estudio del desarrollo de un videojuego basado en BCI” [5] se concentra en exponer cómo la metodología de integración entre la formación por proyectos y la investigación aplicada de formación propia del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA es confrontada por sus instructores y estudiantes en un caso real,

representado en un escenario de un video juego denominado Proeza bajo la categoría de Serious Game EEG, para la adaptación y manejo de prótesis de miembro superior.

La gestión y recuperación de las playas demanda primero el reconocimiento de sus sistemas dinámicos que varían por la acción de los fenómenos como el viento, oleaje y las corrientes e incluso la intervención antrópica. En “Análisis de la variación temporal de las zonas de erosión-sedimentación en perfiles transversales de la playa de Marbella, sector túnel de crespo, Cartagena” [6], los autores describen la cuantificación de las áreas transversales en perfiles de playa levantados en dos unidades morfológicas de las playas de Marbella ubicadas al norte de Cartagena de Indias.

“Plan estratégico basado en ITIL para mipymes en el departamento de Arauca-Colombia” [7], en su orientación principal fija los resultados de una investigación orientada a evaluar las buenas prácticas de ITIL 3, para la consecución de un plan estratégico orientado a la gestión del servicio al cliente, valorado específicamente en el departamento de Arauca. Las conclusiones compartidas por los autores constituyen un camino útil para otras mipymes de diferente ubicación geográfica.

La agricultura es analizada desde las tecnologías soportadas por el Internet de las Cosas (IoT); los autores del manuscrito titulado “Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual” [8], dan a conocer un diagnóstico de dichas tecnologías, centrándose en el caso de América Latina y Colombia. Los criterios de revisión analizados permiten referenciar varias conclusiones que pueden constituirse en el insumo inicial de otras investigaciones en el área.

Explorar el panorama de las nuevas tecnologías en el ámbito de la industria 4.0 y la confección es posible desde “La interactividad y la conectividad al servicio de la industria de la confección” [9], pues en este artí-

culo se abordan conceptos como big data, cloud computing, sistemas ciberfísicos y sensores inteligentes y su articulación en términos de productividad, calidad y servicio en la industria de la confección. Para ello, se exponen no solo sus ventajas, sino los retos a los cuales se somete esta industria cuando acoge las citadas tecnologías.

Para cerrar esta edición, se presenta el manuscrito titulado, “Reacciones químicas de los azúcares simples empleados en la industria alimentaria” [10], donde se evidencia el resultado de una revisión cuidadosa sobre las reacciones básicas de azúcares, principalmente mono y disacáridos, de forma que se destaca tanto su comportamiento favorable como desfavorable en la industria alimentaria actual

REFERENCIAS

- [1] J. W. Branch Bedoya, “Transformación digital en instituciones de educación superior”, Lámpsakos, (22), pp. 13-14. (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3382
- [2] J. P. Valencia Villegas, A. M. González Mesa, y O. F. Arbeláez Pérez, “Evaluación de las propiedades mecánicas de concretos modificados con microesferas de vidrio y residuos de llantas”, Lámpsakos, (22), pp. 16-26. (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3283
- [3] G. A. Gómez Agredo, y J. G. López Perafán, “Adaptación de la teoría de la información para el régimen de propagación lineal de una red óptica DWDM de próxima generación”, Lámpsakos, (22), pp. 27-36. (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3127

- [4] E. Nahum Quintero Ruiz, Efrén Giraldo Toro, Carlos Alberto Acevedo Álvarez, "Desarrollo de nanomaterial con carbón activado de vástago de banana", Lámpsakos, (22), pp. 37-47. (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3307
- [5] E. J. Restrepo Zapata, A. Díaz Jaramillo, Montealegre, I. M. Vega Rodríguez, y S. M. Velásquez Restrepo, "Caso de estudio del desarrollo de un videojuego basado en BCI", Lámpsakos, (22), pp. 48-58. (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3074
- [6] A. Muñoz Guzmán, C. A. Tovio Gracia, L. M. Díaz Arellano, y E. P. Simancas Vásquez, "Análisis de la variación temporal de las zonas de erosión-sedimentación en perfiles transversales de la playa de Marbella, sector túnel de cespó, Cartagena", Lámpsakos, (22), pp. 59-67. (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.2824
- [7] C. E. Puentes Figueroa, G. Maestre -Góngora, "Plan estratégico basado en ITIL para mipymes en el departamento de Arauca-Colombia", Lámpsakos, (22), pp. 68-84. (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3280
- [8] J. P. Tovar Soto, J. de los S. Solórzano Suárez, A. Baidillo Rodríguez, y G. O. Rodríguez Cainaba, "Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual", Lámpsakos, (22), pp. 86-105 (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3253
- [9] L. Vega Rodríguez, F. A. Gaviria, y L. E. Botero, "La interactividad y la conectividad al servicio de la industria de la confección", Lámpsakos, (22), pp. 106-122. (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3071
- [10] S. Arias Giraldo, y D. M. López Velasco, "Reacciones químicas de los azúcares simples empleados en la industria alimentaria", Lámpsakos, (22), pp. 123-136. (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3252

Presentation

Ingrid-Durley Torres Pardo

Estilo de citación de artículo:

I-D, Torres Pardo, Presentation, *Lámpsakos*, (21), pp. 6-7. (julio-diciembre, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3453>

Lámpsakos, at number 22, opens its publication with an editorial related to Digital transformation in institutions of higher education [1]. A current topic of interest, written by one of the most recognized experts in the field of academia. This editorial is the prelude to the valuable content that the publication presents to our readers in this new edition.

Under the title, “Evaluation of the mechanical properties of modified concrete with glass microspheres and tire residues” [2], the authors make a proposal based on the joint addition of microspheres and tire residues to replace traditional construction materials. The article besides being supported by several graphics that characterize the mixture of both materials, seen from the properties of density, elasticity and resistance. It also constitutes a promise for the reuse of waste, which positively impacts the environment and benefits the industry.

In “Adaptation of the information theory for the linear propagation regime of a next-generation DWDM optical network” [3], the authors present in parallel an adjustment to Shannon’s theory and develop an equation, which allows generating the possibility of controlling

some parameters and configuration characteristics of a next generation optical network. In the exercise of the investigation, the authors manage to demonstrate improvements in spectral efficiency and achieve high access capacities with large bandwidths.

We continue with the “Development of nanomaterial with activated carbon of banana stem” [4], whose purpose is to describe the process of conversion of the Creole banana stem, as a new nanomaterial with the appropriate adsorption characteristics and surface area that would allow cooling applications. In the manuscript, the authors describe the steps, equipment used and accompany them with graphs that summarize their findings.

“Case study of the development of a videogame based on BCI”, [5] focuses on exposing how the integration methodology between project training and applied training research of the National Learning Service SENA is confronted from its instructors and students. It is conducted to a real world case, represented in a video game scenario, called Serious Game EEG, for the adaptation and management of upper limb prostheses.

The management and recovery of the beaches demands first the recognition of their dynamic systems that vary due to the action of phenomena such as wind, waves and currents and even anthropic intervention. In "Analysis of the temporal variation of the erosion-sedimentation zones in cross-sectional profiles of the Marbella beach, Crespo tunnel sector, Cartagena" [6], the authors describe the quantification of the transverse areas in beach profiles raised in two morphological units from the beaches of Marbella located in north of Cartagena de Indias.

"Strategic plan based on ITIL for MSMEs in the department of Arauca-Colombia" [7], in its main orientation sets the results of an investigation aimed at evaluating the good practices of ITIL 3. It is for the achievement of a strategic plan oriented to the management of customer service, specifically valued in the department of Arauca. The conclusions shared by the authors constitute a useful path for other SMEs of different geographical location.

Agriculture is analyzed from the technologies supported by the Internet of Things (IoT). The authors of the manuscript entitled "Internet of things applied to agriculture: current status" [8], which discloses a diagnosis of these technologies, focusing on the case of Latin America and Colombia. The review criteria analyzed allow several conclusions to be referenced, which may constitute the initial input of other research in the area.

Exploring the panorama of new technologies in the field of industry 4.0 and clothing, it is possible from "Interactivity and connectivity at the service of the clothing industry" [9]. This article addresses concepts such as big data, cloud computing, cyberphysical systems and intelligent sensors and their articulation in terms of productivity, quality and service in the clothing industry. For this, not only its advantages are exposed, but also the challenges to which this industry is subjected when it receives the aforementioned technologies.

To conclude this edition, the manuscript entitled, "Chemical reactions of simple sugars used in the food industry" [10]. There is evidence of a careful review of the basic reactions of sugars, mainly momo and disaccharides, so that its favorable behavior stands out as unfavorable of its presence in the current food industry.

REFERENCES

- [1] J. W. Branch Bedoya, "Artificial Intelligence and the fourth industrial revolution", Lámpsakos, (22), pp. 13-14. (july-december, 2019). doi: 10.21501/21454086.3382]
- [2] J. P. Valencia Villegas, A. M. González Mesa, y O. F. Arbeláez Pérez, "Evaluation of the mechanical properties of modified concrete with glass microspheres and tire residues", Lámpsakos, (22), pp. 16-26. (july-december, 2019). doi: 10.21501/21454086.3283
- [3] G. A. Gómez Agredo, y J. G. López Perafán, "Adaptation of the information theory for the linear propagation regime of a next-generation DWDM optical network", Lámpsakos, (22), pp. 27-36. (july-december, 2019). doi: 10.21501/21454086.3127
- [4] E. Nahum Quintero Ruiz, Efrén Giraldo Toro, Carlos Alberto Acevedo Álvarez, "Development of nanomaterial with activated carbon of banana stem", Lámpsakos, (22), pp. 37-47. (july-december, 2019). doi: 10.21501/21454086.3307
- [5] E. J. Restrepo Zapata, A. Díaz Jaramillo, Montealegre, I. M. Vega Rodríguez, y S. M. Velásquez Restrepo, "Case study of the development of a videogame based on BCI", Lámpsakos, (22), pp. 48-58 (july-decembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3074
- [6] A. Muñoz Guzmán, C. A. Tovia Gracia, L. M. Díaz Arellano, y E. P. Simancas Vásquez, "Analysis of the temporal variation of the erosion-sedimentation zones in cross-sectional profiles of the Mar-

bella beach, Crespo tunnel sector, Cartagena”, Lámpsakos, (22), pp. 59-67. (july-december, 2019). doi: 10.21501/21454086.2824

- [7] C. E. Puentes Figueroa, G. Maestre -Góngora, “Strategic plan based on ITIL for MSMEs in the department of Arauca-Colombia”, Lámpsakos, (22), pp. 68-84. (july-december, 2019). doi: 10.21501/21454086.3280
- [8] J. P. Tovar Soto, J. de los S. Solórzano Suárez, A. Badillo Rodríguez, y G. O. Rodríguez Cainaba, “Internet of things applied to agriculture: current status”, Lámpsakos, (22), pp. 86-105. (july-december, 2019). doi: 10.21501/21454086.3253
- [9] L. Vega Rodríguez, F. A. Gaviria, y L. E. Botero, “Interactivity and connectivity at the service of the clothing industry”, Lámpsakos, (22), pp. 106-122. (july-december, 2019). doi: 10.21501/21454086.3071
- [10] S. Arias Giraldo, y D. M. López Velasco, “Chemical reactions of simple sugars used in the food industry”, Lámpsakos, (22), pp. 123-136. (july-december, 2019). doi: 10.21501/21454086.3252

Editorial

Transformación digital en instituciones de educación superior: entre el mito y la realidad

Artificial Intelligence and the fourth industrial revolution

John W. Branch*

Estilo de citación de artículo:

J. W. Branch, "Transformación digital en instituciones de educación superior: entre el mito y la realidad", *Lámpsakos*, (22), pp. 13-14 (julio-diciembre, 2019).
DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3382>

"Estamos al borde de una revolución tecnológica que modificará fundamentalmente la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos".

Profesor Klaus Schwab

Presidente Ejecutivo del Foro Económico Mundial

"Some people change when they see the light, others when they feel the heat"

Caroline Schoeder

Existe hoy en el mundo un número de tendencias tecnológicas que están potenciando un cambio de enfoque en las organizaciones. Esto, sumado a la globalización de la información y la economía, se encuentra jalando una transformación orientada al logro de una mayor eficacia organizacional utilizando los recursos digitales disponibles, de la mano de un proceso de cambio de la cultura organizacional hacia los instrumentos y las herramientas digitales.

El tránsito hacia nuevas maneras de ejecutar procesos y procedimientos misionales, con ayuda de lo digital, conlleva a que las organizaciones contemplen el diseño y la definición de una unidad estratégica dedicada a apropiarse e implantar soluciones de tecnología con sentido y valor para las mismas. Sin embargo, esto a su vez, debe liderar la creación de una cultura digital acorde con las dinámicas del nuevo ecosistema tecnológico.

Las instituciones de educación superior no son ajenas a estos retos, los cuales conllevan a una renovación en la forma de hacer las cosas y una revisión estructural de sus procesos administrativos y académicos. Su mejoramiento, con ayuda de las nuevas tecnologías buscan beneficiar no solo a la academia, sino también de la comunidad universitaria y la sociedad, que son el centro y la esencia de la existencia de la Universidad.

* Doctor en Ingeniería, profesor titular, Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión. Director del Grupo de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial-GIDIA, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín-Colombia. Investigador Senior, Colciencias. Contacto: jwbranch@unal.edu.co, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0378-028X>, Scopus Author ID: 5536660810

De acuerdo con lo anterior, las instituciones de educación superior deben plantear como objetivo general el “fomentar en la Universidad una comunidad sintonizada con la innovación, mediante una transformación digital, donde el avance de la tecnología y las tendencias emergentes maximicen la colaboración, el aprendizaje activo, la investigación y la creación, de tal forma que se incentive el pensamiento crítico interdisciplinario para el desarrollo sostenible de la sociedad”.

Para cumplir con este objetivo general, se han de lograr los siguientes objetivos específicos:

- Capacitar y sensibilizar a los directivos y líderes de la institución, –vicerrectores, decanos y directores, en temas orientados al “ABC” de la transformación digital, para que identifiquen y comprendan, los cambios y los escenarios que supone para su contexto el nuevo paradigma digital y, desde ese conocimiento, lideren las estrategias y las operaciones necesarias para llevar a la Universidad a la vanguardia de la transformación digital.
- Definir la Unidad de Gestión para la transformación digital que permita rediseñar lo que somos para transformar lo que hacemos, como acción necesaria en la definición del camino a seguir de cara a la optimización de los servicios y al incremento de la calidad e impacto en las actividades frente a la transformación digital, con el fin de aportar mayor valor tanto a la Universidad como a la sociedad.

- Implementar un proceso permanente de apropiación de la cultura digital en la Universidad, mediante la implementación de una serie de estrategias de gestión del cambio, como un factor de trascendental importancia para el desarrollo exitoso de una serie de acciones e intervenciones estratégicas de tecnologías digitales en la institución, como medios para hacer cada vez mejor lo que se hace en el día a día de sus procesos misionales y administrativos, beneficiando la comunidad universitaria y la sociedad en general.

No es un mito es una realidad que las instituciones de educación superior, como muchas otras organizaciones, están siendo afectadas por varias tendencias sociales y tecnológicas globales hacia la digitalización. Este proceso de transformación digital es potencialmente disruptivo y, por su impacto en la constitución de estas instituciones, necesita un mayor estudio. Por lo tanto, se sugiere desarrollar un completo programa de investigación alrededor de este fenómeno, en el cual se deben plantear nuevos espacios de evaluación, reflexión, rediseño de procesos y diseño de propuestas, para que la cultura de la innovación, mediante una transformación digital, sea una forma de vida institucional aprendida, compartida y transmitida tanto por las instancias directivas, como por los estamentos académicos y administrativos de la Universidad.

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

RESEARCH ARTICLE

Evaluación de las propiedades mecánicas de concretos modificados con microesferas de vidrio y residuos de llantas

Evaluation of the mechanical properties of modified concretes with glass microspheres and tire debris

Juan Pablo Valencia Villegas*
Ana María González Mesa**
Oscar Felipe Arbeláez Pérez***

(Recibido el 22-01-2019. Aprobado el 20-05-2019)

Estilo de citación de artículo:

J. P. Valencia Villegas, A. M. González Mesa, y O. F. Arbeláez Pérez, "Evaluación de las propiedades mecánicas de concretos modificados con microesferas de vidrios y residuos de llantas", *Lámpsakos*, (22), pp. 16-26 (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3283

Resumen

El efecto combinado de residuos de llantas y microesferas como sustitutos de la materia prima utilizada en la elaboración convencional de concretos fue explorada en este trabajo. Se diseñaron y prepararon mezclas de concreto tradicional, con modificaciones del 15% en masa de los agregados finos con relaciones de residuos de llantas, microesferas de vidrio de 0:1, 1:1, 1:3, 3:1 y 1:0. A partir de las mezclas preparadas se elaboraron especímenes cilíndricos de 150 mm x 300 mm. La evaluación de las propiedades mecánicas y físicas de los especímenes cilíndricos mostró que los materiales con mayor contenido de residuos de llantas presentaron una menor densidad, mientras que los de mayor contenido de microesferas presentaron la mayor resistencia a la compresión; de hecho, las mezclas 0:1 y 1:3 presentaron resistencias a la compresión de 22.4 y 19.1 MPa, respectivamente. Los resultados encontrados muestran que la adición conjunta de microesferas y residuos de llantas presentan un efecto sinérgico combinado entre los dos materiales con potencial uso en la industria de la construcción, en reemplazo de los materiales tradicionales utilizados en la elaboración de concretos, en particular, se espera que el uso de estos materiales se convierta en una alternativa para la utilización de estos residuos, los cuales no cuentan actualmente con un plan de disposición.

Palabras clave: Residuos de llantas; Concretos modificados; Microesferas de vidrio; Resistencia a compresión; Módulo de elasticidad; Propiedades mecánicas; Trabajabilidad; Asentamiento; Propiedades mecánicas; materiales ecológicos.

* Estudiante de último semestre de Ingeniería Civil, Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín-Colombia. Contacto: juan.valenciav@campusucc.edu.co

** Magíster en Ingeniería, profesor instructor, Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín-Colombia. Contacto: ana.gonzalezme@campusucc.edu.co

*** Doctor en Ingeniería, profesor investigador, Universidad Cooperativa de Colombia. Integrante del grupo de investigación Termomec, Medellín-Colombia. Contacto: oscar.arbelaez@campusucc.edu.co

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3283>

Abstract

The combined effect of tire wastes and microspheres as substitutes of the raw material used in the conventional process of concrete making was explored in this study. Mixes of conventional concretes with modifications of 15% in mass of fine additions of tire wastes and glass microspheres of 0:1, 1:1, 1:3, 3:1 and 1:0 were designed and prepared. Cylindrical samples of 150mmx300mm were made from such mixes. The evaluation of the mechanical and physical properties of the cylindrical samples made evident that the materials with the higher content of tires wastes presented lower densities, whereas the ones with a higher content of microspheres showed higher compression resistance; in fact, the 0:1, and 1:3 mixes showed resistance to compression values of 22.4 and 19.1 MPa, respectively. The results found showed that the joint addition of microspheres and tire wastes presented a synergic effect between the two materials with a potential use in the construction sector, substituting traditional materials used in concretes production. Particularly, it is expected that the use of such materials becomes an alternative to the use of these wastes, which do not have a waste arrangement nowadays.

Keywords: Tire wastes; Modified concretes; Glass microspheres; Compression resistance; Modulus of elasticity; Mechanical properties; Workability; Settlement; Mechanical properties; Ecological materials.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la población, la urbanización de las ciudades y el crecimiento de la clase media está asociado con requerimientos de nueva infraestructura civil que demanda una mayor cantidad de materias primas, especialmente aquellas que conforman el concreto (agua, cemento y agregados) [1]; gran parte de ellas se encuentran en la naturaleza, por lo cual, su explotación genera un impacto negativo que va en detrimento del medio ambiente. Se requiere generar nuevas políticas sobre la limitación en la explotación de los recursos naturales y estrategias para la búsqueda de nuevos materiales, especialmente aquellos que permitan el aprovechamiento de residuos de uso potencial en la industria de la construcción. Diversas investigaciones enfocadas en la elaboración de concretos modificados con ceniza volante [2], residuos de demolición [3], vidrio triturado [4] y polímeros como el tereftalato de polietileno (PET) [5] en sustitución parcial del cemento, agregados finos y/o agregados gruesos han permitido mejorar las propiedades fisicoquímicas del concreto y generar alternativas de materiales potenciales para el reemplazo de los materiales tradicionales.

Entre los diferentes sustitutos, los residuos de polímeros, específicamente de llantas en desuso como reemplazo de los agregados, permiten modificar las propiedades del concreto. Rashid et al. [6] estudiaron el efecto de la modificación del 10%, 20% y 30% de los finos por residuos de llantas con tamaños de partícula de 4.75 mm a 0.15 mm; y de los agregados gruesos con residuos de llantas con tamaño de partícula de 12.5 mm a 9.5 mm; se encontró que existe una disminución en la resistencia a compresión directamente proporcional al aumento en el contenido de residuos de llantas, siendo más significativo cuando se reemplazan los agregados gruesos. De hecho, se reportó que un reemplazo del 30% de los agregados gruesos genera una disminución (al día 28) del 74% de la resistencia con respecto al concreto tradicional. Khaloo y colaboradores [7] y Ospina et al. [8] reportaron que la modificación de los agregados gruesos por residuos de llantas modifica la resistencia a la compresión, de hecho, los autores concluyeron que los porcentajes

de reemplazo deben ser menores del 25% y del 10%, respectivamente, para concretos de uso estructural. Lijuan et al. [9], evaluaron el efecto del tamaño de las partículas de caucho en la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad, y mostraron que el reemplazo de los agregados finos por partículas de caucho con diferentes tamaños de partícula (4 mm, 2 mm, 0.864 mm, 0.535 mm, 0.381 mm, 0.221 mm y 0.173 mm) y diferentes porcentajes de reemplazo de agregado fino (2%, 4%, 6%, 8% y 10%) modifican las propiedades del concreto.

Las microesferas de vidrio también han sido evaluadas favorablemente como material de reemplazo de compuestos cementantes y de los agregados, de manera que modifican la resistencia a la compresión, la densidad y el módulo de elasticidad de los concretos preparados. Shahidan et al. [10], evaluaron el efecto de reemplazar el 3%, 6% y 9% del cemento por microesferas de vidrio en la elaboración de concreto celular ligero, se halló que el 3% es el porcentaje más adecuado de microesferas para generar concretos con aplicaciones estructurales; de hecho, este contenido de microesferas genera un aumento del 22 % de la resistencia a la compresión. Así mismo, Brooks et al. [11], realizaron un estudio comparativo de las propiedades mecánicas de concretos ligeros al realizar una sustitución del 7%, 14%, 21% y 28% de volumen de los agregados finos por microesferas de diferentes tamaños. La densidad de los materiales preparados disminuye a medida que aumenta la concentración de microesferas, generando reducciones en la densidad de 2.4%, 12%, 22.1%, y 31.9% respectivamente. Además, los autores reportaron que, a una edad de 28 días, se genera un aumento en la resistencia a la compresión cuando el reemplazo es menor al 15%; adicionalmente, los autores reportaron que la resistencia del concreto ligero es mucho mayor cuando se usan microesferas de menor tamaño. Estudios adicionales [12] reportaron el uso de microesferas de vidrio con densidades de 150 Kg/m³ y 380 Kg/m³ en la elaboración de concretos livianos con reemplazos del 10%, 20% y 30% en masa de los agregados finos. Para un reemplazo del 30%, se observó una disminución en el módulo de elasticidad del 91.6% y 82.6% con microesferas de 150 Kg/m³ y 380 Kg/m³ de densidad,

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3283>

respectivamente. Los autores concluyeron que la gran reducción en el módulo de elasticidad se debe a la baja densidad de las microesferas utilizadas.

Los resultados reportados hasta el momento muestran la versatilidad de las microesferas para aumentar la resistencia a la compresión y disminuir el módulo de elasticidad de los concretos, así como de los residuos de llantas en desuso, para disminuir la densidad de concretos modificados. Por tanto, se espera que el uso combinado de microesferas de vidrio y residuos de llantas presente un efecto sinérgico en la elaboración de concretos modificados con propiedades mecánicas superiores o similares al concreto tradicional. En este trabajo se presentan los resultados del diseño, preparación y evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de concreto tradicional con reemplazos del 15% en masa de los agregados finos por residuos de llantas y microesferas, en relaciones residuos de llantas: microesferas de vidrio de 0:1, 1:1, 1:3, 3:1 y 1:0.

2. METODOLOGÍA

Caracterización de materiales

Para la preparación de las mezclas se utilizó cemento portland de uso general con una densidad específica de 3050 Kg/m³ acorde a la NTC 121 (Norma Técnica Colombiana) y agua de acueducto. Para los agregados se determinó la masa unitaria compacta NTC 92 [13], la densidad aparente del agregado fino NTC 237 [14], la densidad aparente del agregado grueso NTC 176 [15], la densidad del cemento NTC 221 [16] y la granulometría de los agregados acorde con la NTC 77 [17]. Para todas las mezclas se usó una relación agua/cemento de 0.58. Las microesferas con diámetro de 200 micras y una densidad de 2400 Kg/m³ fueron proporcionadas por FABCOM SAS. Los residuos de llantas en desuso fueron suministrados por la empresa 4R Soluciones Ambientales SAS, la densidad del material es de 1109 Kg/m³.

Diseño de la mezcla

El diseño de mezcla de concreto tradicional fue llevado a cabo usando los métodos ACI 211.18 (American Concrete Institute) [18] y RNL (Road Note Laboratory). Las cantidades de cada uno de los materiales se muestran en la Tabla 1. Se prepararon en total 6 mezclas, una mezcla de referencia y 5 mezclas con un reemplazo del 15% en masa de la arena, dos de ellas para estudiar el efecto individual del caucho y las microesferas y tres mezclas para analizar el efecto combinado de los residuos de llantas y las microesferas en relaciones de masa 1:1, 3:1 y 1:3 caucho: microesferas de vidrio como se muestra en la Tabla 2. La mezcla de referencia fue diseñada para alcanzar una resistencia promedio a la compresión de 28 MPa a la edad de 28 días.

Preparación de las mezclas de concreto

Para la preparación de las mezclas, el agregado grueso fue humedecido para alcanzar la condición SSS (Saturado Superficialmente Seco). Antes de la incorporación de los materiales, se humedeció el interior de la mezcladora. Durante la elaboración de las mezclas, en primer lugar, se mezclaron el agregado grueso, la arena y el residuo de llantas hasta obtener una mezcla homogénea. Después se adicionó el cemento, 75% del agua y se mezcló durante 4 minutos. Cuando se visualizaba una pasta cohesiva y fluida se agregaban las microesferas de vidrio (en el caso de mezclas con microesferas) y el 25% de agua restante. Para analizar las propiedades del concreto fresco se llevó a cabo la prueba de asentamiento según los requerimientos de la NTC 396 [19].

Preparación de los especímenes de concreto tradicional y modificado

Se prepararon en total 12 especímenes cilíndricos de 150 mm x 300 mm (diámetro y altura), de acuerdo con la metodología NTC 550 [20]. Antes de preparar los especímenes, el interior de los moldes fue cubierto por una capa fina de desmoldante para prevenir que el con-

creto se adhiera al molde. Todos los moldes de concreto se llenaron en tres capas iguales, cada una compactada con 25 golpes distribuidos en toda la superficie con una varilla de 16 mm de diámetro. Posteriormente, se golpeó el molde 15 veces con un martillo de goma con el fin de eliminar las burbujas de aire de cada capa. La última capa se enrasó con la varilla. La superficie de los moldes se cubrió con láminas de polietileno con el fin de mantener la humedad de los especímenes.

Curado de los especímenes cilíndricos

Después de 24 horas se retiró el molde de los cilindros y se colocaron en agua saturada con óxido de calcio a temperatura ambiente durante 28 días según NTC 550.

Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los concretos elaborados

Apoyados en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente nsr-10, capítulo C.5 sección C.5.6.2.4, la resistencia a compresión se tomó como el promedio de dos muestras cilíndricas, de forma que se consideran las dimensiones de los especímenes cilíndricos (150 por 300 mm), los ensayos de resistencia a la compresión f'_c se realizaron por duplicado, en una prensa hidráulica HM de compresión de 1500 KN para cada una de las mezclas preparadas. La velocidad de carga fue de 0,6 MPa/s. El módulo de elasticidad y la densidad de los especímenes se evaluó tal como se describe en las ecuaciones (1) y (2) respectivamente. La ecuación 1 es aplicable para concretos cuya masa unitaria varíe entre 1440 y 2640 kg/m³ [21].

$$E_c = W_c^{1.5} 0.034 \sqrt{f'_c} E_c = W_c^{1.5} 0.034 \sqrt{f'_c} \text{ Ec. 1}$$

$$\rho = \frac{M}{V} \rho = \frac{M}{V} \text{ Ec. 2}$$

Donde f'_c es la resistencia a la compresión del concreto en MPa, E_c , módulo de elasticidad en MPa, ρ , densidad del concreto en Kg/m³, M , la masa del espécimen de concreto en Kg y V , volumen del cilindro en m³.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Caracterización de los materiales

La Fig. 1 muestra la distribución granulométrica de los agregados finos, gruesos y los residuos de llantas en desuso.

Los resultados de la Fig. 1 muestran que el agregado fino se encuentra dentro del rango recomendado para elaborar concretos según la NTC 174 [22], sin embargo, los agregados gruesos tienen una distribución granulométrica que se encuentra por fuera de los límites recomendados, motivo por el cual se procedió a realizar el diseño de la mezcla por el método de la NRL. Las cantidades de materiales necesarios para ambas metodologías se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Cantidades para el diseño de mezcla

Material	Método ACI Peso (Kg)	Volumen (m ³)	Método NRL Peso (Kg)	Volumen (m ³)
Cemento	417	0.137	417	0.137
Agua	196	0.196	196	0.196
A. grueso	1024	0.378	756	0.279
A. fino	743	0.274	1011	0.373

Con respecto a las cantidades, se encontró que con el método de la ACI se requiere un 58% de agregado grueso y 42 % de fino, mientras que en el método de la NRL se requiere 43% de agregado grueso y 57% de fino. Para las mezclas preparadas en ambas metodologías, se encontraron valores de la resistencia a la compresión de 18.3 MPa y 12.9 MPa, para el método de la ACI y de la NRL, respectivamente, efecto que está relacio-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3283>

nado con el mayor porcentaje de agregados gruesos en la mezcla elaborada con el método de la ACI. De hecho, se espera que al día 7 el concreto alcance una resistencia del 65-70% de la resistencia esperada (28 MPa). Dada la resistencia alcanzada al día 7 en cada uno de los métodos, 65% en el método del ACI y 46% en el método de la NRL, las mezclas restantes se prepararon de acuerdo a la metodología del ACI.

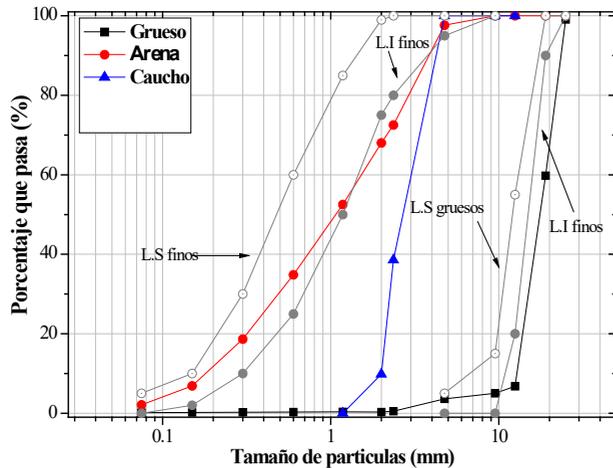


Fig. 1: Resultados del análisis granulométrico de los materiales

La Tabla 2 muestra las cantidades de material para cada una de las mezclas de concreto tradicional y modificado mediante la metodología ACI.

Tabla 2. Cantidades para el diseño de mezcla por m³ de concreto

Mezcla*	RL:M	Masa finos (Kg)	Masa RL (Kg)	Masa M (Kg)
C**	--	765	0	0
M1	1:0	644	112	0
M2	0:1	644	0	112
M3	1:1	644	56	56
M4	3:1	643	84	28
M5	1:3	643	28	84

RL:M. Relación de Residuos de llantas (RL) a microesferas (M).

*En todas las mezclas se utilizaron 1033 Kg de agregado grueso y 417 Kg de cemento.

** Concreto tradicional.

Asentamiento

Los resultados del asentamiento se presentan en la Fig. 2:

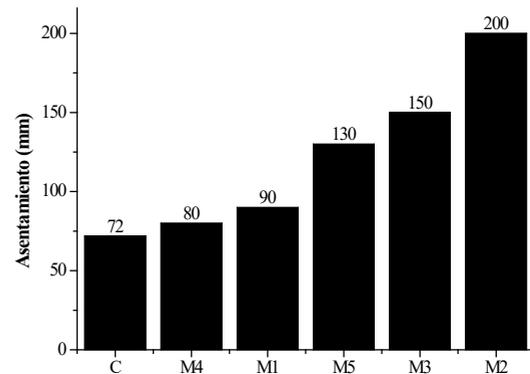


Fig. 2: Asentamiento de los especímenes de concreto

Los resultados de la Fig. 2 muestran que todas las mezclas registraron un asentamiento más alto con respecto a la mezcla de concreto tradicional. Las mezclas M1, M2, M3, M4 y M5 poseen valores de asentamiento de 25% (18mm), 178% (128 mm), 108% (78 mm), 11% (8 mm) y 81% (58 mm) más altos que la mezcla de referencia, siendo la mezcla M2 (solo con microesferas) la que registra el valor más alto. Se puede observar que el asentamiento es directamente proporcional al aumento del contenido de microesferas, fenómeno que se atribuye a la forma esférica del material, de modo que permite una mejor interacción con los agregados y la pasta de concreto; de hecho, previamente se ha reportado que la forma esférica de las microesferas implica menor fricción entre las partículas y mayor fluidez de la mezcla [9].

Con respecto a las mezclas que poseen la adición de caucho y microesferas de vidrio, puede observarse que un aumento en el contenido de residuos de llantas genera una disminución en el asentamiento a causa de la disminución del porcentaje de microesferas, las cuales favorecen la manejabilidad de las mezclas. Adicionalmente, la reducción del asentamiento puede atribuirse a la textura rugosa que presenta la superficie de los residuos de llantas en desuso, incrementando la fricción con los demás componentes de la matriz de concreto. Además, la reducción del asentamiento está

relacionada con la capacidad de absorción de los residuos de llantas, las cuales absorben el agua libre en la mezcla para alcanzar la condición SSS. Inclusive, se ha reportado previamente que la disminución del agua libre en la mezcla se ve más afectada cuando las partículas de caucho son finas, a causa de su elevada área superficial [6], [23].

La Fig. 3 muestra la densidad saturada y superficialmente seca a los 28 días para las muestras de concreto de los especímenes de concretos preparados.

Los resultados de la Fig. 3 muestran que la adición de microesferas de vidrio y residuos de llantas disminuye la densidad de los concretos preparados en relación con la mezcla tradicional. De los resultados se puede observar que a medida que aumenta la cantidad de residuos de llantas, disminuye la densidad de los especímenes. Las mezclas M1, M2, M3, M4 y M5 registraron valores de 9.95%, 0.93%, 3.40%, 5.71% y 2.48% más bajos que los del concreto tradicional, respectivamente. La reducción en la densidad se atribuye a la menor densidad de los residuos de llantas (1109 Kg/m^3) y las microesferas de vidrio (2400 Kg/m^3), con relación a la densidad de los agregados finos (2710 Kg/m^3) y gruesos (2780 Kg/m^3). Adicionalmente, se ha reportado en trabajos previos que las partículas de polímeros generan una elevada porosidad en concretos modificados, a causa del aire atrapado por las partículas de caucho, de manera que aumenta el porcentaje de vacíos de aire, por ende, disminuye la densidad de los especímenes de concreto [24]. Los resultados encontrados indican que la disminución en la densidad es menor al 10%, lo cual está acorde con los resultados previamente reportados, [10], [12], [25], [26], donde la incorporación de microesferas de vidrio con densidades entre 150 Kg/m^3 hasta 900 Kg/m^3 , generó disminuciones en la densidad de los materiales preparados alrededor del 20%, sin embargo, las microesferas utilizadas por los autores presentaron densidades muy inferiores a las reportadas en este trabajo.

La Fig. 4 muestra los resultados de la resistencia a la compresión de los especímenes preparados con diferentes sustituciones de los agregados finos.

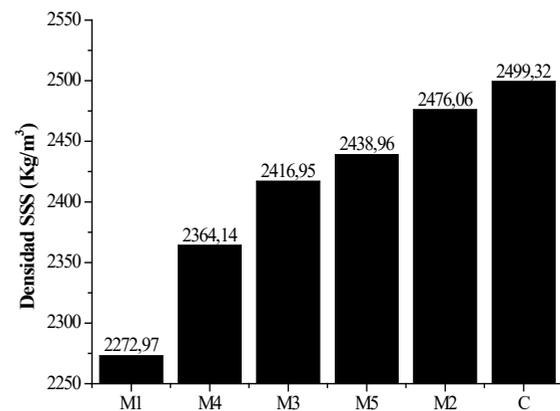


Fig. 3: Densidad de las mezclas de concreto preparadas

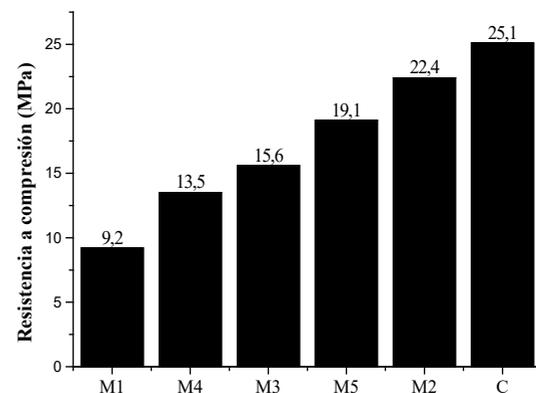


Fig. 4: Resistencia a la compresión de los especímenes de concreto

Los resultados de la Fig. 4 muestran que la resistencia del concreto es menor para el concreto preparado solo con residuos de llantas (63.4% menor a la referencia), efecto asociado con la menor rigidez y la menor resistencia (borosilicato de vidrio 61-64 GPa, elastómeros 0.001-0.02 GPa) de este material, en comparación con los agregados finos, lo que genera una menor capacidad de carga de las mezclas preparadas, además, la estructura química de los residuos de llantas (naturaleza orgánica), produce una menor adherencia con los componentes de la matriz de concreto (naturaleza inorgánica), en concordancia con reportes previos donde la textura superficial y la estructura química de polímeros se traduce en una menor adherencia de las partículas de polímeros, los agregados y la matriz de cemento, lo cual disminuye la resistencia del concreto [23]. Los resultados de la Fig. 4 muestran que para la mezcla de concreto que posee solo microesferas (M2)

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3283>

se encontró una resistencia a compresión de 22.4 MPa, cumpliendo el valor de la resistencia mínima para fines estructurales. Para los especímenes de concretos que poseen microesferas y residuos de llantas, se encontró que la resistencia a la compresión aumenta con el incremento de las microesferas. La mezcla M5 presentó el mejor comportamiento, con una resistencia de 19.1 MPa (91% de la resistencia encontrada en el concreto de referencia). Los resultados encontrados permiten deducir que las microesferas generan un efecto sinérgico positivo sobre la resistencia a la compresión. Este efecto está asociado con la forma esférica de las microesferas, las cuales rellenan los vacíos, disminuyen el contenido de aire y generan nuevos componentes en la matriz de concreto por la reacción química entre estas y el cemento, tal como ha sido reportado previamente en otros trabajos, en los que la adición de microesferas incrementó la adherencia entre los componentes del concreto y mejoró la resistencia a la compresión por reacción de las microesferas con los materiales presentes en el cemento [27].

Los resultados de la Fig. 5 muestran que las mezclas M1 y M2 presentaron el menor y el mayor módulo de elasticidad (11.18 y 19.83 GPa), lo cual permitió determinar que la disminución del módulo de elasticidad está relacionada con el tipo de sustituto empleado para los materiales tradicionales; este comportamiento se debe a que el módulo de elasticidad del concreto depende del módulo de elasticidad de cada uno de sus materiales constitutivos. Por tanto, agregados con un mayor módulo de elasticidad (microesferas) generan mezclas de concretos con un mayor módulo de elasticidad. En la Fig. 5 se puede observar que, en los especímenes preparados con residuos de llantas y microesferas, un mayor contenido de residuos de llantas genera un menor módulo de elasticidad relacionado con la menor rigidez presentada por este polímero; resultados que están en concordancia con la resistencia a la compresión y la densidad presentadas en las Fig. 3 y Fig. 4, respectivamente. Inclusive, los materiales con menor módulo de elasticidad presentan la menor resistencia y la menor densidad. Claramente se puede observar que la mezcla M4 presentó el menor módulo de elasticidad, propiedad que se ve

afectada por la menor adherencia entre el caucho y la matriz de cemento. En este trabajo, el comportamiento de las mezclas de concretos elaborados con microesferas no presentó el mismo comportamiento reportado en [12], donde se encontró que la disminución en el módulo de elasticidad fue inversamente proporcional al aumento del contenido de microesferas, en el que un aumento en el contenido de microesferas redujo el módulo de elasticidad, comportamiento causado por la menor densidad de las microesferas empleadas por los autores [12], que fueron de una densidad menor a las empleadas en este trabajo.

La Fig. 5 muestra los resultados del módulo de elasticidad de los materiales preparados.

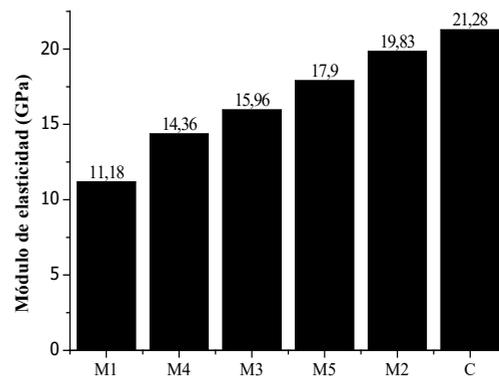


Fig. 5. Módulo de elasticidad de los materiales preparados

4. TRABAJOS FUTUROS

Dados los resultados potenciales encontrados en este trabajo, se observa un efecto sinérgico para concretos preparados con mezclas de residuos de llantas y microesferas. Se espera en próximas investigaciones adelantar ensayos experimentales enfocados en:

Preparación de especímenes de concreto tradicional, con microesferas y mezclas de residuos de llantas empleando agregados gruesos que cumplen con las especificaciones granulométricas recomendadas para la preparación de concretos estructurales.

Buscar la relación más adecuada de residuos de llantas: microesferas para preparar concretos con fines estructurales

Realizar ensayos de durabilidad bajo condiciones ambientales adversas y del comportamiento dinámico de concretos modificados con microesferas de vidrio y residuos de llantas frente a cargas accidentales (sismo y viento).

5. CONCLUSIONES

Se prepararon mezclas de concreto tradicional y modificado con residuos de llantas en desuso y microesferas de vidrio en reemplazo de los agregados finos. Se encontró que la modificación de los agregados finos por residuos de llantas y microesferas en forma individual o combinada genera una modificación de las propiedades de los concretos preparados; se halló que la muestra con reemplazo de microesferas presentó la mejor resistencia a la compresión de 22.4 MPa. Además, se observó que la adición de microesferas a los residuos de llantas generó un efecto sinérgico que mejoró la resistencia a la compresión, siendo la relación 1:3 de residuos de llantas a microesferas la que presenta la mejor resistencia a la compresión. Adicionalmente, el asentamiento se vio afectado por el contenido de microesferas y de residuos de llantas, siendo mayor para las mezclas con mayor contenido de microesferas. Además, la densidad fue inversamente proporcional al contenido de residuos de llantas. Los resultados encontrados estuvieron en concordancia con el cambio en el módulo de elasticidad de las muestras de concreto preparadas, el cual fue directamente proporcional al aumento en el contenido de microesferas. Los resultados obtenidos hasta el momento muestran que la sustitución de los agregados finos por microesferas y residuos de llantas tienen potencial para ser utilizados como material estructural, sin embargo, se requieren estudios experimentales adicionales que permitan mejorar la resistencia a la compresión del concreto modificado con microesferas y residuos de llantas. Las microesferas en relación masa 1:3 mostraron las mejores

resistencias del 7% por encima y del 7% por debajo, respectivamente, de la resistencia para ser considerados concretos estructurales (21 MPa).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto INV2219 por el apoyo financiero en el desarrollo de este trabajo de investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

REFERENCIAS

- [1] A. Sivakhrina, A. Adesina, P.O. Awoyera, K. R. Kumar, "Green concrete: A review of recent developments". *Materials today Proceedings*, In press, Corrected proof. doi: 10.1016/j.matpr.2019.08.202 .
- [2] S. W. Yoo, G. S. Ryu, and J. F. Choo, "Evaluation of the effects of high-volume fly ash on the flexural behavior of reinforced concrete beams". *Construction and Building Materials*, vol. 93, pp. 1132–1144. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.05.021
- [3] M. T. Hamza, and A. M. Hameed, "Recycling the construction and demolition waste to produce polymer concrete", *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1003, 2018. doi: 10.1088/1742-6596/1003/1/012088
- [4] K. Afshinnia, and P. R. Rangaraju, "Impact of combined use of ground glass powder and crushed glass aggregate on selected properties of Portland cement concrete", *Construction and Building Materials*, vol. 117, pp. 263–272, 2016. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.072

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3283>

- [5] A. Meza, and S. Siddique, "Effect of aspect ratio and dosage on the flexural response of FRC with recycled fiber", *Construction and Building Materials*, vol. 213, pp. 286-291, 2019. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.081
- [6] K. Rashid, A. Yazdanbakhsh, and M. Rehman, "Sustainable selection of the concrete incorporating recycled tire aggregate to be used as medium to low strength material", *Journal of Cleaner Production*, vol. 224, pp. 396-410, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.197
- [7] A. R. Khaloo, M. Dehestani, and P. Rahmatabadi, "Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire – rubber particles", *Waste Management*, vol. 28, no. 12, pp. 2472–2482, 2008. doi: 10.1016/j.wasman.2008.01.015
- [8] H. A. Torres Ospina, "Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho" (tesis de maestría), Escuela Colombia de Ingeniería Julio Garavito, 2014. Disponible en: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/169>
- [9] L. Lijuan, R. Shenghua, and Z. Lan, "Mechanical properties and constitutive equations of concrete containing a low volume of tire rubber particles", *Construction and Building Materials*, vol. 70, pp. 291–308, 2014. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.105
- [10] S. Shahidan, E. Aminuddin, K. Mohd Noor, N. I. R. Ramzi Hannan, and N. A. Saiful Bahari, "Potential of Hollow Glass Microsphere as Cement Replacement for Lightweight Foam Concrete on Thermal Insulation Performance, in International Symposium on Civil and Environmental Engineering 2016 (ISCEE 2016), 2017. doi: 10.1051/mateconf/201710301014
- [11] A. L. Brooks, H. Zhou, and D. Hanna, "Comparative study of the mechanical and thermal properties of lightweight cementitious composites", *Construction and Build Materials*, vol. 159, pp. 316–328. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.10.102
- [12] A. Hanif, Z. Lu, Y. Cheng, S. Diao, and Z. Li, "Effects of Different Lightweight Functional Fillers for Use in Cementitious Composites", *International Journal of Concrete Structures and Materials*, vol. 11, no. 1, pp. 99–113. doi: 10.1007/s40069-016-0184-1
- [13] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados", NTC 92, 1995.
- [14] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino", NTC 237, 1995. Colombia.
- [15] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso", NTC 176, 1995. Colombia.
- [16] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico", NTC 221, 2011. Colombia.
- [17] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos", NTC 77, 2007. Colombia.
- [18] ACI Committee, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete", ACI 211.1-91. Unites States.
- [19] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto", NTC 396, 1992. Colombia.

- [20] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, "Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra", NTC 550, 2000. Colombia.
- [21] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica "Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente", 3ra ed. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- [22] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2000) NTC 174 Especificaciones de los agregados para concreto. Colombia.
- [23] H. Su, J. Yang, T-C. Ling, G. S. Ghataora, and S. Dirar, "Properties of concrete prepared with waste tyre rubber particles of uniform and varying sizes", *Journal of Cleaner Production*, vol. 91, pp. 288-296. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.12.022
- [24] C. Bing, and L. Ning, "Experimental Research on Properties of Fresh and Hardened Rubberized Concrete", *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 28, no. 8, 2013. doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000923
- [25] F. Aslani F, L. Wang, and M. Zheng, "The effect of carbon nanofibers on fresh and mechanical properties of lightweight engineered cementitious composite using hollow glass microspheres", *Journal of Composite Materials*, vol. 53, no. 17, pp. 2447-2464, 2019. doi: 10.1177/0021998319827078
- [26]. D. Oreshkin, V. Semenov, and T. Rozovskaya, "Properties of light-weight extruded concrete with hollow glass microspheres", *Procedia Engineering*, vol. 153, pp. 638-643, 2016. doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.214
- [27] V. A. Perfilov, D. V. Oreshkin, and V. S. Semenov, "Environmentally Safe Mortar and Grouting Solutions with Hollow Glass Microspheres", *Procedia Engineering*, vol. 150, pp. 1479-1484, 2016. doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.086

Adaptación de la teoría de la información para el régimen de propagación lineal de una red óptica DWDM de próxima generación

Adaptation of the theory of information for the linear propagation regime in a next generation fiber optics net DWDM

Gustavo Adolfo Gómez Agredo*

Jose Giovanni López Perafán**

(Recibido el 19-02-2019. Aprobado el 05-06-2019)

Estilo de citación de artículo:

G. A. Gómez Agredo, y J. G. López Perafán, "Adaptación de la teoría de la información para el régimen de propagación lineal de una red óptica DWDM de próxima generación", *Lámpsakos*, (22), pp. 27-36 (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3127

Resumen

En el desarrollo del presente artículo, se adapta la teoría de la información de Shannon y se propone una ecuación para la medida de la eficiencia espectral con el fin de aplicarla a los nuevos entornos de red ópticos NG-PON (*Next Generation Passive Optical Network*) propuestos por el grupo de tareas FSAN (*Full Service Access Network*) de la UIT-T. Este desarrollo permitirá controlar ciertos parámetros y características de configuración de los sistemas basados en fibra óptica para lograr mejoras en la eficiencia espectral, altas capacidades de acceso y grandes anchos de banda; permitiendo entender de una manera más clara los cambios que las arquitecturas de red DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) han sufrido en los últimos años como una visión del futuro de las telecomunicaciones.

Palabras clave: Teoría de la información; Redes ópticas; DWDM; FSAN; Eficiencia espectral; Ancho de banda; Capacidad del canal; Entropía de Canal; Información Mutua; Formatos de Modulación.

* Ms. Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca. Integrante del grupo de investigación Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones (GNTT), Popayán-Colombia. Contacto: gtgomez@unicauca.edu.co

** PhD en Ciencias de la Electrónica, Universidad del Cauca. Integrante del grupo de investigación Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones (GNTT), Popayán-Colombia. Contacto: glopez@unicauca.edu.co

Abstract

This article adapts Shannon's information theory and proposes an equation to measure spectrum efficiency to be applied in the new fields of fiber optics NG-PON (Next Generation Passive Optical Network) proposed by the tasks team FSAN (Full Service Access Network) from the UIT-T. This development will allow control certain configuration parameters and features of the systems based on fiber optics to obtain improvements in the spectrum efficiency, high Access capacity and wide broad bands; allowing to understand in a clearer way the changes in the architecture of DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) net during the last years as a vision of the future of telecommunications.

Keywords: Information theory; Optical networks; DWDM; FSAN; Spectral efficiency; Bandwidth; Channel capacity; Channel Entropy, Mutual Information, Modulation Formats.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3127>

1. INTRODUCCIÓN

Debido al rápido crecimiento y desarrollo de servicios y aplicaciones, desde la introducción de los sistemas ópticos DWDM (multiplexación por división de longitud de onda) el requerimiento de mejorar el ancho de banda y aumentar la capacidad del canal se ha hecho evidente. Hoy en día, los sistemas comerciales implementan pocas longitudes de onda con espaciamientos por canal de 100 GHz a capacidades de acceso de 10 Gbps, siendo finalidad de las arquitecturas modernas de tipo NG-PON alcanzar velocidades de transmisión de datos del orden de los 40 Gbps mediante la implementación de soluciones costo-eficientes que actualicen las redes a nivel fotónico con una mínima renovación de los sistemas existentes, lo cual hace necesario realizar un análisis detallado de cómo la teoría de la información desarrollada por Shannon-Hartley podría ser adaptada a las nuevas características de las redes ópticas de última generación.

Como se aprecia en la Fig. 1, DWDM es una tecnología que aprovecha las capacidades de la fibra óptica mediante la multiplexación de señales de fuentes de luz sobre un único medio, lo que permite el transporte y la implementación de diferentes velocidades de transmisión de datos, esquemas de modulación y anchos de banda sobre una única infraestructura de red. Para los próximos años se espera una migración a redes inteligentes de próxima generación NG-OTN (*Next Generation Optical Transport Network*).

Redes ópticas de próxima generación

La Unión Internacional de Telecomunicaciones, en su estándar UIT-T Y2001 [1], define una red de próxima generación como

una red basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicación y en la que se pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha propiciadas por la calidad del servicio QoS (Quality of Service), y en la que las funciones relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías subyacentes relacionadas con el transporte (...).

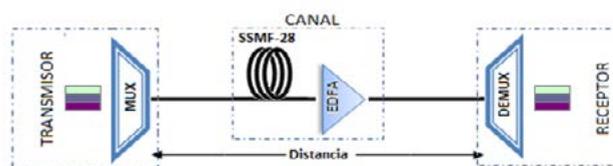


Fig. 1: Esquema general de un sistema óptico DWDM

De acuerdo con lo anterior, los sistemas de telecomunicaciones basados en fibra óptica son los más propensos a cumplir con los requerimientos propuestos para tales redes. Algunas de las características definidas para este tipo de sistemas se resumen en: a) permitir la creación, prestación y gestión de diferentes tipos de servicios; b) soportar en el transporte servicios con diferentes demandas de acceso y ancho de banda; y c) separar los servicios y el transporte de la red permitiendo evolucionar de manera independiente.

Como se aprecia en la Fig. 2, el grupo de tareas FSAN (Full Service Access Network) [2], tiene como objetivos principales desarrollar y proponer recomendaciones para generar sistemas de acceso óptico más allá de los estándares propuestos, de tal manera que implementa soluciones de última generación que permitan una migración fluida para las diferentes arquitecturas basadas en redes ópticas pasivas de próxima generación, en las que sea posible la reutilización de la infraestructura de fibra instalada.

Algunos requerimientos definidos por la serie de estándares UIT-T G987 [4] en sus versiones G987.1 [5], G987.2 [6], G987.3 [7] y G987.4 [8] para redes de tipo XG-PON (10 gigabit capable passive optical networks), definen un sistema a una tasa de transmisión de datos nominal de 2.5/10 Gbps en el enlace de bajada y 2.5 Gbps en el enlace de subida; sin embargo, la última actualización del estándar, definida como XGS-PON (10 gigabit capable symmetric passive optical network) en las recomendaciones ITU G.9807.1 [9] y G.9807.2 [10] de 2016 y 2017 respectivamente, define una versión simétrica a 10 Gbps para alcanzar mayores anchos de banda, lo que posibilita la coexistencia con las redes desplegadas actualmente.

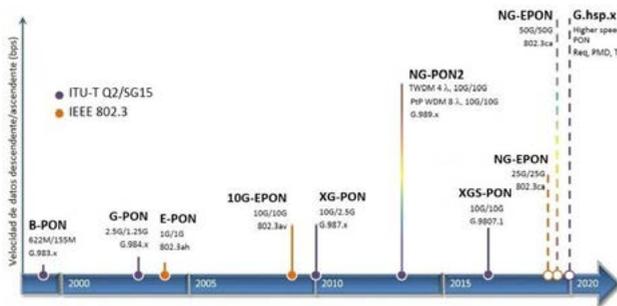


Fig. 2: Migración de las redes ópticas pasivas [3]

Del mismo modo, el estándar UIT-T en su serie G989 de 2015 [11] describe los requerimientos generales de las arquitecturas de red de tipo NG-PON2 (40 gigabit capable passive optical networks) para aplicaciones residenciales, móviles, entre otras. Las recomendaciones para esta nueva generación de sistemas ópticos se definen en los estándares G989.1 [12] y G989.3 [13]; sin embargo, una vez concluida la etapa de evolución inicial con el estándar XGS-PON de 2016, se propone una segunda etapa pensada para los próximos 10 años de desarrollo centrada en una capacidad de acceso de 40 Gbps para el enlace de subida y para el enlace de bajada.

Los objetivos principales de las recomendaciones definidas anteriormente se centran en permitir la coexistencia de diferentes tipos de canales sobre una única red (convergencia), lo cual genera escalabilidad en los requerimientos de velocidad, capacidad y ancho de banda, y genera soluciones con el fin de mejorar la eficiencia espectral y la capacidad de transporte de la red; no se requieren cambios o actualizaciones significativas en la infraestructura instalada, por lo que se ahorra en gastos de expansión y mantenimiento. Mejorar la eficiencia espectral en términos de la velocidad de acceso, corresponde a representar una mayor información en el mismo ancho de banda, de modo que, como se aprecia en la Fig. 3, cuatro canales ópticos (OCh) de 10 Gbps podrían ocupar el mismo ancho de banda que cuatro canales ópticos de 40 Gbps.

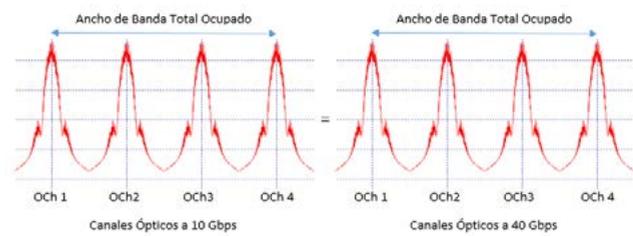


Fig. 3: Ocupación espectral para múltiples canales DWDM

Eficiencia espectral

En los fundamentos de la teoría de la información, desarrollados por C. E. Shannon en su artículo "A Mathematical Theory of Communication" [14] presentado en 1948 en "The Bell System Technical Journal", definen la relación existente entre el ancho de banda de un canal, la potencia promedio transmitida (P) y la potencia de ruido (N_0B). Algunos de los postulados fundamentales de la teoría de la información se definen en términos de: a) sistemas discretos sin ruido, b) el canal discreto con ruido, c) preliminares matemáticas, d) el canal continuo, y e) la tasa de transmisión para una fuente continua, los cuales serán utilizados para proponer una ecuación adaptada a las nuevas arquitecturas de red ópticas.

Capacidad del canal discreto sin memoria

El canal de comunicación es uno de los bloques principales en el que se define el medio físico por el cual los bits de información viajan desde el transmisor hasta el receptor; en dicho medio se presentan fenómenos de propagación lineales, no lineales, ruido y todas aquellas degradaciones que pueden afectar el comportamiento de la señal. La capacidad de un canal de comunicación se puede definir a grandes rasgos como la cantidad máxima de información que es posible transmitir de forma confiable con una probabilidad de error mínima [15], [16], [17] y [18].

Como se aprecia en la Fig. 4, para un canal discreto sin memoria se genera un índice de mensaje llamado W mediante un conjunto de símbolos codificados llama-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3127>

dos $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, que al ser transmitidos por el canal, se distorsionan debido a la interacción con el medio en función de la matriz de distribución de probabilidad de entrada $p(Y_i | X_j)$. Dicha interacción genera un conjunto de símbolos $\mathbf{Y} = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ que al ser decodificados producirán una respuesta de tipo \hat{W} . Se puede afirmar que una transmisión será exitosa si los símbolos enviados de tipo W son iguales a los símbolos recibidos de tipo \hat{W} , de modo que dichos símbolos recibidos serán una función de los símbolos enviados y la variable de ruido del canal como $\hat{W} = f(W)$ [14].

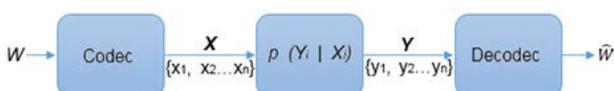


Fig. 4: Canal discreto sin memoria

La relación logarítmica entre los símbolos de entrada \mathbf{X} y los símbolos de salida \mathbf{Y} se encuentra definida por la matriz de transición de probabilidad condicional del canal $p(Y_i | X_j)$. Las Ecuaciones (1) a (3) definen la entropía de la fuente $H(X)$, entropía de salida del canal $H(Y)$ y la entropía condicional $H(X|Y)$ respectivamente [15]:

$$H(X) = \sum_{x_i \in X} p(x_i) \log_2 \left(\frac{1}{p(x_i)} \right) \quad (1)$$

$$H(Y) = \sum_{y_i \in Y} p(y_i) \log_2 \left(\frac{1}{p(y_i)} \right) \quad (2)$$

$$H(X|Y) = \sum_{y_i \in Y} p(y_i) \sum_{x_i \in X} p(x_i, y_i) \log_2 \left(\frac{1}{p(x_i|y_i)} \right) \quad (3)$$

Del mismo modo, la información mutua de la entrada y la salida del canal se denota como $I(X, Y)$ y se define en términos de [16]:

$$I(X; Y) = H(Y) - H(Y|X) = H(X) - H(X|Y) \quad (4)$$

En [17] se define que son las características del canal las que determinan la matriz de probabilidad de transición de estados $p(Y_i | X_j)$, en la que las probabilidades de los símbolos de entrada se encuentran bajo

el control de la codificación del canal discreto; el valor de $I(X, Y)$ maximizado bajo una muestra de probabilidades de símbolos de entrada $p(X)$, es una cantidad que depende únicamente de las características del canal bajo la probabilidad condicional $p(Y_i | X_j)$, dicha cantidad es llamada capacidad del canal y es denotada con el símbolo C , definida en la ecuación (5) como:

$$C_{\text{[uso de canal]}}^{\text{bit}} = \max_{p(x)} I(X, Y) \quad (5)$$

Capacidad del canal continuo sin memoria

En un canal de comunicaciones continuo, cuyo alfabeto de símbolos de entrada $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ representa muestras en el tiempo de una variable continua asociada a una función de densidad de probabilidad $p(x)$, la variable x se puede concebir como la representación de alguna forma de onda de señal; se define la potencia promedio de la señal P en términos de:

$$P = \int_x x^2 p(x) dx \quad (6)$$

Del mismo modo, y considerando el canal continuo sin memoria, se define la entropía diferencial de la fuente $h(X)$ en la ecuación (7); se establece que para dicha potencia promedio, definida en la ecuación (6), la función de densidad de probabilidad Gaussiana es la única bajo la cual la entropía de la fuente es máxima $h_{max}(X)$ en términos de:

$$h(X) = - \int_x p(x) \log_2 p(x) dx \quad (7)$$

$$h_{max}(X) = \frac{1}{2} \log_2(2\pi\sigma_{in}^2) + \frac{1}{2} \log_2(e) \quad (8)$$

Operando matemáticamente los términos definidos en la ecuación (8) es posible representar la máxima entropía de la fuente en términos de:

$$h_{max}(X) = \frac{1}{2} \log_2(2\pi\sigma_{in}^2 e) \quad (9)$$

Para determinar la capacidad C de un canal continuo sin memoria con una distribución de ruido Gaussiano $h(Z)$, se determina la salida de los símbolos de Y_i con respecto a los símbolos de entrada X_i y la señal de ruido aditivo Z , en términos de $Y_i = X_i + Z$, dado que la información mutua del canal Gaussiano está definida como [18]:

$$I(X; Y) = h(X) - h(X|Y) \quad (10)$$

$$I(X; Y) = \frac{1}{2} \log_2(2\pi e \sigma_{out}^2) - \frac{1}{2} \log_2(2\pi e \sigma_{ch}^2) \quad (11)$$

$$I(X; Y) = \frac{1}{2} \log_2 \left(\frac{\sigma_{out}^2}{\sigma_{ch}^2} \right) \quad (12)$$

Considerando $\sigma_{out}^2 = \sigma_{in}^2 + \sigma_{ch}^2$ & $\sigma_{in}^2 = P$, $\sigma_{ch}^2 = N_0 B$

$$I(X; Y) = \frac{1}{2} \log_2 \left(\frac{\sigma_{in}^2 + \sigma_{ch}^2}{\sigma_{ch}^2} \right) \quad (13)$$

$$I(X; Y) = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 B} \right) \quad (14)$$

De lo anterior se concluye que la ecuación (14) también corresponderá a la capacidad del canal Gaussiano, ya que la distribución maximiza la entropía de la fuente; de modo que, de manera equivalente, podemos expresar (14) en términos de un límite superior para la información mutua como:

$$C_{[uso\ de\ canal]} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 B} \right) \quad (15)$$

Es posible, a partir de la ecuación (15), relacionar la capacidad de un canal de comunicación Gaussiano con el ancho de banda y la tasa de transmisión del sistema, en términos de la cantidad de información que representa cada pulso propagado con respecto al periodo de dos pulsos consecutivos, de modo que:

$$R_b [bps] \leq C [bps] = \frac{1}{2T} \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 B} \right) \quad (16)$$

Si se asume que cada uno de los pulsos estará representado en el dominio del tiempo por una señal de tipo sinc $\left(\frac{x}{T}\right)$, su ocupación en el dominio de la frecuencia corresponderá a un ancho de banda (B) de $\frac{1}{2T}$ Hz, con lo cual se puede expresar la ecuación (16) en términos de la capacidad del canal en *bit/sbit/s* en términos de:

$$C_{[bit/s]} = B \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 B} \right) \quad (17)$$

La ecuación (17) define el límite fundamental de la tasa de transmisión que se puede conseguir sobre un canal Gaussiano limitado en banda y una señal limitada en potencia, con una probabilidad de error arbitrariamente baja; sin embargo, dicha ecuación debería considerar algunos factores adicionales asociados a la evolución de los nuevos sistemas de comunicaciones ópticos DWDM.

Adaptación de la teoría de la información para un sistema óptico de próxima generación

Para un sistema de comunicaciones óptico, es posible determinar la eficiencia espectral en términos de la ecuación (17), en la que los límites máximos de la potencia de la señal permisible en el sistema definirán un crecimiento logarítmico como una función de la relación entre la señal y el ruido del canal, por lo que el ruido es un factor constante para toda señal propagada [16]; según estudios realizados en [19], [20], [21], [22], [23] y [24] la medida de la eficiencia espectral dependerá de factores como la técnica de modulación, la técnica de detección, el régimen de propagación, el ancho de banda ocupado por el canal y la relación señal a ruido limitada por las penalidades de potencia (fenómenos de Kerr); aproximarse al límite de la capacidad, requerirá incrementar la complejidad del sistema. De manera general, se puede asociar la eficiencia espectral η en términos de la ecuación (17) con respecto a la capacidad del canal y el ancho de banda total ocupado en términos de:

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3127>

$$\eta_{\left[\frac{\text{bps}}{\text{Hz}}\right]} = C_{[\text{bps}]} / B_{[\text{Hz}]} \quad (18)$$

Sin embargo, dicha ecuación (18) debería ser adaptada a la evolución de los nuevos sistemas de comunicaciones ópticos, en los que se requieren cambios con respecto al incremento de la tasa de transmisión en el de acceso, la coexistencia de diferentes canales en una misma arquitectura de red, asignación dinámicamente el espectro RWA (routing wavelength assignment), y mejoras en la respuesta lineal y no lineal del sistema implementando estándares multinivel, entre otras posibilidades.

Como se aprecia en la Fig. 5, es posible generar un sistema óptico basado en la multiplexación por división de longitud de onda de diferentes accesos de red, tipos de modulación y anchos de banda, en el cual podemos controlar variables como a) número de canales propagantes, b) espaciamientos por canal, c) potencia de la señal de entrada, y d) régimen de propagación, de este modo, sería posible expresar la ecuación (17) en términos de la capacidad de acceso de cada canal óptico como:

$$C_{1[\text{bit/s}]} = B_{ch1} \log_2 \left(1 + \frac{P_{sch1}}{N_0 B} \right) \quad (20)$$

$$C_{2[\text{bit/s}]} = B_{ch2} \log_2 \left(1 + \frac{P_{sch2}}{N_0 B} \right) \quad (21)$$

Si consideramos para el sistema de la Fig. 5 Transmisiones de tipo serial con esquemas de modulación simples, sin que la correlación lineal y no lineal de los fenómenos de Kerr afecten los canales propagantes y, además, manteniendo la misma potencia para los ϵ canales multiplexados de tipo i y los φ , y para los canales multiplexados de tipo j, la capacidad neta del sistema estará dada en términos de:

$$C_{\text{tot}} = B_{ch1} \log_2 \left(1 + \frac{P_{sch1}}{N_0 B} \right) + B_{ch2} \log_2 \left(1 + \frac{P_{sch2}}{N_0 B} \right) \quad (22)$$

Debido a que es posible multiplexar diferentes canales sobre el mismo medio para lograr hasta 128 o más longitudes de onda [25], se puede generalizar la ecuación 22 en términos de:

$$C_{\text{tot}} = \left(\sum_{i=1}^{\epsilon} B_{chi} + \sum_{j=1}^{\varphi} B_{chj} \right) \log_2 \left(1 + \frac{P_{sch}}{N_0 B} \right) \quad (23)$$

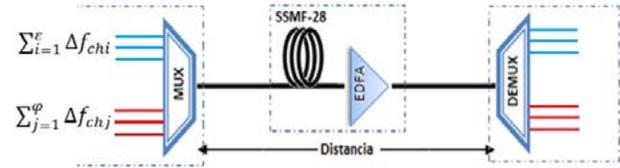


Fig. 5: Sistema DWDM heterogéneo

La ecuación (23) define que para un sistema híbrido de ϵ canales de tipo i (por ejemplo; 2.5 Gbps de acceso) y φ canales de tipo j (por ejemplo; 10 Gbps de acceso), sería posible sobrepasar la capacidad total del sistema, en el que la relación entre el ancho de banda ocupado y la tasa de transmisión nominal se ve reflejada en un incremento aproximado de cuatro veces la ocupación espectral de la señal por cada bit transmitido, si se considera un ancho de banda percentil mayor al 96%, es decir, una longitud de onda de 10 Gbps ocupará cuatro veces más ancho de banda que una de 2.5 Gbps.

Si en ese proceso se mantienen constantes los parámetros de configuración, se espera que una señal de acceso $4C$ requiera cuatro veces más OSNR (*optical signal noise ratio*) que una señal de acceso C [24], lo que significa que en la señal de 10 Gbps solo se dispone de $\frac{1}{4}$ de energía de bit en comparación con una señal de 2.5 Gbps, lo cual requiere 4 veces más potencia en promedio para mantener la misma relación señal a ruido.

Al partir de la Fig. 6 y las ecuaciones (18) y (23), es posible calcular la eficiencia espectral del sistema en términos del parámetro Δ_ν (espaciamiento entre canales adyacentes definidos por la grilla espectral) de modo que, si el ancho de banda de los canales propagados (B_{wch1} o B_{wch2}) es menor que el espaciamiento de los canales adyacentes Δ_ν , la eficiencia espectral del sistema estará dada por:

$$\eta_{\left[\frac{\text{bps}}{\text{Hz}}\right]} = \frac{(C_{ch1[\text{bps}]} + C_{ch2[\text{bps}]})}{\left(\frac{(B_{och1[\text{Hz}]})}{2} + \frac{(B_{och2[\text{Hz}]})}{2}\right) + \Delta_\nu [\text{Hz}]} \quad (24)$$

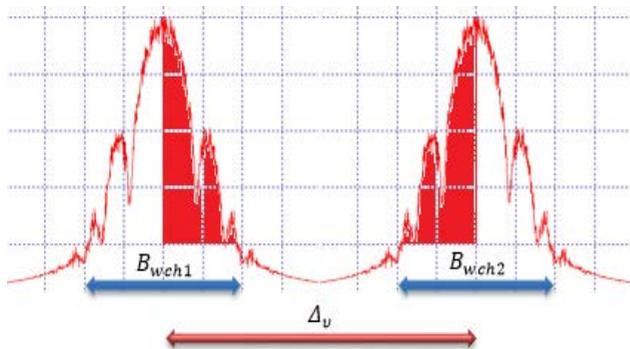


Fig. 6: Espaciamiento óptico (Δ_v) vs Ancho de banda del canal

La ecuación (24) implica que solo en el caso de que el ancho de banda lateral de cada uno de los espectros propagantes en el medio esté contenido dentro del espaciamiento implementado en el sistema DWDM, es posible determinar su eficiencia espectral en términos de, por ejemplo, dos canales de 2.5 Gbps de velocidad de acceso y un ancho de banda ocupado de 10 GHz, contando con una grilla espectral de 100 GHz como:

$$\eta = \frac{2.5[\text{Gbps}] + 2.5[\text{Gbps}]}{\left(\frac{10[\text{GHz}]}{2} + \frac{10[\text{GHz}]}{2}\right) + 100[\text{GHz}]} = 0.0455 \quad (25)$$

Sin embargo, es posible controlar el espaciamiento óptico Δ_v disminuyéndolo hasta el límite máximo donde los canales adyacentes no producen interferencia inter-simbólica, de modo que, si se implementan múltiples canales, la eficiencia máxima total en términos del uso del ancho de banda estará dada por la capacidad total del sistema dividida sobre la mitad del ancho de banda inferior ocupado por el primer canal óptico de la grilla espectral (frecuencia relativa más baja), más la mitad del ancho de banda superior ocupado por el último canal óptico de la grilla espectral (frecuencia relativa más alta), más el espaciamiento por canal representado como $(N - 1)$ corrimientos de Δ_v espaciamentos, y esta es una medida equivalente representada por [26]:

$$\eta_{\max \frac{\text{bps}}{\text{Hz}}} = \frac{\sum_{i=1}^f B_{chi} \log_2 \left(1 + \frac{P_{schi}}{N_0 B}\right) + \sum_{j=1}^p B_{chj} \log_2 \left(1 + \frac{P_{schj}}{N_0 B}\right)}{\frac{(B_{ch1} + B_{chj})}{2} + (N - 1)\Delta_v} \quad (26)$$

La ecuación (26) "Adaptación de la teoría de la información para el régimen de propagación lineal en arquitecturas de red de próxima generación", generada en el presente artículo, implica que es posible incrementar la eficiencia espectral de un sistema DWDM controlando los parámetros: capacidad el canal (C_{ch}), cantidad de canales propagados $(N - 1)$, potencia del canal (P_s), espaciamentos (Δ_v) y ancho de banda (B_{ch}), definidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables y limitaciones en la medida de la eficiencia espectral adaptada a los sistemas NG-PON

C_{ch}	Canales	Δ_v	B_{ch}	P_s
imitación				
Máximo	256 canales	25 Ghz	Depende del	Máxima sin
Teórico	Teóricos	Teóricos	formato de	Penalizaciones
40 Gbps			modulación	de potencia

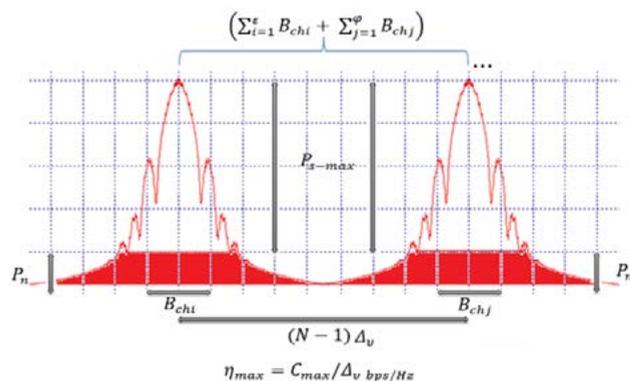


Fig. 7: Relación del comportamiento óptico en términos de la teoría de la información adaptada

Como se aprecia en la Fig. 7, es posible relacionar todos los factores descritos en la ecuación (26) en términos del comportamiento espectral de cualquier cantidad de señales propagantes en un sistema óptico, para permitir de este modo la manipulación de dichas variables con el fin de mejorar la eficiencia espectral.

2. TRABAJOS FUTUROS

Gracias al desarrollo del presente artículo fue posible identificar nuevas áreas de investigación susceptibles de profundización, como algunas de las temáticas propuestas anteriormente enmarcadas en los siguientes criterios:

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3127>

- Adaptación de la teoría de la información para el régimen de propagación no lineal en una arquitectura de red óptica de próxima generación.
- Medida de la densidad espectral de información en arquitecturas de red FSAN para entornos de comunicaciones ópticas.
- Medida de la eficiencia espectral para una arquitectura de red XGS-PON mediante la implementación de diferentes esquemas de modulación multinivel.
- Análisis de dispositivos de amplificación para mitigar los fenómenos de penalidades de potencia y controlar el régimen de propagación de diferentes arquitecturas de red de próxima generación.

3. CONCLUSIONES

Mediante la realización de este artículo, se logró evidenciar que es posible adaptar la teoría de la información clásica de Shannon Hartley a los estándares de la próxima generación de sistemas de comunicaciones ópticos propuestos por FSAN, de modo que es factible controlar algunos parámetros y características de configuración para lograr mejoras en la eficiencia espectral y alcanzar altas capacidades de acceso con grandes anchos de banda; del mismo modo, mediante la implementación de la teoría de la información adaptada, es posible disminuir significativamente el espaciamiento de los canales ópticos e incrementar el número de canales propagados, lo que mejora la media de la eficiencia espectral más allá de los límites de los sistemas binarios.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos al Comité de Programa de la Maestría en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca por sus aportes y recomendaciones, y al grupo de investigación GNTT

(Grupo de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones) de la Universidad del Cauca por su colaboración y consejos en el desarrollo del presente artículo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

REFERENCIAS

- [1] S. D. N., UIT, "Visión general de las redes de próxima generación", Recommendation UIT-T Y. 2001, Ginebra, pp. 2, 2004.
- [2] FSAN. Full Service Access Network, "comité desarrollador UIT", Página Web Retrieved from <https://www.fsan.org/>.
- [3] Rong Zhao et al., "FTTH Handbook", Fibre to the Home Council Europe, Wettelijk Depot, 2018.
- [4] S. D. N., UIT, "10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms", Recommendation UIT-T. G. 987, Ginebra, 2012.
- [5] S. D. N., UIT, "10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements", Recommendation UIT-T. G. 987.1, Ginebra, 2016.
- [6] S. D. N., UIT, "10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification", Recommendation UIT-T. G. 987.2, Ginebra, 2016.
- [7] S. D. N., UIT, "10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Transmission convergence (TC) layer specification", Recommendation UIT-T. G. 987.3, Ginebra, 2014.

- [8] S. D. N., UIT, "10 Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Reach extensión", Recommendation UIT-T. G 987.4, Ginebra, 2012.
- [9] S. D. N., UIT, "10-Gigabit-capable symmetric passive optical network (XGS-PON)", Recommendation UIT-T. G. 9807.1, Ginebra, 2016.
- [10] S. D. N., UIT, "10 Gigabit-capable passive optical networks (XG(S)-PON): Reach extensión", Recommendation UIT-T. G. 9807.2, Ginebra, 2017.
- [11] S. D. N., UIT, "40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements", Recommendation UIT-T. G 989.1, Ginebra, 2013.
- [12] S. D. N., UIT, "40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification", Recommendation UIT-T. G 989.2, Ginebra, 2019.
- [13] S. D. N., UIT, "40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Transmission convergence layer specification", Recommendation UIT-T. G 989.3, Ginebra, 2015.
- [14] C. E. Shannon, "A mathematical theory of communication", The Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656, 1948. Available: <http://www.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf>
- [15] H. Simon, *Sistemas de Comunicación*, 2da edición. Madrid, España: Limusa Wiley, 2001.
- [16] J. G. Proakis, and M. Salehi, *Digital communications*. Fifth Edition. New York: McGraw-Hill, 2007.
- [17] R. G. Gallager, *Information theory and reliable communication*. New York: Wiley, 1968.
- [18] E. Desurvire, *Classical and quantum information theory: an introduction for the telecom scientist*. Cambridge: University Press, 2009.
- [19] J. M. Kahn, K. P. Ho, "Ultimate spectral efficiency limits in DWDM systems", In OptoElectronics and Communications Conference, 2002, pp. 8-12.
- [20] K. P. Ho, J. M. Kahn, "Channel capacity of WDM systems using constant-intensity modulation formats", In Optical Fiber Communication Conference (p. ThGG85), Optical Society of America, March, 2002.
- [21] A. Mecozzi, M. Shtaif, "On the capacity of intensity modulated systems using optical amplifiers", *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 13, no. 9, pp. 1029-1031, 2001.
- [22] E. E. Narimanov, P. Mitra, "The channel capacity of a fiber optics communication system: Perturbation theory", *Journal of lightwave technology*, vol. 20, no. 3, p. 530, 2002.
- [23] P. P. Mitra, J. B. Stark, "Nonlinear limits to the information capacity of optical fibre communications", *Nature*, 411(6841), 1027. 2001.
- [24] I. Brener et al., "Cancellation of all Kerr nonlinearities in long fiber spans using a LiNbO₃ phase conjugator and Raman amplification", In Optical Fiber Communication Conference, 2000. doi: 10.1109/OFC.2000.869479
- [25] P. J. Winzer, and R. J. Essiambre, "Advanced optical modulation formats", *Proceedings of the IEEE*, vol. 94, no. 5, pp. 952-985, 2006. doi: 10.1109/JPROC.2006.873438
- [26] G. Gómez, "Mejora de la Eficiencia Espectral en redes DWDM a 40Gbps a través de los formatos de modulación avanzados DPSK y DQPSK", (Tesis de maestría), Universidad del Cauca, 2019.

Desarrollo de nanomaterial con carbón activado de vástago de banano

Nanomaterial development with activated carbon and banana stem

Esdras Nahum Quintero Ruiz*
Efrén Giraldo Toro**
Carlos Alberto Acevedo Álvarez***

(Recibido el 11-02-2019. Aprobado el 28-05-2019)

Estilo de citación de artículo:

E. N. Quintero Ruiz, E. Giraldo Toro, y C. A. Acevedo Álvarez, "Desarrollo de nanomaterial con carbón activado de vástago de banano", *Lámpsakos*, (22), pp. 37-47 (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3307

Resumen

En este trabajo se presenta el proceso de desarrollo de un material poroso a partir de carbón activado con ácido fosfórico, obtenido del vástago de banano criollo. La capacidad de adsorción es establecida mediante método estático, se evalúan 5 puntos en los cuales el carbón es sometido a diferentes porcentajes de humedad. Se hizo el análisis del área superficial (Sbet) del carbón obtenido y se establece su valor mediante el método B.E.T.

El desarrollo de este nanomaterial amplía las posibilidades de investigación en campos como la refrigeración, en la que se usa como fuente de energía la radiación solar y en la electrónica se aprovecha la mayor área superficial de los carbones activados para construir súper condensadores, de manera que se coloca el carbón entre las placas paralelas, lo que hace que estos dispositivos presenten una capacitancia miles de veces mayor que la de los condensadores actuales de alta capacidad.

Palabras clave: Sorción; Carbón activado; Isotermas; Nanomateriales; Porosidad; Activación química; Área superficial; Impregnación; Precursor; Desorción.

* MSc en Gestión Energética Industrial. Coordinador de Ingeniería Electrónica, Institución Universitaria Salazar y Herrera, Medellín-Colombia. Contacto: esdras.quintero@salazaryherrera.edu.co

** MSc en Gestión Energética Industrial. Docente de cátedra, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín-Colombia. Contacto: hegiraldo2@gmail.com

*** Especialista en Gerencia del Mantenimiento. Profesor titular, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín-Colombia. Contacto: carlosacevedo@itm.edu.co

Abstract

his study presents the development process of a porous material from activated carbon with phosphoric acid obtained from local banana stem. The absorption capacity is set through the static method, 5 points in which carbon is submitted to different percentages of moisture are evaluated. The analysis of the surface area (S_{bet}) of the carbon obtained was made and its value is set through the B.E.T. method.

The development of this nanomaterial wades enlarges the research possibilities in fields such as refrigeration, solar energy is used as a power supply. Electronics is the field in which the biggest surface area is used to make super condensers, in such way that the carbon is put between parallel plates. This way the devices show a capacitance level thousand times bigger than the one of the current high capacity condensers.

Keywords: Sorption; Activated carbon; Isotherms; Nanomaterials; Porosity; Chemical activation; Superficial area; Impregnation; Precursor; Desorption.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3307>

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de materiales porosos es cada vez más frecuente dadas las múltiples posibilidades de aplicación que se extienden desde la purificación de gases y líquidos, hasta las más avanzadas en el ámbito tecnológico, como las aplicaciones en sistemas de refrigeración, tubos de calor y en supercapacitores para electricidad y electrónica.

Amplias zonas rurales de nuestro país y de los países latinoamericanos no disponen de energía eléctrica por las dificultades y costos asociados para el montaje de redes. La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) ha identificado en Colombia alrededor de 460,000 usuarios sin servicio de energía eléctrica, de los cuales alrededor de un 30% (aproximadamente 138,000) de ellos se encuentran en zonas no interconectadas [1]. En estos sitios, la refrigeración constituye una tecnología primordial para la preservación de productos agrícolas y alimenticios. Con este nuevo nanomaterial aplicado a sistemas de refrigeración que no requieran energía eléctrica para su funcionamiento se contribuiría a la competitividad de dichas zonas.

Se propone desarrollar un nuevo nanomaterial con las características adecuadas de adsorción y área superficial que permitan aplicaciones en refrigeración. Para alcanzar este objetivo, se usó como material básico adsorbente o precursor el vástago de banano criollo y como adsorbato, el vapor de agua. Se espera que la nueva pareja sólido-gas conformada por carbón activado-agua para ciclos de adsorción-desorción posibilite, a partir del modelo desarrollado, incrementar la capacidad de adsorción con respecto a la pareja carbón activado-metanol en un 10%, y se convierta en una alternativa tecnológica viable para el almacenamiento de energía térmica.

En este artículo se registra el proceso detallado para la obtención de carbón activado a partir del material poroso, así que se describe cada uno de los elementos y herramientas empleados; además, se expone el sistema a usar para la determinación experimental de la capacidad de adsorción y para la construcción

de las isothermas. En la parte final se describen los resultados y se hace un análisis de cada uno, se expone un método de corrección para la isoterma obtenida y se calcula el COP para un sistema de refrigeración que use el carbón desarrollado. Por último, se presentan las conclusiones del trabajo realizado.

2. METODOLOGÍA

El carbón vegetal es el material de carbono más antiguo que se conoce y se obtiene a partir de la combustión incompleta de materias lignocelulósicas vegetales. Actualmente, los carbones activados se obtienen mediante un primer tratamiento térmico en atmósfera inerte de materiales con alto contenido en carbono, luego se someten a un proceso de gasificación parcial con vapor de agua, dióxido de carbono o a un tratamiento químico para modificar su porosidad. Las materias primas más utilizadas son de origen vegetal: madera, cáscaras y huesos, si bien se pueden utilizar coques de petróleo, carbones de bajo rango y turbas también [2].

El uso más habitual de estos materiales es como adsorbente para la purificación de productos en la industria farmacéutica, alimentaria, de agua potable y para producir diferencias de presión mediante ciclos de adsorción y desorción, por lo que sus propiedades más importantes son su porosidad y área superficial [2].

Para entender mejor el uso del carbón como adsorbente, es necesario explicar que la adsorción es el fenómeno físico por medio del cual las superficies sólidas atrapan moléculas de gas y permiten obtener información útil acerca del sólido adsorbente de la superficie específica, del volumen de poros o la distribución de tamaño de poro. Este fenómeno depende de diferentes variables experimentales como la temperatura, la presión y la naturaleza del adsorbente [3].

En este artículo, además de exponer el fenómeno de adsorción, también se hace la descripción de los elementos e insumos que intervienen en el desarrollo del material poroso, y se presenta el método usado

para la obtención de las isotermas, el cual consta de 5 cajas plásticas herméticas, material transparente y unos 3000 cm³ de volumen dentro de los que se deben garantizar condiciones isotérmicas. Cada caja contiene una solución salina y muestras del carbón obtenido, es decir, que cada una actúa como un sistema independiente con una solución salina que garantiza humedad relativa diferente a la de las demás. Como resultado final se obtiene el carbón activado y se deja el sistema preparado para la construcción de las isotermas de adsorción.

Los ensayos que permitirán la obtención de las isotermas se realizarán con carbón activado químicamente mediante ácido fosfórico y como precursor, vástago de banano; se usará también un horno con atmósfera inerte que impida un proceso de combustión y evite la contaminación. Además, se empleará el vástago de banano criollo, dado que la literatura no reporta ningún desarrollo con este precursor y porque puede convertirse en una alternativa para resolver problemas medioambientales por la alta contaminación que representan sus desechos en las plazas de mercado.

El carbón activado es un material de carbón poroso, un carbonizado que se ha sometido a reacción con gases, a veces con la adición de productos químicos como el ZnCl₂, durante (o después) el proceso de carbonización con el objeto de aumentar su porosidad [4].

Para la activación química se puede usar hidróxido de potasio (KOH) [5], ácido fosfórico (H₃PO₄), cloruro de zinc (ZnCl₂) y carbonato de potasio (K₂CO₃). La activación con KOH requiere temperaturas por encima de 800°C, los otros 3 materiales requieren temperaturas alrededor de 500°C.

Materiales, reactivos y equipos

Reactivos. Se emplearon reactivos de grado analítico, es decir, con alta pureza. Se utilizó ácido fosfórico al 85% (H₃PO₄) y ácido clorhídrico (HCl).

Materiales. Como materia prima o precursor, se usó el vástago de banano criollo correspondiente a la variedad Gros Michel, con nombre científico: *Musa Sapientum* [6]. El nitrógeno (N₂) se empleó como gas inerte para desplazar el oxígeno del horno y garantizar una atmósfera no reactiva.

Equipos. Se emplearon dos clases de hornos: horno de secado y horno vertical de carbonización y activación marca OVELMA, con resistencias eléctricas y alimentación de 110VAC, propiedad de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. El horno vertical es un cilindro de 25 cm de diámetro y 70 cm de largo, contiene un tubo central en acero dentro del cual se colocan pequeñas muestras del precursor a carbonizar, alcanza temperaturas hasta 1000°C. Ver Fig. 1. El horno de secado tiene convección forzada interna y temperatura máxima de 180°C, usado para extraer la humedad del precursor.

Con respecto al horno vertical de carbonización, el análisis de la Fig. 2 muestra el comportamiento de este cuando se programa para alcanzar 520°C.

Los primeros 4 minutos permanece a temperatura ambiente, después del minuto 8, la temperatura empieza a incrementarse de manera acelerada hasta el minuto 22. Entre el minuto 6 y el minuto 24 pasa de 40 a 430°C, a partir del minuto 24 la pendiente disminuye y alcanza finalmente una temperatura de 470°C. La curva muestra un comportamiento típico de este tipo de hornos en los que, durante la recta final, se llega a un estado de equilibrio de transferencia de calor entre el horno y el medio en el cual se encuentra. El horno llegó a la máxima temperatura 50°C por debajo de la temperatura máxima programada, esto puede presentarse debido al desgaste natural en un horno que tiene varios años de uso. Esta curva fue la utilizada para hacer el carbón activado con H₃PO₄. De acuerdo con [7], si la activación se hace con ácido fosfórico, la temperatura máxima es alrededor de 500°C.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3307>

Fig. 1: Horno vertical para la carbonización. Propiedad de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín

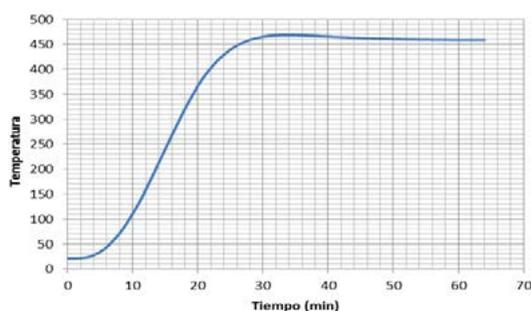


Fig. 2: Horno programado a 520°C. Llega hasta 470°C

Otros elementos y equipos. Balanza analítica marca Quirumed serie 5034. Capacidad: 120 g, sensibilidad: 0.0001 g, diámetro de plato: 90 mm, función de tara y calibración interna con urna de cristal. Un gotero, tres porta muestras, guantes plásticos y máscara, recipiente hermético para guardar el carbón activado, cilindro de N₂ con 99.9% de pureza, rotámetro para gas N082-03 marca Aalborg. Flujo hasta 844 ml/min. Presión 14,7 Psia, longitud 10 pulg. Flotador de vidrio y tirillas para medir el PH.

Procedimiento para obtener el carbón activado con H₃PO₄

Esta es la prueba realizada para la obtención del carbón activado usando como precursor el vástago de banano criollo y como agente para la activación química, el H₃PO₄.

Paso a paso:

1. Lavar la muestra de vástago de banano con abundante agua para eliminar la suciedad que pudiera tener.
2. Cortar la muestra en trozos cúbicos con 3 mm de lado y luego secar a 80°C durante 22 horas.
3. Pesarse 10g de la muestra seca.
4. Usar guantes y máscara de protección.
5. Medir 3,5 g de H₃PO₄ por cada gramo de muestra. Por lo tanto, se requieren 35 g de H₃PO₄.
6. A la cantidad de muestra, adicionarle gota a gota la solución acuosa de H₃PO₄ agitando de manera constante para lograr impregnación total del precursor.
7. Programar el horno de secado a 110°C (283K).
8. Llevar la muestra impregnada al horno de secado y dejarla allí por 4 horas. (La muestra impregnada tiene un peso total de 45g).
9. Sacar las muestras del horno y llevarlas al horno vertical.
10. Conectar cilindro de 5.6 m³ de N₂ al medidor de flujo y este al horno vertical.
11. Programar un flujo de N₂ de 100ml/min (100cm³/min) y esperar unos minutos para evacuar el aire del horno.
12. Programar el horno vertical para alcanzar una temperatura máxima de 450°C.
13. Mantener la temperatura máxima durante una hora.

14. Apagar el horno manteniendo el flujo de N₂ hasta llegar a temperatura ambiente. (Después de secar los 45 g y someterlos al horno vertical, quedaron 21 g de carbón activado sin lavar).
15. Retirar el carbón y lavarlo con agua caliente destilada hasta alcanzar un PH de 6 en el agua residual. (El PH de 6 se logra verificando continuamente el color que toman las tirillas hasta alcanzar el amarillo claro, como lo indican las instrucciones).
16. Secar el carbón a 110°C durante 12 horas.

Análisis detallado del procedimiento

Se sometieron 534 g de vástago de banano criollo al proceso de secado y se obtuvieron 36 g de muestra seca. Por lo tanto, la humedad del vástago es 93.3%. Para obtener 10 g de precursor seco se necesitan entonces 148,3 g de vástago.

La impregnación se hace con una relación 3.5:1, es decir, 3.5 g de ácido fosfórico por cada gramo de precursor seco. Se usan 10 g de precursor, por lo tanto, se requieren 35 g de ácido fosfórico. De los 10 g de precursor impregnados con 35 g de H₃PO₄, después del secado se obtienen 21 g de muestra impregnada seca. La muestra impregnada seca se lleva a la fase de pirolisis en el horno vertical y luego se lava. Después de 4 horas de lavado, se obtuvieron 3 g de carbón activado. Esto significa un rendimiento del 30% ya que la cantidad inicial de precursor seco fue de 10 g.

Obtención de las curvas isotermas. Para las isotermas se usaron 5 g de carbón activado dispuestos en un sistema estático. De los 5 g de carbón, 2,5 g se impregnaron nuevamente con cloruro de potasio (KCl) con el fin de aumentar la adsorción. El cloruro se preparó a 20% (200 g de KCl por 1 l de solución). La impregnación se hizo con 1,25 ml de solución acuosa por 2,5 g de

carbón activado (a razón aproximada en peso de 1/2). Los otros 2,5 g no se impregnaron. Esto se hace para determinar qué pasa en ambos casos. Algunos pasos del procedimiento anterior se hicieron con base en [8].

Sistema estático para la obtención de las isotermas de equilibrio. Una vez obtenido el carbón, es necesario realizar las pruebas respectivas para determinar la capacidad de adsorción y el área superficial. En la determinación de la capacidad de adsorción se usará agua en un sistema estático, como se explica en este numeral.

Funcionamiento del sistema estático. La actividad de agua en el carbón es equivalente a la humedad relativa del aire en equilibrio con el propio carbón [9]. Para obtener los datos de equilibrio, se utilizó el método estático con la ayuda de soluciones saturadas y se usaron 5 tipos de sales cuyas humedades relativas son reales y se muestran en la Tabla 1 [10].

Tabla. 1. Porcentaje de humedad (AW) para 5 sales en un sistema isotérmico

Sal usada en solución acuosa	% Humedad (Aw. actividad del agua)
Cloruro de Litio	11,23
Cloruro de calcio	29,50
Nitrato de sodio	63
Cloruro de sodio	75,30
Cloruro de potasio	84,30

En las pruebas experimentales se utilizaron 5 cajas de plástico herméticas (una para cada solución salina) dispuestas en el interior de un sistema isotérmico que garantiza una temperatura constante de 22°C (ver Fig. 3). En cada una de las cajas de la Fig. 4 se dispusieron las muestras de carbón en dos recipientes como lo muestra la Fig. 5. El recipiente 1 contiene el carbón tal y como se obtuvo y el recipiente 2 contiene el carbón impregnado de cloruro de potasio.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3307>



Fig. 3: Sistema estático e isotérmico que contiene las cajas con las sales



Fig. 4: Cajas herméticas que contienen las sales y las muestras de carbón. Se usaron 5 de estas



Fig. 5: Tapa de una caja hermética con los recipientes para el carbón. Se usaron 2 de los 4 recipientes mostrados

Una vez dispuestas las muestras en los recipientes dentro de las cajas, se procede a pesar el carbón y el sistema que lo soporta usando una balanza analítica con una precisión de $\pm 0.001g$. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos iniciales del sistema para construir las isotermas

CAMARA HERMETICA	% HUMEDAD	PESO DEL SISTEMA SIN CARBÓN (g)		PESO DEL CARBÓN SECO (g)		PESO DEL SISTEMA CON CARBÓN (medido) (g)		PESO DEL SISTEMA CON CARBÓN (calculado con la suma para verificar error) (g)	
		RECIPIENTE 1	RECIPIENTE 2	RECIPIENTE 1	RECIPIENTE 2	RECIPIENTE 1	RECIPIENTE 2	RECIPIENTE 1	RECIPIENTE 2
1	11,23	3,342	3,292	0,312	0,315	3,654	3,608	3,654	3,607
2	29,50	3,173	3,248	0,312	0,304	3,486	3,553	3,485	3,552
3	63,00	3,203	3,256	0,308	0,308	3,512	3,566	3,511	3,564
4	75,30	3,365	3,331	0,314	0,317	3,68	3,651	3,679	3,648
5	84,30	3,393	3,307	0,315	0,311	3,713	3,62	3,708	3,618

La curva de adsorción se construye con los datos de la cantidad de agua adsorbida por cada muestra que se dispuso en las cámaras herméticas. Para esto se deja que el sistema llegue a un equilibrio, logrado después de varios días.

3. DESARROLLO

Con el fin de verificar el estado de equilibrio (adsorción máxima de agua de cada muestra) se hicieron las mediciones del sistema a los 7, 8 y 9 días con los resultados que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Peso del sistema a los 7, 8 y 9 días para verificar equilibrio

PESO DEL SISTEMA CON CARBÓN (medido 7 días despues) (g)		PESO DEL SISTEMA CON CARBÓN (medido 8 días despues) (g)		PESO DEL SISTEMA CON CARBÓN (medido 9 días despues) (g)	
RECIPIENTE 1	RECIPIENTE 2	RECIPIENTE 1	RECIPIENTE 2	RECIPIENTE 1	RECIPIENTE 2
3,643	3,595	3,644	3,595	3,645	3,595
3,487	3,553	3,488	3,554	3,488	3,554
3,579	3,631	3,58	3,632	3,58	3,633
3,776	3,766	3,777	3,766	3,777	3,766
3,87	3,806	3,87	3,807	3,87	3,808

Con los datos de la Tabla 3, se puede evidenciar que durante los 3 días en los que se hicieron las mediciones, algunos valores no cambiaron y otros solo variaron en una milésima de gramo entre un día y otro. Lo anterior permite concluir que el sistema está en equilibrio y las muestras llegaron a su máxima adsorción.

ción en el día 9. Sin embargo, al comparar las medidas del sistema inicial con las obtenidas a los 9 días para el sistema en equilibrio, como lo muestra la Tabla 4, se encontró que para la cámara 1 con humedad del 11.23%, las muestras no habían adsorbido agua y, por el contrario, se había presentado desorción con salida de agua desde el carbón hacia el medio, se desorbieron 9 mg en el recipiente 1 (pasó de 3,654 g a 3,645 g) y 13 mg en el recipiente 2 (pasó de 3,608 g a 3,595 g). Era un resultado inesperado ya que se había asumido que las muestras dispuestas al inicio estaban totalmente secas. Los resultados de la segunda cámara muestran una variación muy pequeña: la muestra del recipiente 1 adsorbe 2 mg de H₂O (pasó de 3,486 g a 3,488 g) y la muestra del recipiente 2 adsorbe 1 mg de H₂O (pasó de 3,553 g a 3,554 g). Las otras 3 cámaras tuvieron una adsorción considerable. Ver datos en la Tabla 4.

Tabla 4. Cantidad adsorbida de agua al cabo de 9 días

CAMARA HERMETICA A	% HUMEDAD	PESO DEL SISTEMA CON CARBÓN (medido) (g)		PESO DEL SISTEMA CON CARBÓN (medido 9 días despues) (g)		DIFERENCIA DE PESOS (g)	
		RECIPIENTE 1	RECIPIENTE 2	RECIPIENTE 1	RECIPIENTE 2	RECIPIENTE 1	RECIPIENTE 2
1	11,23	3,654	3,608	3,645	3,595	-0,009	-0,013
2	29,50	3,486	3,553	3,488	3,554	0,002	0,001
3	63,00	3,512	3,566	3,58	3,633	0,068	0,067
4	75,30	3,68	3,651	3,777	3,766	0,097	0,115
5	84,30	3,713	3,62	3,87	3,808	0,157	0,188

La desorción que se presenta en la primera caja hermética indica que el carbón que se introdujo en los recipientes no estaba totalmente seco. La humedad ganada por el carbón antes de las pruebas pudo deberse a que se dejó de un día para otro en un frasco, cuyo volumen es muy superior a su contenido de carbón y adsorbió la humedad del espacio no ocupado. También se adquiere algo de humedad al manipular el carbón cuando se extrae del horno de secado.

La situación anterior se corrige con el siguiente procedimiento: se pesan las muestras de carbón húmedo que se extrae de las cajas, las muestras se secan durante 4 horas a 120°C; una vez secas, se pueden obtener los datos reales de adsorción para cada muestra.

En la Tabla 5 se describen los valores de las muestras húmedas retiradas de las cajas y de las muestras secas recién retiradas del horno. Con los datos obtenidos se calcula la cantidad real adsorbida. Las muestras de los recipientes marcados con el número 2, impregnadas con Cloruro de Potasio, mejoraron ligeramente la adsorción, como se puede evidenciar en la Tabla 5, para obtener mejores resultados se deberían aumentar la cantidad de agente impregnante, ya que la relación usada fue de 1/0.5, lo que significa que por cada gramo de carbón se usó medio gramo de agente. Las isotermas se construyen con los porcentajes adsorbidos (Nads) que se obtienen con la relación matemática ((muestra húmeda-muestra seca) / muestra seca) vs (los porcentajes de humedad (Aw)). Se construyeron 3 isotermas, una para cada recipiente y una para el promedio de las dos.

Tabla 5. Cantidad de agua adsorbida para cada muestra (Nads)

DATOS CORREGIDOS						
PESO DE CARBÓN CON AGUA (g)		PESO DEL CARBÓN SECO (g)		Nads (g-H ₂ O/g-carbón)		
RECIPIENTE 1	RECIPIENTE 2	RECIPIENTE 1	RECIPIENTE 2	RECIPIENTE 1	RECIPIENTE 2	PROMEDIO
0,308	0,307	0,2885	0,2955	0,067590988	0,03891709	0,053254039
0,308	0,305	0,2896	0,2875	0,063535912	0,060869565	0,062202738
0,374	0,374	0,2987	0,2942	0,2520924	0,271244052	0,261668226
0,407	0,433	0,3029	0,3095	0,343677781	0,399030695	0,371354238
0,472	0,492	0,3104	0,3029	0,520618557	0,624298448	0,572458503

Las isotermas se obtienen con los datos de la Tabla 5 y se observan en las Fig. 6, 7 y 8 donde Aw es la actividad del agua o porcentaje de humedad y el eje vertical muestra la cantidad agua adsorbida en gramos de H₂O por cada gramo de carbón (Nads).

La Fig. 6 muestra una tendencia inicial de la curva hacia abajo debido a que el segundo valor de la cantidad de agua adsorbida (Nads) en la columna de recipiente 1, de la Tabla 5, es menor que el primer valor de la misma columna; este resultado no es normal ya que, a mayor porcentaje de humedad, mayor debe ser la cantidad adsorbida. El error pudo presentarse debido a que probablemente la segunda muestra no se secó lo suficiente o, al tratarse de cantidades tan pequeñas, se pudo cometer algún error en las medidas. Para valores

de A_w por encima de 0,3, la curva tiende a aplanarse debido al espacio tan grande que hay entre el segundo y el tercer valor.

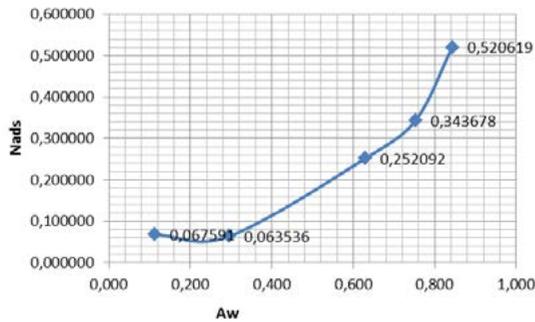


Fig. 6: Isoterma para los datos del recipiente 1

La Fig. 7 muestra una tendencia inicial de la curva a aplanarse debido a que el segundo valor de Nads en la columna de recipiente 2, de la Tabla 5, es ligeramente superior al primer valor de la misma columna; este resultado es normal porque a mayor porcentaje de humedad, mayor debe ser la cantidad adsorbida y así ocurre. Al igual que en la Fig. 6, después de un A_w de 0,3, la curva tiende a aplanarse.

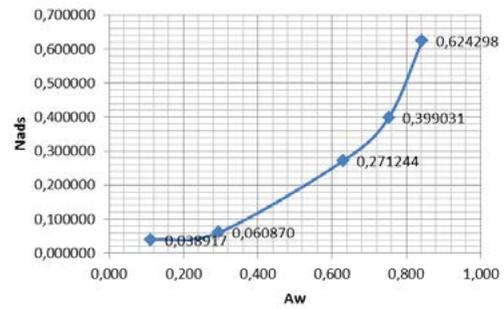


Fig. 7: Isoterma para los datos del recipiente 2

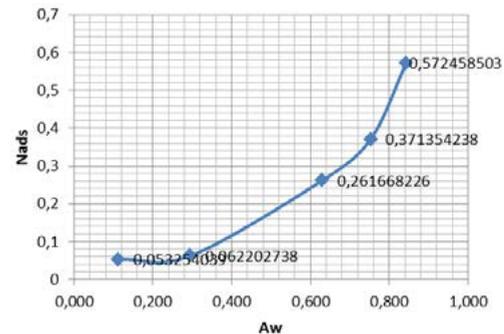


Fig. 8: Isoterma para los datos promedio del recipiente 1 y del recipiente 2

La Fig. 8 corresponde a los datos promedio de la Tabla 5. Se puede observar, al igual que en la Fig. 7, una tendencia inicial de la curva a aplanarse debido a que el segundo valor de Nads en la columna promedio de la Tabla 5, es ligeramente superior al primer valor de la misma columna; este es un resultado esperado ya que a un mayor porcentaje de humedad, se presenta una mayor cantidad adsorbida y, de manera similar a los casos anteriores, la curva tiende a aplanarse después de un valor A_w de 0,3.

Como puede observarse en las Fig. 6 a 8, las curvas tienen una ligera tendencia hacia abajo o a aplanarse en la parte inicial y luego presentan un aplanamiento largo en la mitad del tramo, para después terminar las tres con unos valores elevados de adsorción en los puntos donde la actividad del agua está por encima de 0,7.

Área superficial

Para la determinación del área superficial se usó un equipo volumétrico Quanta Chrome Autosorb de propiedad de la Universidad Pontificia Bolivariana con las siguientes características básicas: determina área BET/mesoporosidad ($P/P_0 > 1 \times 10^{-3}$), trabaja con bajas presiones para Kriptón, determina microporosidad ($P/P_0 < 1 \times 10^{-4}$), habilidad para Quimisorción, reactor de 1100°C.

Se hizo el análisis del área superficial (S_{bet}) del carbón obtenido y se establece que su valor es de 809,70 m^2/g . El método B.E.T., desarrollado por Brunauer, Emmett y Teller [11], permite determinar la superficie de un sólido basándose en la adsorción de un gas inerte, generalmente N_2 , a baja temperatura. La idea central del método de BET es que al conocer la cantidad de gas adsorbido necesario para formar una monocapa y el área que ocupa una de estas moléculas adsorbidas, es posible estimar el área del sólido. El equipo usado también permitió establecer el tamaño de los

poros y se obtuvo un ancho de 4,1703 Å, equivalente a 0.41703 nm lo que permite clasificar al material como microporoso.

4. CONCLUSIONES

Un buen carbón o ciertas zeolitas logran valores de adsorción del orden de 0,7 g de agua por gramo de carbón. Aquí se logra un valor de adsorción 0,57 g de agua por cada gramo de carbón para una actividad del agua del 84,3%. Se mencionó que en [12], lograron una capacidad de adsorción de 0,44 y 0,31 kg de H₂O/ kg de adsorbente, lo que ratifica que el resultado obtenido es bueno a pesar de las limitaciones con las que se trabajaron.

El carbón obtenido tiene un tamaño irregular, pues se encuentran partículas de 2 mm de diámetro y otras con características de polvo. El desempeño puede mejorar si se logra un carbón totalmente en polvo, ya que se aprovecha mucho mejor la superficie para la formación de poros en su interior. Queda como valor agregado de esta investigación lograr un carbón en polvo, para lo cual es necesario hacer un corte más fino al precursor antes de someterlo al proceso de impregnación y corregir irregularidades en el proceso de lavado.

Una segunda etapa de impregnación mejora la adsorción, como se pudo comprobar usando una cantidad modesta de cloruro de potasio para las muestras del recipiente 2 (fue solo de 0,5 g de cloruro por cada gramo de carbón). Se espera que aumentando la cantidad de agente impregnante, aumente la capacidad de adsorción.

El área superficial obtenida es muy superior a la de otros experimentos realizados con diferentes precursores. Algunos de esos experimentos entregaron las siguientes áreas: con Lignito 630 m²/g [7], con palo-santo 520 m²/g, con Bambú 486 m²/g [14].

5. FINANCIAMIENTO

Los autores manifiestan que la investigación se realizó totalmente con recursos propios y que se usaron en calidad de préstamo los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y de la Universidad Pontificia Bolivariana.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al señor Farid Cortés de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, por su valioso aporte en el desarrollo de este trabajo y al personal de laboratorio de la Universidad Pontificia Bolivariana por permitir la realización de las pruebas, la obtención del carbón activado y por el uso de los equipos con los cuales se determinó el área superficial.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Minas y Energía. Decreto numero 1623, agosto 2015.
- [2] C. Asimbay, N. Rosas, D. Endara, y V. H. Guerrero, "Obtención del Carbón Activado a partir de Residuos Linocelulósicos de Canelo, Laurel y Eucalipto", *Revista Politécnica*, vol. 36, no. 3, pp. 1-6, 2015. Disponible en: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/537

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3307>

- [3] R. Moliner, "Del carbón activado al grafeno: Evolución de los materiales de carbono". Bol. Grupo Español Carbón, número 41, 2016. Disponible en: www.gecarbon.com/boletines/articulos/Boletin-GEC_041_art1.pdf
- [4] M. A. Álvarez Merino, F. Carrasco Marín, y F. J. Maldonado Hódar, Desarrollo y aplicaciones de materiales avanzados de carbón, Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía, 2014.
- [5] A. Sabrina, L. Galicia, E. Plaza, R. Atensio, A. Rodríguez, y E. González, "Carbón activado preparado a partir de carbón mineral bituminoso activado con hidróxido de potasio", *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, vol. 39, no. 2, pp. 63-71, 2016. Disponible en: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/21324/21155>
- [6] L. Pari, and J. Umamaheswari, "Antihyperglycaemic activity of *Musa sapientum* flowers: effect on lipid peroxidation in alloxan diabetic rats", *Phytotherapy Research*, vol. 14, no. 2, 2000. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10685115>
- [7] M. A. Lillo-Ródenas, J. P. Marco-Lozar, D. Cazorla-Amorós, and A. Linares-Solano, "Activated carbons prepared by pyrolysis of mixtures of carbon precursor/alkaline hydroxide", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 80, no. 1, pp. 166-174, 2007. doi: 10.1016/j.jaap.2007.01.014
- [8] F. Suarez-García, A. Martínez-Alonso, J. M. D. Tascón, "Porous texture of activated carbons prepared by phosphoric acid activation of apple pulp", *Carbon*, vol. 39, no. 7, pp. 1111-1115, 2001. doi: 10.1016/S0008-6223(01)00053-7
- [9] S. Lahsasni, M. Kouhila and M. Mahrouz, "Adsorption- Desorption Isotherms and Heat of Sorption of Prickly Pear Fruit (*Opuntia ficus indica*)", *Energy Conversion and Management*, vol. 45, no. 2, pp. 249-261, 2004. doi: 10.1016/S0196-8904(03)00133-X
- [10] L. D. Fiorentin, B. T. Menon, S. T. D. de Barros, N. C. Pereira, O. C. da Lima, and A. N. Modenes, "Sorptions isotherm of agricultural residue of orange bagasse", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.14, no.6, pp. 653-659, 2010. Available: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n6/a12v14n6.pdf>
- [11] M. A. Hernández, J. A. Velasco, F. Rojas, V. H. Lara, M. A. Salgado y V. Tamariz, "Evaluación de mesoporos y caracterización de arcillas del estado de Puebla, México", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 19, no. 4, pp. 183-190, 2003. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/23591/22254>
- [12] C. Hai-jun, C. Quin, Y. Xiao-li, C. Xiu-jun, and Y. Hu-qing, "Attapulgite based composite adsorbent for cooling and air conditioning applications-I preparation and performance", in: *The Fourth Pacific Basin Conference on Sorption Science and Technology*, PRC, Tianjin, 2006.
- [13] Q-S. Liu, T. Zheng, P. Wang, and L. Guo. "Preparation and characterization of activated carbon from bamboo by microwave-induced phosphoric acid activation". *Industrial Crops and Products*, vol. 31, no. 2, pp. 233-238, 2010. doi: 10.1016/j.indcrop.2009.10.011

Caso de estudio del desarrollo de un videojuego basado en BCI

Case study of the development of a BCI-based videogame

Erika Julieta Restrepo Zapata*
Alejandro Díaz Jaramillo**
Isabel Margarita Vega Rodríguez***
Sandra Milena Velásquez Restrepo****

(Recibido el 28-12-2018. Aprobado el 15-04-2019)

Estilo de citación de artículo:

E. J. Restrepo Zapata, A. Díaz Jaramillo, I. M. Vega Rodríguez, y S. M. Velásquez Restrepo, "Caso de estudio del desarrollo de un videojuego en BCI", *Lámpsakos*, (22), pp. 48-58 (julio-diciembre, 2019). doi : 10.21501/21454086.3074

Resumen

Este artículo describe la metodología de formación por proyectos del Servicio Nacional de Aprendizaje–SENA y su integración con un proyecto de investigación aplicada. Lo que representa uno de los retos más importantes del Centro de Servicios y Gestión Empresarial, enfocado en involucrar a los aprendices en actividades asociadas con la investigación que les permitan aplicar lo aprendido para solucionar un problema real o satisfacer una necesidad puntual. Se presenta un caso de estudio para ilustrar cómo la metodología de formación por proyectos es utilizada en el desarrollo de un videojuego basado en Interfaz Cerebro-Computador (BCI). El trabajo fue realizado por aprendices de la tecnología en Desarrollo de Videojuegos, se emplearon metodologías adicionales como Design Thinking y SCRUM. Los resultados evidenciaron que integrar el proceso de formación con los proyectos de investigación aplicada es pertinente para involucrar a los aprendices en la investigación, lo que da lugar a un mayor nivel de dinamismo y motivación en la formación de profesionales con competencias técnicas e investigativas.

Palabras clave: BCI; Desarrollo de videojuegos; Pensamiento de diseño; Juegos serios; Señales electroencefalográficas; Investigación aplicada; Metodología ágil; Metodología de formación por proyectos; Videojuego; SCRUM.

* Tecnóloga en Formulación de Proyectos. Investigadora, Centro de Servicios y Gestión Empresarial, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Integrante del grupo de investigación GIGAT, Medellín-Colombia. Contacto: ejrestrepo28@misena.edu.co

** Tecnólogo en Desarrollo de Videojuegos. Instructor, Centro de Servicios y Gestión Empresarial, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), semillero ITADIR, Medellín-Colombia. Contacto: alejandrodiazjillo@gmail.com

*** Msc. en Ingeniería- Automatización Industrial. Investigadora, Centro de Servicios y Gestión Empresarial, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Medellín-Colombia. Contacto: isabelmar.vega@gmail.com

**** Msc. en Ingeniería. Investigadora, Centro de Servicios y Gestión Empresarial, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Medellín-Colombia. Contacto: smvelasquez@sena.edu.co

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3074>

Abstract

This article describes the training methodology based on projects by Servicio Nacional de Aprendizaje–SENA, a national apprenticeship service, and its integration with an applied research project. This represents one of the most important challenges of the Center for Business Services and Management, focused on involving the apprentices in activities associated with research, which allows them to apply what they have learned; solving a real problem or satisfying a specific need. A case study is presented to illustrate how the project training methodology is used in the development of a video game based on brain-computer interface (BCI). The task was carried out by apprentices of technology in Video Game Development. Additional methodologies such as Design Thinking and SCRUM were used. The results showed that integrating the training process with the applied research projects is relevant to involve the apprentices in the research, which leads to a higher level of dynamism and motivation, training professionals with technical and research skills.

Keywords: BCI; Video game development; Design thinking; Serious games; Electroencephalographic signals; Applied research; Agile methodology; Project training methodology; Videogame; SCRUM.

1. INTRODUCCIÓN

La formación profesional que imparte el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA constituye un proceso educativo teórico-práctico de carácter integral, orientado al desarrollo de conocimientos técnicos, tecnológicos, de actitudes y valores para la convivencia social que le permiten a la persona actuar crítica y creativamente en el mundo del trabajo y de la vida [1].

Es por esto que el aprendizaje basado en proyectos planteado en el Estatuto de Formación Profesional Integral (FPI) lleva a que estudiantes e instructores planeen, implementen y evalúen proyectos que tienen aplicación en el mundo real, más allá del aula de clase, logrando que estos en muchas ocasiones se asemejen fuertemente a un proceso de investigación [2]. En este sentido, en el 2012 surgió la evolución del modelo pedagógico SENA en el que se suministró el derrotero conceptual y aplicado para el desarrollo de las competencias laborales [3]. Por lo tanto, en el estatuto de la FPI se presenta la estrategia de investigación aplicada, por medio del proyecto formativo, posibilitando en los aprendices la articulación de conocimientos mediante el análisis interdisciplinar, su planeación y desarrollo en función de la investigación aplicada.

En este sentido, para fortalecer este trabajo, el SENA crea también el Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA), mediante el acuerdo 00016, el cual propende por el mejoramiento de la educación con la incorporación de nuevas tecnologías y/o conocimientos en los procesos propios de la investigación para la formación profesional integral y la formación para el trabajo [4].

Convencionalmente, durante los procesos de formación en el Centro de Servicios y Gestión Empresarial se utiliza la metodología de formación por proyectos del SENA. Sin embargo, se carece de un enfoque estructurado que permita integrar el proceso de formación con los proyectos de investigación aplicada en el que los aprendices apliquen lo aprendido, de tal forma que solucionen un problema o satisfagan una necesidad puntual al involucrarse en actividades asociadas con los proyectos de investigación que se llevan a cabo

en los semilleros. Según registros de la entidad, se evidenció que de las personas inscritas en el programa que cumplen con los requisitos de selección, el 47% se matricula, pero solo el 31% continúa con su proceso de formación, por lo tanto, es importante diseñar estrategias que motiven la participación de los aprendices en proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, los cuales faciliten la identificación de las múltiples alternativas de solución a las necesidades que demanda el sector productivo.

Teniendo en cuenta el acelerado crecimiento en el desarrollo de videojuegos y su versatilidad [5], el Centro de Servicios y Gestión Empresarial, con apoyo de Tecnoparque (nodo Medellín), formuló el proyecto de investigación "Serious Play con realidad virtual a través de señales electroencefalográficas (EEG) para la adaptación y manejo de prótesis de miembro superior", que en adelante se nombrará como "Serious Game EEG", con el fin de desarrollar una plataforma para el entrenamiento de usuarios finales de sistemas Interfaz Cerebro- Computador (BCI por sus siglas en inglés) [6], convirtiéndose en el proyecto de investigación aplicada que se integra con la metodología de formación por proyectos del SENA.

Este artículo presenta la integración entre la formación por proyectos y la investigación aplicada. Se proporciona un ejemplo donde aprendices de la ficha 1438041 de la Tecnología en Desarrollo de Videojuegos (los cuales hacen parte del semillero de investigación ITADIR) desarrollan un videojuego basado en BCI como apoyo al proyecto de investigación "Serious Game EEG".

Estructura conceptual de la metodología de formación por proyectos del SENA

En la metodología de formación del SENA los aprendices deben realizar un proyecto formativo, el cual les permite ejecutar actividades agrupadas en fases similares a las que desarrollarán en el sector productivo y que están alineadas con el ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar) [7]. Mediante la realización del proyecto formativo, se evalúa el proceso de aprendizaje y

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3074>

la adquisición de competencias laborales al considerar los resultados que los aprendices deben demostrar en sus actividades de formación. En este, se busca que los aprendices resuelvan una situación o problema siguiendo un paso a paso que les permite: (a) realizar el análisis de la situación a resolver e informarse sobre ella, (b) planear la mejor forma de llevar a cabo esa solución, (c) establecer planes de acción, (d) ejecutar las actividades planeadas y (e) evaluar el cumplimiento y efectividad para el logro del objetivo planteado. En el proyecto de formación se deben aplicar las competencias que agrupan los conceptos, principios y procesos que están asociados a los resultados de aprendizaje de las diferentes fases y actividades [8]; en la Fig. 1 se representan los componentes de la metodología de la formación por proyectos utilizada en el SENA.

2. MATERIALES Y MÉTODO

La metodología de formación por proyectos del SENA es la base de esta investigación; sin embargo, se incluyeron las metodologías Design Thinking [9], [10] y SCRUM (metodología de trabajo para definir los pasos a seguir en un proyecto) [11], [12], con el fin de garantizar la integración de la formación con la investigación. A continuación, se describen en detalle las fases de la metodología de formación por proyectos aplicadas al caso de estudio:

Proyecto

Situación

En el Centro de Servicios y Gestión Empresarial se llevan a cabo diferentes proyectos de investigación asociados a los semilleros con los que cuenta este centro de formación. El proyecto de investigación "Serious Game EEG" se formuló con el objetivo de desarrollar una plataforma de Serious Play para el entrenamiento de usuarios finales de sistemas BCI. Para el desarrollo del proyecto se planteó la necesidad de conformar un equipo de trabajo multidisciplinario compuesto por

investigadores, gestores, instructores, practicantes y aprendices de programas del SENA. Lo anterior evidencia un contexto propicio para la innovación y para proponer soluciones a partir de un micro-proyecto, en el cual los aprendices de la Tecnología en Desarrollo de Videojuegos fortalecen las habilidades y competencias relacionadas con el programa de formación.

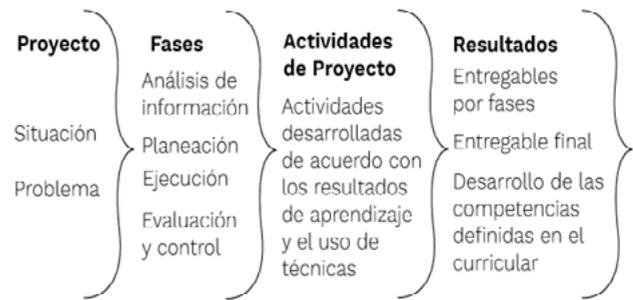


Fig. 1: Metodología de aprendizaje por proyectos [8]

Problema

El problema o reto a solucionar incluye dos aspectos: (1) el objetivo principal del proyecto de investigación y (2) la integración y articulación del proyecto de investigación con la formación por proyectos del SENA

Fases

Análisis de la información

Se realizó una reunión en donde se les presentó al instructor y a los aprendices de la ficha 1438041 de la Tecnología en Desarrollo de Videojuegos el proyecto "Serious Game EEG". Se creó un micro-proyecto con los aprendices que manifestaron interés en participar y con base en los requerimientos definidos por el equipo de trabajo, se definió como objetivo desarrollar un videojuego que permita utilizar señales cerebrales como comandos de control. Para la búsqueda de la solución más apropiada, los aprendices llevaron a cabo un proceso de investigación relacionada con BCI y videojuegos, realizaron búsquedas en bases de datos como Scopus, Tree of Science, IEEE Xplore, Redalyc, Scielo,

Science Direct y Google Scholar, con el fin de identificar los requerimientos para el trabajo a realizar. Adicionalmente utilizaron la metodología Design Thinking [13], [14] con el propósito de generar ideas que permitieran diseñar y construir un videojuego bajo el concepto de *Serious Game*. Esta metodología que traduce "Pensamiento de Diseño" se puede utilizar como herramienta pedagógica para dar solución a las problemáticas que presenta un usuario, buscando innovar y centrarse en las necesidades de las personas al contemplar las diferentes opciones existentes, antes de elegir la que se considera más apropiada [10], [14]. Como resultado de esta actividad, se obtuvieron 10 concepciones diferentes de juego, como se describen en la Tabla 1. Al aplicar una matriz de ponderación como criterio para elegir el juego, se seleccionó el juego número 9 llamado Proeza; luego de esto, se procedió a elaborar los documentos The Game Concept Document (GCD), The Pitch Document (PD) y The Game Design Document (GDD); utilizando como referencia lo establecido en el programa de formación titulada elaborado por el SENA para la Tecnología en Desarrollo de Videojuegos.

Planeación de las actividades

El instructor asignó las actividades a desempeñar por cada aprendiz dentro del proyecto, teniendo en cuenta las fortalezas, intereses y habilidades de cada participante. Fue necesario que los aprendices cumplieran con las funciones de programadores productores, diseñadores del juego, artistas gráficos y artistas sonoros, y de acuerdo con esto se establecieron las tareas y los tiempos de entrega [12], [15], [16]. Con el fin de realizar un trabajo colaborativo, se utilizó el software Trello como herramienta para la administración del proyecto, ya que permite identificar visualmente los procesos y proyectos a través de un tablero en el que se controlan las actividades por ejecutar, facilitando la corrección y optimización del proceso de producción [17], [18].

Tabla 1. Concepciones de juego

Nombre del juego	Objetivo del juego
Contingencia atmosférica	Este juego ofrece una forma interactiva y divertida de enseñar a las personas a identificar cuáles son los factores principales que influyen en la contaminación del aire y establecer cuáles son las acciones adecuadas que debe realizar, como actor de ciudad, para disminuir la contaminación. Con acciones correctas el jugador gana puntos que se reflejan en la cantidad de PM 2,5. PM 10 etc., que reportan las estaciones de SIATA y se aprecia un cambio positivo y automático en el entorno del juego. Si se pierden puntos, el usuario se enfrenta a situaciones contrarias.
Delitos electorales	Este juego es una simulación realista de una temporada de elecciones de autoridades territoriales que involucra partidos y movimientos políticos desacreditados, un orden público caótico y delitos electorales. Esta herramienta permite identificar los delitos electorales, lo cual puede ser útil en la disminución del abstencionismo y orientar a jóvenes que desean liderar proyectos sociales, económicos, etc.
Compras responsables	Este <i>Serious Game</i> se centra en la generación de conciencia de la importancia del consumo responsable y anima a los jugadores a tomar las decisiones correctas al momento de comprar, permitiendo el cambio de hábitos de consumo con base en sus necesidades y las de su entorno.
Learn while you run (Aprende mientras corres)	Este juego invita a los jugadores a pensar en soluciones para educar en aspectos tales como historia, comidas típicas, etc.
¿Quién quiere ser inteligente?	El objetivo de este juego es probar la habilidad de los jugadores en el conocimiento de la cultura y datos del país escogido dentro del listado propuesto en el juego.
Esquiva los obstáculos	Diseñado con el fin de identificar los inconvenientes que representa tener las calles llenas de obstáculos, como basuras por ejemplo.
Armando la frase	Este juego tiene como objetivo crear conciencia de que la educación sea vista como un juego. Los jugadores conocen sobre la región escogida lo que allí se consume, se exporta, su cultura, etc.
Perro Rockero	"Perro Rockero" invita al jugador a convertirse en un músico y desarrollar sus habilidades, enseñando notación musical, ritmo y cultura general de las ciudades o países que se visitan.
Proeza	Este juego tiene como objetivo atraer a los jugadores para que aprendan de botánica, mientras buscan proteger al personaje de los peligros y lo llevan a un lugar seguro.
Protegiendo a Toby	Este juego tiene como objetivo incentivar en los jugadores la importancia del cuidado y supervisión que debe tenerse con las mascotas para protegerlos de personas malintencionadas.

Ejecución

En la producción del videojuego se usó SCRUM, un método ágil de desarrollo de software que facilita la gestión de un equipo de trabajo para alcanzar la mayor productividad posible. Este marco de trabajo permite la coordinación de los programadores y otorga la flexibilidad de escoger la mejor opción para realizar el trabajo al dividir un proyecto en pequeñas actividades que componen un sprint, lo cual simplifica el seguimiento al progreso de la ejecución del cronograma planteado [11], [19]. Se asignaron los siguientes roles: el equipo desarrollador (Scrum Team), dueño del producto (Product Owner), el líder del equipo desarrollador o mentor (Scrum Master) [20]. El equipo desarrollador del videojuego Proeza fue descrito en el apartado anterior. El propietario del producto en este caso es el grupo de trabajo del proyecto "Serious Game EEG", quien participó de manera activa en el proceso de desarrollo con el fin de facilitar el trabajo de los desarrolladores, estando siempre atentos a resolver las inquietudes que se pudieran presentar en aspectos prioritarios y relevantes para el logro del resultado esperado. El instructor cumplió con el rol de Scrum Master o facilitador y fue quien direccionó al equipo hacia el cumplimiento de las actividades planeadas para garantizar la calidad en el trabajo [11], [21], [22]. En la Fig. 2 se ilustran los roles de la metodología SCRUM.

Evaluación y control

Los temas que incluye el programa de formación se desarrollaron de manera transversal a las actividades clave del trabajo de investigación; esto permitió que los aprendices pudieran aprender al hacer; por su parte, el instructor realizó seguimiento semanal al progreso del trabajo que se les había asignado de acuerdo a su rol. Luego de la revisión y visto bueno del instructor, se procedió a integrar el trabajo realizado por cada aprendiz con los avances grupales.

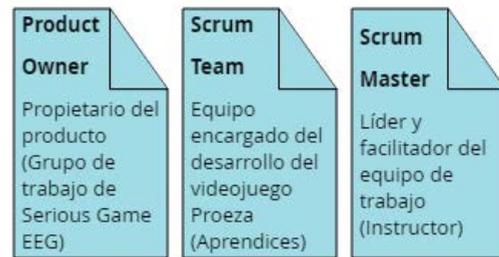


Fig. 2: Roles de la metodología SCRUM. Fuente: Elaboración propia a partir de [19]

Actividades de proyecto

A continuación se presentan las actividades realizadas en el proceso de producción del videojuego Proeza, que se encuentran contempladas en las competencias y resultados de aprendizaje planteados en el programa de formación titulada de la Tecnología en Desarrollo de Videojuegos del SENA [23]:

- Definir el género, la plataforma, la forma de distribución, el público, los personajes, los objetos, los controles, las interfaces, y las escenas (niveles, menús, cinemáticas, etc.), del videojuego según el concepto planteado.
- Determinar los requisitos técnicos de acuerdo con la plataforma.
- Especificar metodologías, métodos y herramientas de implementación.
- Clasificar la información sobre el estado del arte de desarrollo de videojuegos para buscar la metodología más apropiada según los requerimientos del cliente.
- Realizar el cronograma de trabajo para la construcción del videojuego.
- Elaborar el documento de diseño del videojuego.
- Definir las mecánicas del juego.

- Construir el prototipo de los niveles del videojuego con formas simples como cubos, pirámides, cilindros, entre otras.
- Crear los comportamientos de los elementos no controlables por el usuario, como los animales, sus animaciones y sus efectos al contacto con el jugador.
- Realizar las mecánicas, interfaces, controles del videojuego, crear las conexiones entre escenas (niveles, menús, cinemáticas, etc.), para este caso fue utilizado el lenguaje de programación C# (C Sharp).
- Documentar los desarrollos y cambios.
- Participar en la fase de pruebas para detectar errores, verificando la jugabilidad y los problemas de ejecución del videojuego para garantizar que corra fluidamente y sin bloquearse, realizando los ajustes necesarios.
- Optimizar los artes y los audios.
- Adecuar los modelos a los objetos del prototipo.
- Programar los sistemas de partículas de acuerdo con las texturas definidas.
- Programar acciones, blending de animaciones y visualización de cinemática.
- Preparar el videojuego para la distribución final.

3. RESULTADOS

Proeza es un videojuego que permite utilizar señales electroencefalográficas (EEG) como comandos de control en el juego. A continuación, se presenta un flujo de pantallas del juego resultante del trabajo realizado por los aprendices de la Tecnología en Desarrollo de Videojuegos con la orientación de su instructor.



Fig. 3: Menú de registro

Inicialmente, se tiene el menú registro (Fig. 3). Se debe ingresar un nombre y presionar el botón de la flecha para avanzar al menú principal (Fig. 4).



Fig. 4: Menú principal

El menú principal cuenta con los botones scores y galería en la esquina superior derecha; en la esquina inferior derecha se cuenta con el botón para ir al menú selección personajes (Fig. 5). En caso de que no se elija un personaje, el botón de play en el centro, igualmente enviará al menú selección personajes. Una vez se seleccione un personaje, aparecerá un botón en el centro con este dibujo (✓). Al ser accionado, este botón confirmará la selección del personaje y abrirá la ventana del juego (Fig. 6); el personaje elegido inicia estando inconsciente en la playa, pero en unos segundos se levanta y comienza a correr.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3074>



Fig. 5: Menú selección personajes



Fig. 7: Juego Proeza



Fig. 6: Juego Proeza

En la ventana de juego se tiene la distancia recorrida por el jugador y su nombre de usuario en la esquina superior derecha; mientras que en la izquierda está la barra de vida del personaje y un botón provisional para cerrar el juego en la esquina inferior derecha (Fig. 7).

En la Fig. 8 se aprecia cómo el personaje comienza a encontrarse con los primeros obstáculos y a perder salud, hasta que finalmente esta llega a 0, el personaje deja de correr y cae inconsciente nuevamente al piso (Fig. 9).



Fig. 8: Juego Proeza



Fig. 9: Game over

En la Fig. 10 se encuentran las imágenes que se piensan desbloquear posteriormente a medida que el jugador puede llegar cada vez más lejos. Un botón con una X en la esquina superior derecha abre nuevamente el menú principal (Fig. 4). Por el momento solo se tiene

el diseño de esta tabla de score (Fig. 11), aún no muestra realmente el registro de los nombres de jugador ni de las distancias que recorrieron.



Fig. 10: Menú galería

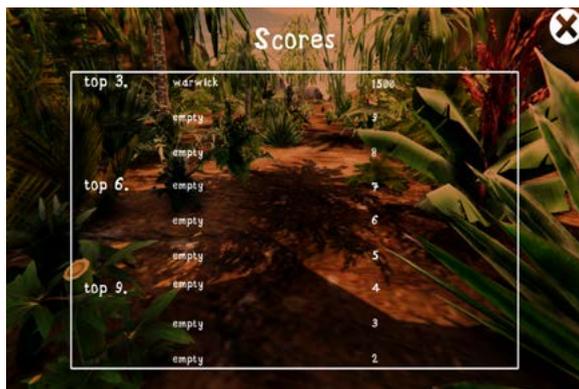


Fig. 11: Tabla de scores

4. CONCLUSIONES

Los proyectos de investigación alineados con la formación facilitan la generación de nuevos conocimientos de manera integral, sin importar el grado académico o rol de los aprendices en la institución; convierten las aulas de clase en espacios creativos, horizontales, de autoaprendizaje y permiten aprovechar el talento y las capacidades humanas de la comunidad SENNOVA (aprendices, instructores e investigadores).

A partir de este caso de estudio, se evidencia que el SENA requiere instructores abiertos a romper esquemas, a reevaluar diferentes procedimientos, organiza-

ción y priorización de cómo se está aprovechando la investigación desde los proyectos pedagógicos para formar capital humano con habilidades y destrezas que incrementen la capacidad de innovación de las empresas colombianas.

Los aprendices desarrolladores del videojuego manifestaron su satisfacción por haber participado en el proyecto “Serious Game EEG”, debido a que les permitió aportar con su creatividad e iniciativa a la elaboración de la propuesta para el videojuego; además, el tema trabajado fue innovador, permitió que ellos hicieran parte del equipo de trabajo del proyecto y laboraran en un ambiente muy similar al de una empresa de desarrollo de este tipo de software, lo que les dio una idea real de los retos a los que se enfrentarán en el mundo laboral.

El producto final fue un videojuego que utiliza las señales EEG como comandos de control, en el que los aprendices con la ayuda de su instructor y al poner en práctica la metodología de formación por proyectos del SENA, tuvieron la oportunidad de trabajar su proceso de enseñanza-aprendizaje de una manera diferente, ya que los integrantes del grupo obtuvieron experiencias en el desarrollo de videojuegos basados en BCI y participaron de esta forma en la ejecución de un proyecto de investigación como complemento a su formación profesional integral.

Como trabajo futuro, se pretende integrar la formación de proyectos con propuestas de investigación relacionadas con otros programas impartidos por el SENA.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), y en particular al Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA) a través del Centro de Servicios y Gestión Empresarial por financiar este trabajo, y a TECNOPARQUE SENA, Nodo Medellín, por el acompañamiento en el desarrollo.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3074>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

REFERENCIAS

- [1] SENA, *Estatuto de la formación profesional integral del SENA*. Bogotá, 1997, pp. 1-44.
- [2] E. Londoño, D. Ruiz Navas, A. P. Mendoza, y V. Barbosa Robles, "Aprendizaje orientado a proyectos en la formación de técnicos y tecnólogos: Desarrollo de un fotocolorímetro digital en la Fundación Tecnológica Antonio De Arévalo, Colombia," *Saber, Ciencia y Libertad*, vol. 11, no. 1, pp. 211–222, 2016. doi: 10.18041/2382-3240/saber.2016v11n1.507
- [3] SENA, *Modelo pedagógico de la formación profesional integral del SENA*. Bogotá, 2012, pp. 1-18.
- [4] SENA, "Acuerdo 0016 de 2012: Por el cual se regula el programa de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación y se subrogan los Acuerdos 007 de 2006 y 004 de 2008," no. 1, pp. 2-11, 2012.
- [5] N. Switch, "State of the Game Industry 2018," 2018.
- [6] S. Göbel, "Serious Games Application Examples," in *Serious Games*, Springer, Ed. 2016, pp. 319–402.
- [7] J. M. Pardo Álvarez, *Gestión por procesos y riesgo operacional*. Madrid, 2017.
- [8] L. Zapata Pérez, "El instructor y la formación por proyectos en el SENA," *Open J. Syst. del SENA*, vol. 5, pp. 60–67, 2017.
- [9] L. R. Marra, K. Stanton-Nichols, Y. Hong, K. Gottschild, I. Pirzadeh, and S. Stamatis, "Design Thinking as a Strategic Planning Tool for Adapted Physical Activity Programs within a University Setting," *Palaestra*, vol. 32, no. 4, pp. 15–22, 2018. Available: <https://js.sagamorepub.com/palaestra/article/view/9523>
- [10] L. Cortés-Selva, and G. Wandosell-Fernández de Bobadilla, "Improving university students" results: A client-based experiment through design thinking and visual storytelling in communication," *Educación XX1*, vol. 21, no. 2, pp. 205–224, 2018. doi: 10.5944/educxx1.19981
- [11] E. S. Hidalgo, "Adapting the scrum framework for agile project management in science: case study of a distributed research initiative," *Heliyon*, vol. 5, no. 3, p. e01447, 2019. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01447
- [12] F. Saenz Blanco, F. Gutiérrez Sierra, and J. C. Ramos Rivera, "Establishment of Agile Teams for Software Development", *Dimensión Empresarial.*, vol. 16, no. 2, pp. 39–54, 2017. doi: 10.15665/rde.v16i2.1042
- [13] D. Pierce, M. Davies, and B. Kryder, "Innovate with design thinking in the sport management capstone course", *Sport Management Education Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 26–34, 2019. doi: 10.1123/smej.2018-0018
- [14] F. Kobuti Ferreira, C. Elaine Oribe, H. Gomes, E. Bueno García, and L. Masako Ferreira, "New mindset in scientific method in the health field: Design Thinking," *Clinics*, vol. 70, no. 12, pp. 770–772, 2015.
- [15] R. A. Ramadan and A. V. Vasilakos, "Brain computer interface: control signals review," *Neurocomputing*, vol. 223, pp. 26–44, 2017.
- [16] N. B. Ahmad, S. A. Rahman Barakji, T. M. Abou Shahada, and Z. Ayman Anabtawi, "How to launch a successful video game: A framework," *Entertainment Computing*, vol. 23, pp. 1–11, 2017. doi: 10.1016/j.entcom.2017.08.001

- [17] N. Acerenza *et al.*, “Una metodología para desarrollo de videojuegos,” in *38° JAIIO–Simposio Argentino de Ingeniería de Software (ASSE 2009)*, 2009, no. Asse, pp. 171–176.
- [18] O. Granados and G. Reyes, “Kanban para el seguimiento de las observaciones rumbo a la re-acreditación del Programa Académico de Informática,” *Tecnol. Educ. Rev. CONAIC*, vol. V, no. 2, pp. 66–73, 2018. Disponible en: https://www.conaic.net/revista/publicaciones/Vol_V_Num2_MayAgo_2018/Articulo8.pdf
- [19] H. Lei, F. Ganjeizadeh, P. K. Jayachandran, and P. Ozcan, “A statistical analysis of the effects of Scrum and Kanban on software development projects,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 43, pp. 59–67, Feb. 2017. doi: 10.1016/j.rcim.2015.12.001
- [20] G. Sobrevilla, J. Hernández, P. Velasco-Elizondo, and S. Soriano, “Aplicando Scrum y Prácticas de Ingeniería de Software para la Mejora Continua del Desarrollo de un Sistema Ciber-Físico,” *Comput. e Informática*, vol. 6, no. 1, pp. 1–15, 2017.
- [21] P. Nidagundi, and L. Novickis, “Introducing Lean Canvas Model Adaptation in the Scrum Software Testing”, *Procedia Computer Science*, vol. 104, pp. 97-103, 2017. doi: 10.1016/j.procs.2017.01.078
- [22] O. Boude Figueredo, E. Sosa, y Andrés, “Juego serio: modelo teórico para su diseño y producción”, En C. Parra (Ed.). *Doctorado en Educación: temas y conceptos*, Chía, Colombia: Universidad de la Sabana, 2016, pp. 197-221.
- [23] Y. Sanabria, “Diseño tg en desarrollo de videojuegos,” SlideShare, 2013. Disponible en: <https://es.slideshare.net/yuyissanabria/diseo-tg-en-desarrollo-de-videojuegos>

Análisis de la variación temporal de las zonas de erosión-sedimentación en perfiles transversales de la playa de Marbella, sector túnel de Crespo, Cartagena

Analysis of the temporal variation of erosion-sedimentation zones along cross profiles of Marbella beach, Crespo tunnel sector, Cartagena

Alexander Muñoz Guzmán*
Cesar Augusto Tovio Gracia**
Lina Marcela Díaz Arellano***
Edenia Del Pilar Simancas Vásquez****

(Recibido el 01-06-2018. Aprobado el 04-03-2019)

Estilo de citación de artículo:

A. Muñoz Guzmán, C. A. Tovio Gracia, L. Díaz Arellano y E. Del Pilar. Simancas Vásquez, "Análisis de la variación temporal de las zonas de erosión-sedimentación en perfiles transversales de la playa de Marbella, sector túnel de Crespo, Cartagena", *Lámpsakos*, (22), pp. 59-67 (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.2824

Resumen

Las playas son ecosistemas dinámicos cuyas características morfológicas e hidrodinámicas varían en tiempo y espacio, además de estar determinadas por factores naturales como el oleaje, las mareas y el viento. Estos factores necesitan ser evaluados para la gestión y recuperación de las playas; por lo cual en esta investigación se evaluó la variación temporal y espacial de las tasas de sedimentación-erosión a partir de la cuantificación de las áreas transversales en perfiles de playa levantados en dos unidades morfológicas de las playas de Marbella ubicadas al norte de Cartagena Indias, con el fin de analizar las características geomorfológicas de la zona litoral costera a través de modelos matemáticos. Se evidencia que las zonas cercanas a las estructuras costeras son las más afectadas por problemas de sedimentación debido a que en estas se acumulan los sedimentos por los efectos climatológicos en la época. Asimismo, se identificaron las zonas de los sectores morfológicos que componen una playa natural a través de los perfiles levantados en la zona de estudio.

Palabras clave: Erosión; Estructuras Costeras; Hidrodinámica; Morfodinámica; Pendiente; Perfil; Playa; Sedimentación; Interpolación.

* Ingeniero Ambiental, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena-Colombia. Contacto: Alexander.rtm@hotmail.com

** Magíster en Física Aplicada, Universidad del Norte, Barranquilla-Colombia. Colombia. Contacto: cesartovio gracia@gmail.com

*** Ingeniera Ambiental, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena-Colombia. Colombia: linadiazarellano@gmail.com

**** Ingeniera Ambiental, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena- Colombia. Contacto: edepilar1006@hotmail.com

Abstract

Beaches are dynamic ecosystems whose morphological and hydrodynamic characteristics vary in time and space, as well as being determined by natural factors such as waves, tides and wind. For the management and recovery of the beaches, these factors need to be evaluated. Therefore, in this research, the temporal and spatial variation of sedimentation-erosion rates was evaluated based on the quantification of the cross-areas in beach profiles built in two morphological units of the beaches of Marbella, located at the north of Cartagena Indias, in order to analyze the geomorphological characteristics of the coastal area, evaluated through mathematical models. This shows that areas that are close to the coastal structures are the most affected by sedimentation problems because sediments accumulate in them due to weather effects. Likewise, the areas of the morphological sectors that make up a natural beach were identified through the profiles created in the study area.

Keywords: Erosion; Coastal structures; Hydrodynamics; Morphodynamics; Slope; Profile; Beach; Sedimentation; Interpolation.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2824>

1. INTRODUCCIÓN

Cartagena de Indias, Distrito Turístico y Cultural está situada en la costa norte del Caribe colombiano, por tanto goza de una ubicación estratégica que permite el desarrollo de actividades comerciales y turísticas en sus ecosistemas de playas, lo que ha generado el desarrollo urbanístico y el aumento poblacional en cercanía a dichos ecosistemas, por consiguiente, se han construido infraestructuras costeras como espolones, rompeolas, muros, entre otras, para proteger las costas y las obras civiles. Estas estructuras de protección afectan directamente la dinámica natural de los ecosistemas [1], de tal forma que altera los procesos de transporte de sedimentos en el litoral que se da naturalmente en estas zonas.

Este trabajo se centra en las playas de Marbella, ubicadas de manera paralela a la avenida Santander, al norte de la ciudad de Cartagena (Fig. 1), las cuales presentan problemáticas ambientales como la variación de la tasa de erosión y sedimentación en el litoral; sin embargo, estos fenómenos están influenciados por procesos naturales como el cambio climático, el oleaje, el viento, la marea, las acciones bióticas y las características geológicas del litoral [2]. En los últimos años, la zona ha tenido variaciones en los procesos de transporte ocasionados por la construcción de obras urbanas y espolones en la franja de playa, [1], [3], [4], el aporte de sedimentos por parte de la bocana y la construcción del túnel de Crespo (Proyecto Anillo Vial de Crespo). Estos impactos que se generan a nivel geomorfológico, derivados de los cambios en las condiciones costeras [2], [5] necesitan ser evaluados para la gestión y recuperación de las playas con el fin de tomar medidas de prevención, protección, restauración o gestión de la zona litoral.

En Colombia han sido pocos los estudios realizados que abarcan los ámbitos hidrodinámicos, sedimentológicos y morfodinámicos aplicados a playas debido a factores antrópicos como construcciones costeras, sin embargo, existen evidencias de estudios realizados desde 1980 con las publicaciones seriadas del CIOH (Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidroló-

gicas) en donde se encontraron las características sedimentológicas que permitieron evidenciar arenas de distintos tipos en sectores diferentes de la franja litoral entre Bocagrande y Manzanillo, así como la formación de una flecha litoral natural en el sector del laguito sometida a condiciones antrópicas producidas por el hombre [6].

Por otra parte, en un estudio realizado por la Universidad de Cartagena, se identificaron las variaciones presentes en las playas de Marbella, en la ciudad de Cartagena, mediante el análisis de los perfiles, donde se observan características de pendientes suaves en las que predominan procesos erosivos en la zona [7]. Por esta razón, el presente trabajo tendrá como objetivo principal analizar las características geomorfológicas de la zona litoral costera en estudio e identificar los puntos críticos de erosión y sedimentación a través de los perfiles de playa.

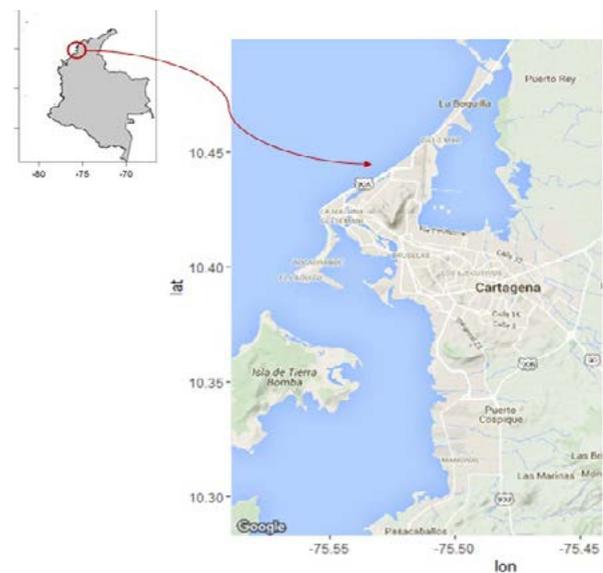


Fig. 1: Área de estudio

En los trabajos [8], [9], [10] se describen elementos que afectan al ecosistema, de tal manera que se puedan analizar preliminarmente los efectos que pueden generar las estructuras costeras, tales como espolones, rompeolas, muros, entre otras, a través de modelos de ajuste matemáticos (Lagrange).

2. METODOLOGÍA

Para analizar las características geomorfológicas de la zona de estudio, se realizó una investigación de tipo mixta, conformada por una fase estadística, en la que se recopiló información referente a los perfiles de playa, para luego analizar las características presentes en los perfiles de la zona.

Fase 1. Recopilación de información

Las variables meteorológicas y el oleaje se obtuvieron del CIOH (Centro de Investigación Oceanográfica e Hidrográficas) y de la estación climatológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM) ubicada en el Aeropuerto Rafael Núñez.

Fase 2. Recopilación de datos en campo

Para la obtención de información pertinente sobre la morfodinámica de las playas, se realizó una medición de perfiles de playa a través de un levantamiento topográfico [11], [12]. En la primera medición se establecieron los puntos fijos de referencia dividiendo la playa en 5 segmentos con 30m de distancia paralelos a la línea de costa; sobre los cuales se midieron los perfiles con ayuda de un teodolito y una mira topográfica, distancia longitudinal cada 1 metro hasta llegar a la zona de rompiente.

Las mediciones se realizaron en el año 2015, en el cual se definieron 3 periodos: a) Época seca (diciembre-marzo), b) Época transición (abril-julio), y c) Época húmeda (agosto-noviembre).

Fase 3. Procesamiento de datos

Ajuste interpolación de Lagrange

Una vez recolectados los datos de los perfiles, se hallaron sus respectivas cotas para el posterior análisis de los datos. A partir de allí se procedió a realizar un ajuste de curvas mediante el polinomio de Lagrange, con el cual se lograron identificar los componentes de los perfiles transversales de playa a través de modelos matemáticos.

$$F_n(x) = \sum_{i=0}^n l_i(x)y_i, \text{ en donde } l_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^n \frac{(x - x_j)}{(x_i - x_j)}$$

Perfil de equilibrio

Se ajustaron los perfiles por medio del modelo de ajuste de Inman [13], [12], [14]. Este ajuste se realizó en el programa Excel usando la función SOLVER.

Ecuación:

$$h - h_0 = A_{Inman} * (x - x_0)^m$$

Dónde:

x = Distancia medida desde el nivel del mar

x_0 = La distancia desde la línea del nivel del mar a la barra

h = Profundidad del fondo con relación al nivel del mar

h_0 = Profundidad de la barra

El modelo de Inman se ajustó utilizando un valor del coeficiente $m=3$ [8].

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2824>

Variación temporal y espacial de las tasas de sedimentación-erosión

Mediante el cálculo de las áreas, se procedió a determinar la variación temporal y espacial de las tasas de sedimentación-erosión que se presentaban en cada perfil [15], [16], [17] para definir los cambios con respecto al tiempo que presentó la geomorfología de la playa.

La información resultante se procesó en una base de datos en el software Microsoft Excel.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Análisis de los principales forzadores

Se determinaron las variables oleaje y viento, debido a que estas variables definen la hidrodinámica de la playa [11], y se obtuvo, como se muestra en la Fig. 2, el flujo del oleaje sobre las playas a nivel estacional; se encontró que la altura máxima fue de 2,36m, correspondiente a la época seca que presentó periodos picos máximos de 11,36 segundos. Así mismo, se identificó que la época húmeda fue la que presentó un menor régimen de flujo con una altura máxima de 1,75m con periodos picos de 9,27 segundos.

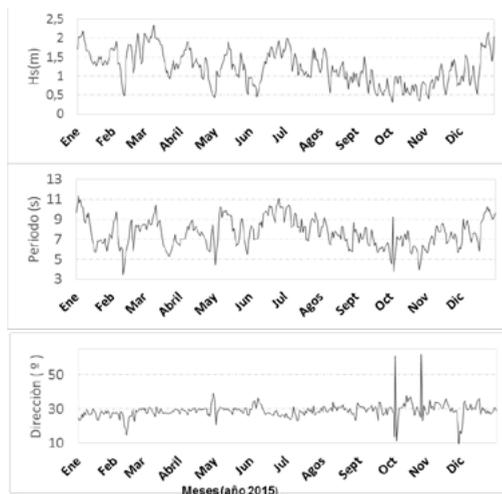


Fig. 2: Oleaje de las playas de Marbella

En cuanto a la variación y dirección del viento de la zona de estudio, se identificó que en la época seca los vientos alisios soplan con mayor intensidad; estos provienen principalmente del N y del NE, asimismo, durante la época de transición, la cual comprende los meses de mayo a julio, se presentaron vientos suaves en dirección al SO, los cuales se incrementan en el mes de julio debido al Veranillo de San Juan; del mismo modo, la época húmeda se caracterizó por presentar un régimen de viento variado [13] (Ver Fig. 3).

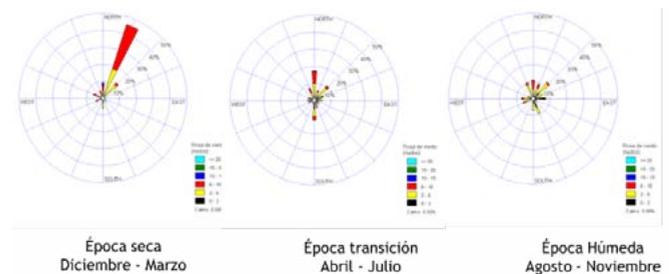


Fig. 3: Variación y dirección del viento

Fuente: CIOH, 2015

Variación temporal y espacial de las tasas de sedimentación-erosión

En la Fig. 4 se observa la tasa de sedimentación y erosión determinadas en las playas de Marbella (Playa 1 y Playa 2) con variación temporal de sedimentos; se determina que en la época seca suceden mayores procesos de sedimentación debido a la influencia de las corrientes determinadas a causa del oleaje definido por los vientos provenientes del norte.

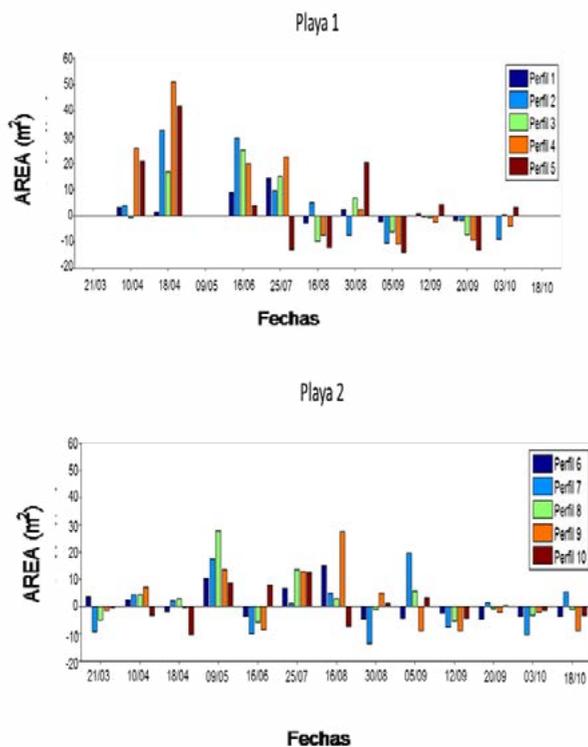


Fig. 4: Tasa de sedimentación y erosión

Esto se puede observar en las gráficas en planta de la zona de estudio Fig. 5, donde se logra evidenciar que en la época seca se originan procesos de sedimentación hacia la línea de costa debido a que los vientos son más fuertes y de mayor persistencia, lo que genera corrientes litorales causantes de la formación de barras arenosas que luego, durante la época húmeda bajo la influencia de vientos débiles y de variante dirección, tienden a procesos de erosión.

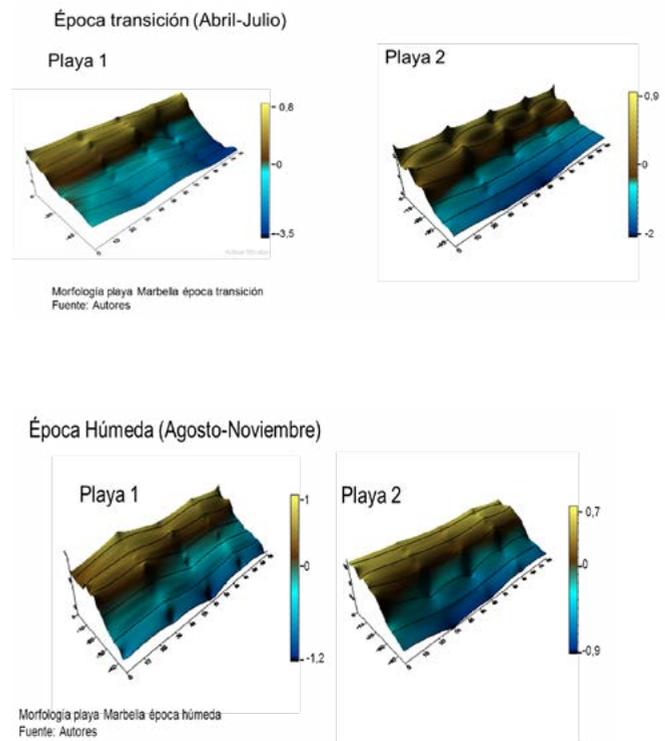
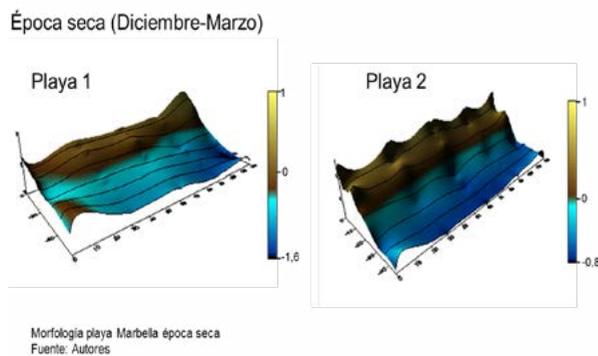


Fig. 5: Gráfica en planta de las playas de Marbella

Funciones de ajuste de los perfiles

Para evaluar la evolución morfológica-estacional de la playa, se caracterizó y clasificó por medio de un ajuste matemático con respecto al comportamiento natural de los perfiles de playa, mediante la interpolación de Lagrange (Fig. 6), en la que se determinaron tramos en los cuales varía el grado debido a que existen distintos puntos de inflexión (para playa 1, grado de 2-3 y para playa 2, de 3-6). Además, se seleccionó este método debido a que se obtuvo una correlación del 95% en relación con los perfiles determinados en campo, como se muestra en la Fig. 7, determinándose las funciones correspondientes por cada playa.

DOI: https://doi.org/10.21501/21454086.2824

PLAYA 1

$$F(x) = \begin{cases} \sum_{i=0}^3 \left[\prod_{j=0, j \neq i}^3 \frac{(x-x_j)}{(x_i-x_j)} \right] f(x_i), & 0 \leq x \leq 7 \\ \sum_{i=0}^2 \left[\prod_{j=0, j \neq i}^2 \frac{(x-x_j)}{(x_i-x_j)} \right] f(x_i), & 8 \leq x \leq 18, 19 \leq x \leq 25, 26 \leq x \leq 33, 34 \leq x \leq 45 \end{cases}$$

PLAYA 2

$$F(x) = \begin{cases} \sum_{i=0}^5 \left[\prod_{j=0, j \neq i}^5 \frac{(x-x_j)}{(x_i-x_j)} \right] f(x_i), & 0 \leq x \leq 18, 19 \leq x \leq 25 \\ \sum_{i=0}^2 \left[\prod_{j=0, j \neq i}^2 \frac{(x-x_j)}{(x_i-x_j)} \right] f(x_i), & 26 \leq x \leq 32 \end{cases}$$

Fig. 6: Método numérico: función de Lagrange

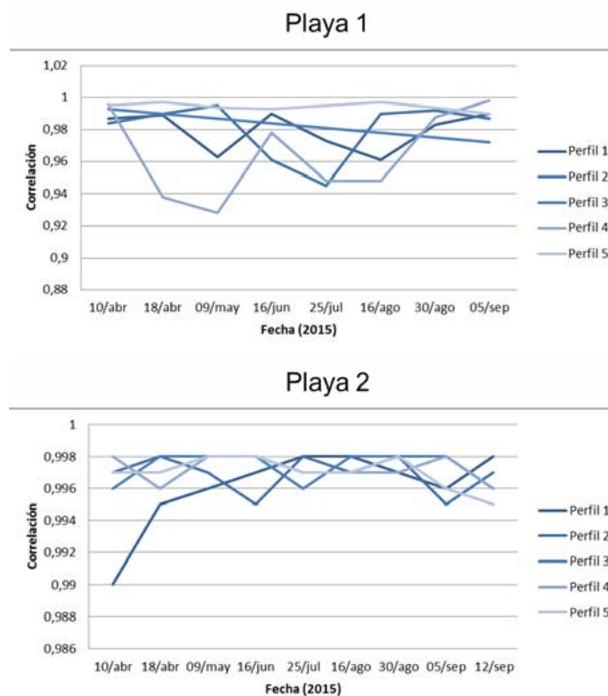


Fig. 7: Correlación de Función de ajuste de Lagrange

Componentes del perfil

A partir de los resultados anteriores, se determinaron, como se observa en la Tabla 1 y la Fig. 8, cada uno de los componentes que conforman a una playa natural a través de un modelo numérico y estadístico.

Tabla 1. Componentes de una playa

Tramo	Playa 1	Grado	Playa 2	Grado	Componentes del perfil
1	(0,8)	2	(0,9)	4	Escape de berma
2	(8,15)	2	(9,19)	3	Borde de la berma
3	(15,26)	3	(19,25)	6	Zona intermareal
4	(26,34)	2	(25,32)	3	Zona interior
5	(34,44)	2	(32,45)	5	

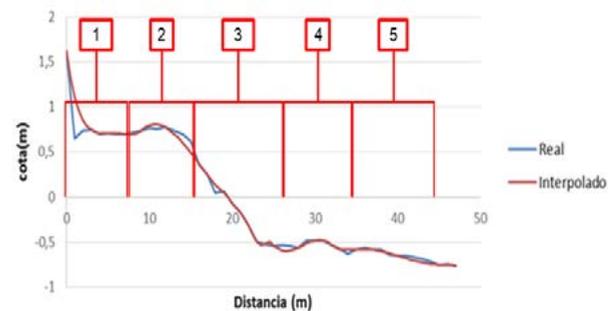


Fig. 8: Componentes de una playa

Perfil de equilibrio

Se ajustaron los perfiles por medio de los modelos de ajuste de Inman, debido a que este permite analizar la morfología del perfil de playa sometido a distintos procesos hidrodinámicos [13], [15] para así comparar y observar las limitaciones metodológicas convencionales. Se determinó, como se observa en la Fig. 9, que este modelo presenta una menor aproximación a los perfiles medidos, pues solo se enfoca en representarlos desde el inicio de la barra arenosa, punto que responde a procesos de disipación de energía, mientras que con el ajuste de interpolación de Lagrange permitió determinar los componentes de una playa natural.

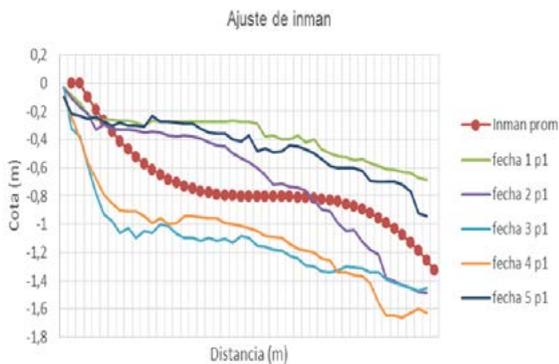


Fig. 9: Ajuste de Perfil de Inman

4. CONCLUSIONES

Mediante la evaluación de los perfiles de playa en la zona de estudio se evidencia que aunque las playas son sistemas dinámicos que varían por la acción de los fenómenos como el viento, oleaje y las corrientes, actualmente existen intervenciones antrópicas que ocasionan en mayor medida los procesos de erosión y sedimentación de la zona. Hecho que se evidencia principalmente en la época húmeda, en la cual, mediante análisis estadísticos realizados, se concluyó que las zonas cercanas a las estructuras costeras son las más afectadas por problemas de sedimentación debido a que es donde más se acumulan los sedimentos por los efectos climatológicos en la época.

A partir de las metodologías implementadas, se logró ajustar una expresión matemática a un proceso natural en un 95% de confiabilidad, y permitió discretizar el perfil e identificar las zonas de los sectores morfológicos de la playa con un criterio cuantitativo, para posteriormente predecir el posible comportamiento en este tipo de ecosistemas.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

REFERENCIAS

- [1]. A. Carranza-Edwards, "Causas y consecuencias de la erosión de playas". Universidad Nacional Autónoma de México. Publica tu Obra UNAM, 2010.
- [2]. J. A. Sánchez-Arcilla, y J. A. Jiménez, "Ingeniería de playas (I): conceptos de morfología costera", *Ingeniería del Agua*, vol. 1, no. 2, pp. 97-114, 1994. doi: 10.4995/ia.1994.2639
- [3]. L. Giraldo, y S. Lonin, "Cálculo del oleaje y transporte de sedimentos en la costa Caribe colombiana", *Boletín Científico CIOH*, no. 18, pp. 39-49, 1998. Recuperado de http://cecoldodigital.dimar.mil.co/164/1/dimarcioh_1997_boletincioh_18_39-49ok.pdf
- [4]. A. A. Molina, J. Pelgrain, J. Suzunaga, y L. Giraldo, "Dinámica marina sector galerazamba- Cartagena" *Boletín Científico CIOH*, no. 17, pp. 73-78.
- [5]. Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. (2000, diciembre). Documento de referencia, Procesos litorales (vol. III) [Online]. Recuperado de http://smc.ihcantabria.es/SMC25/wp-content/uploads/2015/08/Documento-de-referencia_Volumen2.Procesos-litorales.pdf
- [6]. P. Lesueur, y G. Vernet, "Procesos de Erosión en la playa de Manzanillo" *Boletín Científico CIOH*, pp. 55-72, 1981.
- [7]. C. Camargo-Avenidaño, y N. Bonfante-Zarza, "Clasificación geomorfológica y análisis de la variación espacial y temporal de las playas de Cartagena: sector Marbella". Universidad de Cartagena, 2012.
- [8]. A. Sánchez-Arcilla A., y J. A. Jiménez, "Evolución en planta/perfil de una playa. Métodos predictivos", *Ingeniería del Agua*, vol. 2, no. Extraordinario, pp. 119-132, 1995. Recuperado de <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2662/2647>

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2824>

- [9]. J. A. Jiménez, y A. Sánchez-Arcilla, "Simulación de cambios a corto plazo en la línea de costa", *Revista de Obras Públicas*, vol. 139, no. 3315, pp. 41-51, 1992. Recuperado de http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=6086&anio=1992&numero_revista=3315
- [10]. M. J. F. Stive. "Coastal profiles: their physic and their modelling". In Seminar, Laboratori d'Enginyeria Marítima. Universitat Politècnica de Catalunya, 1992.
- [11]. A. Carranza-Edwards, y M. Caso Chávez, "Zonificación del perfil de playa". *Geo-UNAM*, vol. 2, no. 2, pp. 26-32, 1994.
- [12]. R. Medina, C. Vidal, M. González, A. M. Bernabeu. Y J. Galofré, "Modelado de la morfodinámica de las playas por medio de formulaciones de <Equilibrio>". *Física de la Tierra*, vol.13, pp. 95-117, 2001. Recuperado de <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/download/FITE0101110095A/11925>
- [13]. M. Larson, "Equilibrium profile of a beach with varying grain size". *Coastal Sediments*, vol. 91, ASCE, 905-919, 1991).
- [14]. E. Nolasco-Montero, y A. Carranza-Edwards, "Estudio sedimentológico regional de playas de Yucatán y Quintana Roo, México", *Anales del instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, vol. 15, no. 2, pp. 49-65. Recuperado de <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1988-2/articulo305.html>
- [15]. J. O. Martínez, "Geomorfología y amenazas geológicas de la línea de costa del Caribe central colombiano (Sector Cartagena-Bocas de Ceniza)". *Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas*, no. 19, pp. 1-62, 1993.
- [16]. Navarrete-Ramírez, S. M. 2014. "Protocolo Indicador Variación línea de costa: perfiles de playa. Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP)". *Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar*, no. 73, Santa Marta, 2014.
- [17]. M. C. E. Zetina, P. I. Sánchez, R. H. Osorio, T. I. Mariño, Ch. Castillo, y T. J. C. Cauich, "Análisis de modelos de perfil de playa en equilibrio aplicados a una playa de Yucatán, México", *Ingeniería*, vol. 12, no. 3, pp. 15-31, 2008. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/467/46712302.pdf>

Plan estratégico basado en ITIL para mipymes en el departamento de Arauca-Colombia

ITIL-based strategic plan for mipymes in the department of Arauca-Colombia

Carlos Eduardo Puentes Figueroa*
Gina Maestre-Góngora**

(Recibido el 10-03-2019. Aprobado el 14-06-2019)

Estilo de citación de artículo:

C. E. Puentes Figueroa, y G. Maestre-Góngora, "Plan estratégico basado en ITIL para mipymes en el departamento de Arauca-Colombia", *Lámpsakos*, (22), pp. 68-84 (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3280

Resumen

Este artículo tiene como propósito presentar una propuesta metodológica resultante de un proyecto de investigación que permitió la construcción de un plan estratégico de TI orientado a la gestión del servicio al cliente para una mipymes de las telecomunicaciones, fundamentado en las buenas prácticas de ITIL Versión 3 (IT Infrastructure Library o biblioteca de infraestructura de TI). Lo que permite dar solución a problemáticas de las mipymes en las cuales existe una carencia de un plan estratégico que defina sus procesos y actividades relacionadas con el servicio al cliente. La metodología definida dentro del proyecto es una investigación aplicada en la cual se realiza un proceso de indagación y caracterización de la información, de forma que genera el diseño de un plan estratégico y demás acciones orientadas a la mejora de calidad en la prestación de los servicios del área de TI en una mipymes del sector tecnológico en el departamento de Arauca.

Palabras clave: Emprendimiento; ITIL; Gestión del servicio; Gestión de tecnologías; Buenas prácticas; Tecnologías de información; Mipymes; Gobierno de TI; Innovación tecnológica; Servicios de TI.

* Ingeniero en Telecomunicaciones y magíster en Gestión de las Tecnologías de la Información. Profesor de la Universidad Cooperativa de Colombia campus Arauca-Colombia. Contacto: carlos.puentesf@campusucc.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2869-1408>

**Doctora en Ingeniería de Sistemas y Computación. Profesor investigador, Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías. Medellín-Colombia. Contacto: gina.maestre@campusucc.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2880-9245>, Google Scholar <https://scholar.google.com/citations?user=-EFDLGsAAAAJ&hl=es&oi=ao>.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3280>

Abstract

This article aims to present a methodological proposal, the result of a research project, which allowed the construction of a strategic IT plan aimed at customer service management for a telecommunications mipymes. Based on the good practices of ITIL Version 3 (IT Infrastructure Library or IT infrastructure library). It makes possible to solve problems of Msmes in which there is a lack of a strategic plan that defines their processes and activities related to customer service. The methodology defined within the project is an applied research, in which a process of investigation and characterization of the information is carried out, in a way that generates the design of a strategic plan and other actions aimed at improving the quality of service delivery in the IT area in a micro-Smes of the technology sector in the department of Arauca.

Keywords: Entrepreneurship; ITIL; Information technology; Service management; Technology management; Mypimes, IT governance, Technological innovation, IT services.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la calidad es un elemento diferenciador de las mipymes que se encuentran en el sector de las tecnologías de la información (TI), de forma que hace que se perciba la necesidad de mejorar en sus procesos y en las actividades enfocadas al servicio al cliente. De igual manera, la planeación al interior de las mipymes es un componente estratégico que garantiza la continuidad del modelo de negocio. De la misma manera, lo definido en [2] permite establecer la importancia de una correcta gestión del servicio en relación con el creciente avance de las tecnologías y el ambiente competitivo de las empresas.

Por lo anterior, la construcción de un plan estratégico de TI orientado a la gestión del servicio al cliente para una mipymes del sector de las telecomunicaciones hace importante el desarrollo de este proyecto de investigación. Así permite divulgar a través de este artículo información relevante sobre las diversas herramientas y actividades para la caracterización, análisis, diseño e implementación de un plan estratégico, al igual que estrategias orientadas a la gestión eficiente del servicio basado en las buenas prácticas de ITIL® (Information Technology Infrastructure Library), en su versión 3. Por tanto, el concepto de ITIL se define [1] como un método sistemático que garantiza la calidad de los servicios de TI.

Situación problema

Debido a sus condiciones topográficas, en el departamento de Arauca la masificación de los servicios de internet y telecomunicaciones está limitada a pocas mipymes, lo cual genera un gran mercado de clientes interesados en estos servicios. En la actualidad solo existen 5 mipymes en este departamento dedicadas a la prestación de servicios de internet. De forma que esto y la baja calidad en los servicios de soporte han sido una de las causas a mejorar a través de la investigación planteada dentro de este artículo. Por lo tanto, se escoge como caso de estudio una de estas mipymes del sector de las telecomunicaciones.

Esta mipymes cuenta con 5 años en el mercado del suministro del servicio de internet en los cuatro municipios del departamento de Arauca y tiene alrededor de 800 usuarios delimitados entre empresas públicas y privadas, instituciones educativas y hogares.

Un diagnóstico preliminar de la mipymes evidencia la falta de estrategias orientadas a identificar el ciclo de vida del servicio. Entre otras, causas como:

- La utilización de métodos obsoletos orientados a la administración de sus procesos de calidad en el área de la gestión del servicio, generando la demora en la ejecución de los procesos y la afectación en el servicio de los usuarios.
- La poca articulación de las tecnologías de la información con los procesos de gestión del servicio, lo cual genera errores involuntarios al no contar con sistemas de información que permitan realizar un seguimiento a los procesos.
- La carencia en la realización de estudios previos o auditorías internas de mejoramiento enfocados en las estrategias de servicios que ofrece la empresa, de modo que se origina una lentitud en la toma de decisiones que afecta directamente la utilidad de la empresa.

Por lo anterior, el proyecto de investigación mencionado en este artículo está enfocado en el diseño de un plan estratégico orientado a la generación de acciones que mejoren los procesos en gestión de los servicios al interior de la mipymes.

2. METODOLOGÍA

La metodología dentro del proyecto de investigación se plantea desde el ámbito de una investigación aplicada, en la cual se parte del análisis inicial de la gestión del servicio dentro de la mipymes para generar el diseño e implementación del plan estratégico acorde a los aspectos definidos por ITIL en sus buenas prácticas. Igualmente, la referencia [3] plantea la investigación

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3280>

aplicada como un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno. Cada etapa de la investigación precede a la siguiente de forma ordenada y rigurosa.

Lo anterior permite el diseño de los lineamientos orientados a mejorar la calidad en la prestación del servicio del área de TI y su articulación con la generación de un valor agregado para la mipymes. El desarrollo de la metodología se centra en cuatro aspectos fundamentales, el primero de ellos es la caracterización del estado actual de la empresa desde los contextos de la gestión organizacional, el portafolio de servicios, la gestión de la demanda y la gestión financiera. Igualmente se construyen diversos procesos y actividades estratégicas, las cuales son necesarias para la consolidación del plan estratégico definido para la empresa, se construye un plan estratégico orientado a mejorar la gestión del cliente dentro de la mipymes articulando la gestión de las TI y las buenas prácticas de ITIL. En la Fig. 1 se describen los pasos dentro de la metodología desarrollada.

Caracterización y análisis

Estado actual de la gestión estratégica

La fase estratégica dentro de las buenas prácticas de ITIL contempla un análisis de los procesos, métodos y tareas empleadas por la mipymes en la relación con sus clientes. La referencia [4] define el análisis de los aspectos que integran la gestión del servicio, esto se realiza mediante una matriz DOFA (debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas), la caracterización detallada del portafolio del servicio, la gestión de la demanda y la gestión financiera.

Igualmente permite en conjunto identificar de manera eficiente las debilidades, amenazas, oportunidades y fortalezas con las que cuenta cualquier mipymes y su interacción con los clientes, la competencia y los proveedores. La implementación de esta técnica per-

mitió identificar y clasificar según el grado de importancia cada uno de los elementos de la matriz dentro de la mipymes, los cuales se muestran a continuación:

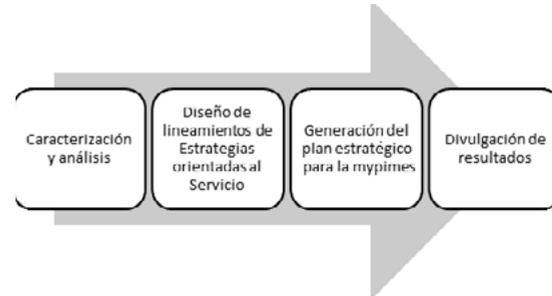


Fig. 1. Metodología desarrollada.

Debilidades

- La experiencia específica en temas de innovación tecnológica en el personal de la mipymes, dado que en la región no existe una gran demanda de profesionales idóneos y con la experiencia requerida para este tipo de mipymes (muy importante).
- La falta de conocimientos en la implementación de procesos (muy Importante).
- La carencia de documentación de los procesos orientados hacia el servicio al cliente (muy importante).
- La carencia de herramientas de gestión y seguimiento de las actividades (muy importante).
- La carencia del seguimiento y medición de los clientes, al igual que su satisfacción (importancia media).

Amenazas

- La entrada de nuevas empresas al mercado que ofrecen los mismos servicios (importancia crucial).
- Altos costos de los servicios o productos necesarios como insumo (muy Importante).

- La competencia por parte de los proveedores, con precios bajos al usuario final (muy importante).

Fortalezas

- La antigüedad en el mercado del ISP en la región (importancia crucial).
- La cobertura en los 5 municipios y en zonas rurales (importancia crucial).
- Infraestructura física propia dentro de todo el departamento (muy importante).
- El personal humano con la iniciativa y compromiso para trabajar (muy importante).
- La voluntad de las directivas para el mejoramiento continuo de los procesos (muy importante).

Oportunidades

- La demanda de mayor conectividad en los usuarios gracias a los servicios en la nube (importancia crucial).
- La posibilidad de articular proyectos públicos–privados de conectividad y servicios de internet dadas las nuevas políticas de ciencia, tecnología e innovación en el departamento de Arauca (importancia media).
- La aparición de Outsourcing en internet que permite mejorar el portafolio de servicios (muy importante).

El análisis de la matriz DOFA permitió entender aspectos organizacionales de la mipymes tales como: las ventajas individuales y grupales que tienen dentro de la mipymes, las opciones de mejora y la identificación clara de las oportunidades del mercado. Lo cual permite entender la dinámica de esta y su articulación con las tecnologías de la información (TI) en beneficio del cliente.

Estado actual de la gestión del portafolio del servicio

La gestión del portafolio del servicio definido [5] por ITIL permite entender los servicios ofrecidos por la mipymes en relación con el proceso de gestión del portafolio del servicio, el cual busca identificar los servicios existentes (portafolio del servicio) y los servicios a implementar (proyecciones de servicios).

El análisis del portafolio del servicio se realiza a través de un proceso de inventario de los servicios, en el cual se identifica la propuesta de valor de los servicios existentes, al igual que los servicios a proyectar. La Tabla 1 evidencia el portafolio de servicio de la mipymes evaluada.

Tabla 1. Portafolio del servicio de la mipymes

Nombre del Servicio	Característica	Dirigido a (Tipo de Cliente)	Clasificación
Servicio de Internet Dedicado	Servicio de internet sin límite de control	Empresas Personas naturales	Servicio Actual
Servicio de internet banda ancha	Servicio de internet masivo, con capacidad variable	Clientes particulares, hogares, mipymes,	Servicio actual
Formulación e implementación de proyectos TIC	Servicios de consultoría a proyectos	Instituciones públicas y privadas, contratación pública	Servicio Actual
Diseño e instalación de redes inalámbricas	Asesoría en el diseño, instalación, y mantenimiento redes de datos	Empresas	Servicio Actual
Redes de cableado estructurado	Diseño e instalación de redes de datos	Empresas	Servicio Proyectado

Valor del portafolio de servicio

La referencia [6] define la gestión del portafolio del servicio como un método dinámico para gobernar las inversiones en gestión de servicio a lo largo de la empresa y gestionarlas para obtener valor. Por lo tanto, es indispensable definir y analizar cada uno de los servicios desde el concepto del valor, destacando la funcionalidad y las garantías de estos. En la Tabla 2, se evidencia la caracterización del valor de un servicio dentro portafolio.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3280>

Tabla 2. Identificación del valor dentro del portafolio del servicio

Nombre del servicio	Funcionalidad	Garantía
Servicio de internet dedicado	Servicio de internet dedicado	Disponibilidad en fallas: 7/24 Capacidad: Según Requerimiento del Cliente Seguridad: Alta
Servicio de Internet Banda Ancha	Servicio banda ancha	Disponibilidad en fallas: 24 horas para responder Capacidad: Según contrato Seguridad: media
Formulación e implementación de proyectos TIC	Proyectos de Infraestructura de TI	Experiencia: Alta Capacidad de Infraestructura Física: Alta Capacidad Económica: Media
Diseño e instalación de redes inalámbricas		

La identificación de estos servicios dentro del portafolio del servicio permite entender las funciones y actividades del área de TI, al igual que su articulación en el cumplimiento de la misión y visión, la cual va dirigida a ser una mipymes líder del sector de las telecomunicaciones para el año 2025. Es importante identificar elementos que complementen el valor de los servicios ofrecidos teniendo en cuenta los procesos (actividades) y los responsables asociados a cada servicio, lo que genera valor a los clientes. En la Tabla 3 se evidencia la caracterización de las funciones y procesos de cada uno de los servicios definidos dentro del portafolio de servicio.

Tabla 3. Caracterización de funciones y procesos de los servicios del portafolio

Nombre del servicio	Responsables	Actividades
Servicio de internet dedicado	Equipo de TI Auxiliares de Soporte	Soporte del Servicio Remoto y en Sitio Instalación y Configuración de Clientes
Servicio de Internet Banda Ancha	Dependencias Administrativas	Seguimiento a Facturación y Cobranza
Formulación e implementación de proyectos TIC	Gerencia Dependencias Administrativas Jefe del área de TI	Identificación de Convocatorias Gestión de la Convocatoria Validación de Requerimiento Montaje de propuesta Seguimiento y Presentación Ejecución Finalización o Liquidación del Proyecto
Diseño e instalación de redes inalámbricas	Gerencia Dependencias Administrativas Jefe del área de TI Auxiliares de Soporte	Levantamiento de Requerimientos Diseño de la red propuesta Presentación y validación Implementación y entrega

El análisis anterior permitió identificar aspectos del portafolio de servicios que no eran conocidos por la mipymes, planteando la importancia de identificar el valor y la capacidad de cada uno de los servicios ofrecidos.

Gestión de la demanda

La referencia [7] establece la gestión de la demanda como el proceso encargado de comprender, anticipar e influir en la necesidad de servicios por parte de los clientes. Además, este proceso trabaja en la gestión de la capacidad, con el fin de asegurar que tenga la suficiente para estos requerimientos.

Una de las formas más eficientes con la cual se puede entender la percepción de los clientes es mediante una encuesta, la cual permite identificar y medir de manera cuantitativa aspectos relacionados con el portafolio del servicio y la gestión de soporte de incidencias o solicitudes. En el marco del proyecto se encuestó una muestra de 202 clientes de un total de 422 con los que cuenta la mipymes y esto permitió entender la percepción de los clientes en relación con el servicio y soporte ofrecidos. Esta encuesta estaba formulada con 10 preguntas cerradas y con una escala de respuesta que va desde muy malo a excelente, las cuales propenden por evaluar el servicio prestado y la calidad del soporte desarrollado al momento de una incidencia o solicitud.

Se resalta de este proceso de encuesta la pregunta ¿cómo calificaría el servicio prestado y el soporte al momento de un daño o solicitud?, la cual estableció que el 42 % de los encuestados se siente conforme con el servicio ofrecido y las actividades asociados al área de TI. De la misma manera, el 38% considera que la prestación del servicio es buena, pero puede mejorar.

El 7% no se encuentra totalmente satisfecho con el servicio contratado y solo un 5% considera que el servicio es muy bueno. En resumen, el desarrollo de la encuesta genera una oportunidad para crear planes de

mejora continua orientados a suplir los requerimientos de los clientes en relación con la percepción garantizando la continuidad del servicio.

Gestión financiera

La gestión financiera es un elemento transversal al portafolio de servicio y a la gestión de la demanda, pues es vital para garantizar la continuidad del servicio y la rentabilidad de una mipymes en relación con los servicios ofrecidos.

Dentro de la caracterización de la gestión financiera se desarrollaron entrevistas semiestructuradas, las cuales evidencian el grado de inversión de la mipymes en temas afines con la gestión de las TI, los planes de mantenimiento y continuidad, al igual en temas de innovación al interior de esta. De modo que se logró evidenciar la poca coherencia en relación con la inversión anual para el área de TI.

En conclusión, no se cuenta con políticas ni estrategias orientadas a una gestión financiera eficiente que garantizará la gestión de los servicios de TI ofrecidos por la misma.

Madurez de los procesos orientados al servicio

Los procesos son un elemento indispensable en la continuidad del negocio porque garantizan la disponibilidad, confiabilidad e integridad de los servicios ofrecidos. De la misma manera, la estandarización juega un papel importante en la calidad de los servicios prestados, dado que define una hoja de ruta en los diversos procedimientos que garantice la continuidad de los servicios.

Una forma de desarrollar un análisis del estado de los procesos y procedimientos del área de TI dentro de una mipymes es mediante el modelo integrado de madurez de competencias, el cual establece una guía que permite medir el grado de madurez de las orga-

nizaciones, con la finalidad de establecer mejoras en los procesos y la habilidad para organizar, desarrollar, adquirir, mantener productos y servicios.

El modelo de madurez planteado en [8] se define como la fusión de modelos de mejora de procesos para la ingeniería, en la cual existe una escala del grado de cumplimiento de los procesos al interior de la mipymes, la Tabla 4, permite la medición de forma cuantitativa en una escala de 0 a 5 de los procesos relacionados con la continuidad del negocio, basados en los elementos definidos por la gestión estratégica de ITIL.

Tabla 4. Esquema de medición de madurez de procesos

Nivel de Madurez	Significado (Metodología CMMI)	Porcentaje de cumplimiento
0	No hay administración de procesos	No se ejecuta
1	Los procesos son informales y desorganizados	Al menos el 20%
2	Los procesos siguen un patrón regular, aunque no están formalizados	Al menos el 40%
3	Los procesos están documentados y comunicados regularmente	Al menos el 60%
4	Los procesos son monitoreados y medidos sistemáticamente	Al menos el 80%
5	Se siguen las mejores prácticas y están automatizadas	Cumple al 100%

El proceso de medición permite identificar, medir y cuantificar el área de TI, la gerencia de la mipymes y todos los actores importantes dentro de la toma de decisiones que afectan los servicios ofrecidos a los clientes.

Se identificaron en cada uno de los elementos de gestión definidos por las buenas prácticas de ITIL (gestión del portafolio del servicio, la gestión financiera y gestión de la demanda) los diversos procesos que intervienen en la gestión del servicio al cliente, a los cuales se les estableció un análisis a través de la medición del nivel de madurez y el porcentaje de cumplimiento. Se evidencian los resultados de la medición de los niveles de madurez y el porcentaje de cumplimiento al interior de la mipymes en la Tabla 5.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3280>

Este proceso de medición permitió identificar el nivel de madurez dentro de la mipymes, el cual se encuentra en un nivel 2 con un porcentaje de cumplimiento de 39%. Lo que evidenció que los procesos al interior de la mipymes se manejan de forma desorganizada a pesar de que existen políticas o lineamientos en relación con los mismos, lo cual genera demoras en la prestación de los servicios. Igualmente, no se evidencia una estandarización de los formatos que faciliten el desarrollo de las actividades relacionadas con el soporte y la continuidad del servicio.

Tabla 5. Resultados de la medición de madurez en la mipymes

Ítem	Tipo de gestión	Procesos evaluados	Nivel de madurez	% de cumplimiento
1	GESTIÓN DEL PORTAFOLIO DEL SERVICIOS		1.8	36%
1.1		El área de TI se encuentra definida	3	60%
1.2		Existe y se ejecuta el plan de contingencia de TI	2	40%
1.3		Existe y se ejecuta el plan de mantenimiento de TI	2	40%
1.4		Funciones de los responsables del área de TI se encuentran divulgadas	2	40%
1.5		Perfiles de los funcionarios se encuentran actualizados	2	40%
1.6		Existe inventario de incidencias de TI	2	40%
1.7		Se definen claramente los procedimientos para la atención de incidencias de TI	2	40%
1.8		El área de TI cuenta con objetivos enmarcados dentro de sus funciones	3	60%
1.9		Existe y se ejecuta un plan de mejoramiento orientado al portafolio de servicio	0	0%
1.10	Existe plan de seguridad de la información para los servicios prestados	0	0%	

Ítem	Tipo de gestión	Procesos evaluados	Nivel de madurez	% de cumplimiento
2	GESTIÓN FINANCIERA		2	40%
2.1		El presupuesto se plantea en relación con las necesidades de mejoras del portafolio de servicio y el ciclo de vida de este	2	40%
2.2		Se realiza un seguimiento en el manejo de costos y riesgos asociados a la gestión de servicios	2	40%

Ítem	Tipo de gestión	Procesos	Nivel de madurez	% de cumplimiento
3	GESTIÓN DE LA DEMANDA		2	40%
3.1		Se definen claramente las necesidades de los clientes	2	40%
3.2		Existen herramientas que permitan la gestión de las incidencias de los clientes	2	40%
3.3		Se definen claramente los SLA con los clientes	3	60%
3.4		Existe un plan de información para los clientes en caso de incidencias masivas o fallos	1	20%
Estado actual de los procesos al interior de la mipymes			1,933	39%

En resumen, la Fig. 2 define en detalle los resultados de la medición de los niveles de madurez en cada uno de los elementos de gestión evaluados y el nivel de madurez ideal que debe alcanzar la mipymes.

Dado lo anterior, se concluye que los procesos en relación con la gestión del portafolio del servicio y el manejo de incidencias son desarrollados de forma manual y no documentados. Igualmente, no se encuentra un detalle completo de los equipos existentes y necesarios para la prestación de los servicios, de tal modo que se genera lentitud en la identificación de falencias o incidencias.



Fig. 2. Niveles de madurez evaluados

En el ámbito de gerencia no se cuenta con un documento que identifique los diversos planes de mejoramiento o de mantenimiento a pesar de que se desarrollan actividades orientadas a estos procesos. En lo concerniente a la gestión financiera, se evidencia la falta de procedimientos claros para la administración del presupuesto, no se soportan los procedimientos o protocolos que definan la articulación de los recursos producto de las ventas dentro de la mipymes.

La gestión de la demanda no da cuenta de un plan de divulgación del portafolio de servicios, sumado a esto, la gran mayoría de los procesos orientados al cliente y sus incidencias se realizan de manera rutinaria y desorganizada. Sin embargo, se evidencia la existencia de SLA (contratos con clientes) que definen claramente los servicios contratados con el cliente.

La identificación de todos los procesos centrados en el manejo del portafolio del servicio, la gestión de la demanda y la gestión financiera permiten instruir a la mipyme en la importancia de las mejoras continuas que debe implementar en su plan estratégico.

Diseño estratégico para la mipymes

Un diseño estratégico permite establecer una guía para la identificación y construcción de elementos que permitan contribuir con el mejoramiento de la gestión de los procesos y procedimientos empleados en la prestación del servicio a los clientes. Por lo anterior, se di-

señan diversas estrategias orientadas al mejoramiento de las incidencias y hallazgos encontrados en el proceso de caracterización.

Diseño de estrategias basadas en ITIL

La comprensión del diseño de un plan estratégico basado en el servicio parte del entendimiento de la fase de diseño definida por ITIL, la cual se define como “el diseño del servicio TI eficaces y eficientes es un proceso que busca el equilibrio de funcionalidad, recursos disponibles (humanos, técnicos y financieros) y tiempo disponible con el fin de satisfacer las necesidades y demandas del negocio” [9].

La fase de diseño plantea cinco aspectos indispensables para analizar al momento de diseñar los lineamientos y estrategias que deben implementarse en una mipymes. Este diseño requiere ser planteado desde un aspecto integral que involucre a todos los empleados y sus dependencias, dado que es importante que todos los miembros de la mipymes estén informados de los componentes subyacentes y de las relaciones existentes en la prestación de servicios de TI.

A continuación, se mencionan los cinco aspectos presentes en un diseño de lineamientos basados en la gestión del servicio definida por ITIL:

- **Portafolio de servicio.** Diseño de estrategias para la gestión y el control de los servicios.
- **Solución de nuevos servicios.** Diseño de las soluciones de servicio teniendo en cuenta los requerimientos funcionales, recursos y capacidades.
- **Arquitectura.** Diseño de herramientas de gestión y control de las herramientas tecnológicas.
- **Procesos.** Definición de procesos y políticas para la prestación del servicio.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3280>

- **Métricas.** Diseño de herramientas de medición y evaluación de los servicios.

Lo anterior permitió la construcción de lineamientos y pautas que permitan definir de manera clara los objetivos de la mipymes clasificándolos en objetivos principales o misionales que se enfocan en el propósito de gestión o de ejecución. La Fig. 3 plantea el esquema de objetivos misionales y gestión de diseño basados en el mejoramiento de la infraestructura o arquitectura que soporta los servicios, el seguimiento a los procesos y los elementos de medición de estos.

Un diseño estratégico debe tener presente cuatro elementos indispensables para garantizar la calidad de los servicios prestados; estos se fundamentan en las buenas prácticas de ITIL. A continuación, se dan a conocer:

- **People (personal).** El personal debe tener las habilidades y competencias para la prestación del servicio.
- **Products (productos).** Los servicios permiten ser gestionados a través de herramientas tecnológicas, al igual que ser medidos y validados.
- **Processes (procesos).** Los procesos de funcionamiento y las actividades tienen que estar estrechamente articuladas.
- **Partners (socios).** Son principalmente proveedores involucrados en la prestación del servicio.

Como se ha mencionado, la mipymes no cuenta con un plan estratégico ni políticas claras orientadas a articular sus procesos y actividades al seguimiento del servicio al cliente; debido a lo anterior, se propende por enunciar las estrategias desarrolladas orientadas al mejoramiento de los procesos.

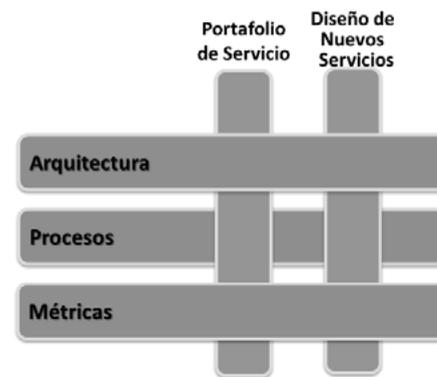


Fig. 3. Objetivos estratégicos y misionales de la mipymes

Estrategias orientadas al personal

El personal es un elemento importante para el desarrollo y continuidad del negocio si se mantiene la coherencia entre los perfiles contratados y el personal existente. Por lo anterior, se establecen estrategias que permitan la cualificación y capacitación de todos los empleados del área técnica, así como la socialización de formatos, procesos y procedimientos definidos para el correcto funcionamiento de los servicios de la mipymes.

De igual forma, es importante definir procesos de selección con perfiles de calidad tanto técnica como de conocimiento, que corresponden a los niveles técnicos y de soporte, al igual que el área de dirección de TI que se adapte a las necesidades de la mipymes.

Estrategias orientadas a los productos

La referencia [6] define el objetivo fundamental de la gestión de niveles de servicio en tratar de acotar con el cliente y un marco de referencia en el que se registren todas las vicisitudes del proyecto, de manera que se pueda llevar a cabo un servicio TI con la mayor calidad posible a un coste aceptable.

Dentro de las estrategias creadas para mejorar la calidad del servicio prestado a los clientes, se encuentra el diseño y documentación de cada uno de los acuerdos de servicio (SLA) o contratos tanto con

clientes, proveedores y dentro de la misma mipymes. La Tabla 6 define los distintos acuerdos de servicios creados para la mipymes.

Tabla 6. Acuerdos de servicio en la mipymes

Clasificación	Usuario	Tipo de contratación
Acuerdo formal con Clientes (SLA)	Clientes	Contratación por acuerdo legal de las partes. Con compromisos de pagos en relación con los costos adquiridos
	Proveedores Servicio (ISP)	de Contrato por valor del servicio contratado con elementos de seguimiento y evaluación. Cláusulas de cumplimiento y gestión del servicio)
Acuerdos con Proveedores (UC)	Proveedores Equipos	de Contrato por valor del servicio contratado con elementos de seguimiento y evaluación
	Otros Proveedores	de Contrato por valor del servicio contratado con elementos de seguimiento y evaluación
Acuerdos internos OLA	Otras dependencias u otros funcionarios	Creación de procesos orientados al seguimiento de las actividades y responsabilidades de cada una de las dependencias que interactúan en la prestación del servicio

Estrategias orientadas a los proveedores

Los proveedores son aliados estratégicos y necesarios para la continuidad del negocio, según [7] se define la alianza estratégica (*partnership*) como una relación entre dos organizaciones, que implica trabajar en estrecha colaboración para alcanzar metas comunes o beneficios mutuos. Por lo anterior, se diseñan estrategias orientadas a la gestión de los proveedores que garanticen la continuidad y disponibilidad de los servicios prestados, entre las estrategias diseñadas se mencionan las siguientes:

- Definir acuerdos orientados a la continuidad del servicio y los formatos para el seguimiento de estos.

- Generar espacios de reconocimientos de nuevos proveedores.
- Evaluar el desempeño de los proveedores existentes.
- Definir estrategias y métricas de medición de los proveedores existentes.
- Definir un personal dentro del área de TI para el monitoreo y el reporte de desempeño de los proveedores.

Una comunicación y gestión de los proveedores genera confiabilidad, eficiencia y eficacia que garantiza el éxito de todos los involucrados. De la misma manera la evaluación constante de los proveedores permite el repensar de los acuerdos iniciales garantizando la mejora continua.

Estrategias orientadas a los procesos

Los servicios prestados son un elemento indispensable en las mipymes, por lo cual garantizar la calidad del servicio y cumplimiento de la demanda del cliente es el mayor logro. Por lo tanto, se plantea en [10] la gestión de los servicios y la demanda centrada en establecer la articulación entre PBA (Patrones de Actividad del Negocio) y los SLP (Paquetes de nivel de Servicio), permitiendo una oferta diferenciadora en el mercado y una articulación con las buenas prácticas de ITIL.

Como se ha mencionado, la mipymes no cuenta con estrategias, procesos y métricas bien definidas, por lo tanto, se diseñan diversas estrategias orientadas a la gestión y atención del cliente. La Tabla 7 define los diversos procesos creados para la mipymes enfocados en una gestión del servicio de calidad.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3280>

Tabla 7. Procesos orientados al servicio

Gestión de soporte	Descripción	Encargado/rol
Atención personalizada y/o presencial	<p>El usuario se acerca a las oficinas de la empresa para establecer la incidencia y/o solicitud.</p> <p>El funcionario recibe la incidencia, diligencia el formato y escala la incidencia al técnico correspondiente para el seguimiento.</p> <p>El técnico valida la información establecida dentro del formato (PQR) identificando los datos del cliente.</p> <p>El mismo se encarga de contactar al cliente y dar respuesta acerca de la posible causa de la falla, generando un tique de visita si es necesario para resolución de la incidencia.</p> <p>La trazabilidad de cada incidencia y/o solicitud es cargada en el registro del cliente.</p> <p>Si la incidencia y/o solicitud requiere de elementos adicionales, se escalan los mismos al área directiva para la definición de los costos</p>	<p>Funcionario de la recepción /recibir las incidencias y/o solicitudes por parte del cliente</p> <p>Técnico de área de soporte/ Realizar el seguimiento de las incidencias y dar solución a estas</p> <p>Ingeniero de soporte / Validar la trazabilidad de la incidencia e informar a las directivas de requerimientos adicionales cuando amerite Gerencia de la Empresa / se encarga de definir el presupuesto de la incidencia de los procesos de cobros adicionales si correspondieran</p>
Atención telefónica de incidencias y/o solicitudes	<p>Se recibe la llamada con la incidencia y/o solicitud, se toman los datos del cliente con la finalidad de establecer el formato de PQR.</p> <p>Se identifica la incidencia mediante preguntas de validación visual por parte del cliente y validación de la plataforma por parte del técnico encargado.</p> <p>Se establece una causa posible de la incidencia y se procede a dar solución remota.</p> <p>Si no es posible la solución remota, se establece en el tique la escalabilidad de la incidencia para el líder del área para su correspondiente gestión.</p> <p>Se establece un tiempo prudente de respuesta de 24 horas para clientes de canales masivos y de 12 horas para clientes corporativos.</p>	<p>Funcionario de la recepción /recibir las incidencias y/o solicitudes por parte del cliente</p> <p>Técnico de área de soporte/ Realizar el seguimiento de las incidencias y dar solución a estas</p> <p>Ingeniero de soporte / Validar la trazabilidad de la incidencia e informar a las directivas de requerimientos adicionales cuando amerite Gerencia de la Empresa / se encarga de definir el presupuesto de la incidencia de los procesos de cobros adicionales si correspondieran</p>

Gestión de soporte	Descripción	Encargado/rol
Atención por correo electrónico	<p>Se validan dentro del correo institucional las posibles incidencias y/o solicitudes de clientes actuales o futuros</p>	<p>Funcionario de la recepción /recibir las incidencias y/o solicitudes por parte del cliente</p> <p>Técnico de área de soporte/ Realizar el seguimiento de las incidencias y dar solución a estas</p>
Otros medios de comunicación (redes sociales, WhatsApp)	<p>Se recibe el mensaje y se responde al cliente en relación con su petición, indicando los canales adecuados para la resolución de la incidencia y/o requerimientos</p>	<p>Funcionario de la recepción /recibir las incidencias y/o solicitudes por parte del cliente para ser tramitadas por la persona o dependencia correspondiente</p>

En resumen, la importancia de un diseño estratégico basado en lineamientos que se articulen con los ejes misionales y transversales de la mipymes garantiza en todos los empleados el conocimiento claro de los objetivos, enfocados en satisfacer y garantizar los servicios del cliente. De la misma forma se recalca la importancia de la gestión en aspectos tan importantes como el personal, los proveedores y los procesos para garantizar una prestación de los servicios con calidad, eficiencia y confiabilidad.

Planeación estratégica basada en ITIL

La planeación estratégica es un elemento indispensable para la articulación de los procesos y los aspectos misionales de una mipymes, pensado para optimizar la mejora continua y generar mayor rentabilidad a través de los diversos servicios ofrecidos.

La referencia [11] define la planeación estratégica como la articulación de las estrategias orientadas al beneficio de la mipymes. Basada en entender y apropiar los procesos y procedimientos orientados a la gestión de los servicios ofrecidos de la misma. En donde se deben conocer aspectos como:

- El estado actual y la gestión de los recursos humanos
- El entendimiento de los productos o servicios que se desean ofrecer

- El mercado y sus diversos segmentos
- Los procesos y la gestión de mejora de estos
- La inversión orientada a la mejora continua
- Las relaciones con los clientes y posibles nuevos compradores

Igualmente existen diversos modelos definidos para la construcción de una planeación estratégica, la Fig. 4 plantea el modelo utilizado para la construcción del plan estratégico, el cual se basó en el conocimiento adquirido en el proceso de caracterización anteriormente expuesto.

El plan estratégico se construyó entendiendo los antecedentes de la mipymes y proyectando a futuro los objetivos del servicio, que deben ser alcanzables y medibles.

Componentes de la planeación estratégica

Los componentes estratégicos permiten a la mipymes establecer los lineamientos y la forma como se desarrollan los procesos al interior de esta; estos elementos son vitales y se articulan desde un ámbito gerencial hasta un nivel operativo. Los componentes para tener en cuenta dentro de una planeación estratégica están conformados por los siguientes aspectos mencionados en [12]:

- La misión y visión de la mipymes
- Los valores corporativos
- Las metas u objetivos de la mipymes
- Las estrategias orientadas a la mipymes
- El plan de acción e implementación

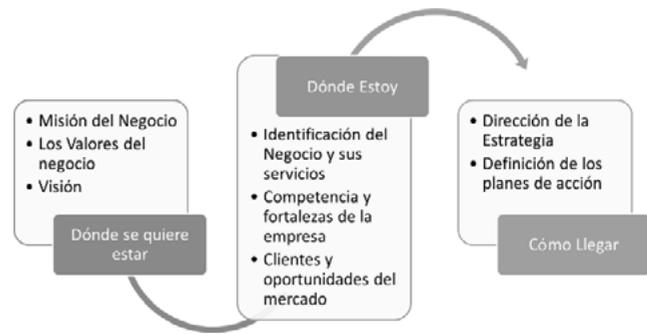


Fig. 4. Esquema para la creación del plan estratégico de la mipymes

Adicionalmente, las estrategias son indispensables para el crecimiento exitoso de la mipymes, en las cuales existe una correcta cohesión de la misión, visión y objetivos estratégicos. En la Tabla 8 se definen algunos componentes diseñados que se han adaptado a la planeación estratégica.

Tabla 8. Componentes estratégicos creados

Componente estratégico	Característica de su formulación	Definición
Misión de la empresa	Se toma como referencia la misión ya definida por la empresa, dado que se articula con lo proyectado para la planeación estratégica, se sintetizan los servicios a ofrecer	Ser una empresa especializada en la prestación de servicios en el campo de las tecnologías de la información y las comunicaciones, desde el servicio de Internet Banda Ancha, Internet dedicado, diseño, instalación y montaje de redes de cableado estructurado e inalámbricas que mejoren la competitividad de nuestro cliente, conforme a sus requerimientos y necesidades
Visión de la empresa	Se parte de la visión establecida para articularla con un componente orientado a la gestión del servicio	Para el año 2025, ser una empresa líder en la región araucana en la prestación de servicios de valor agregado en el sector las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, reconocida por la calidad, oportunidad, confiabilidad, integralidad e innovación de sus productos y servicios
Valores corporativos	Dado que la empresa no cuenta con valores corporativos, se realiza el proceso de construcción de los mismos articulados con las buenas prácticas de ITIL	Eficiencia, eficacia y calidad en la entrega de los servicios prestados. Personal calificado y capacitado para dar soporte en el tiempo oportuno. Gestión de calidad que garantice la continuidad de nuestros servicios Calidad humana y profesional que resalte la importancia de creer en la región Infraestructura tecnológica constantemente actualizada para el correcto funcionamiento de nuestros servicios

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3280>

Componente estratégico	Característica de su formulación	Definición
Metas u objetivos	Articulados con la visión y los objetivos estratégicos se definen los siguientes objetivos:	Mejorar los procesos en relación con el seguimiento y respuesta de las incidencias en la gestión del cliente Estandarizar los procedimientos y la documentación de estos Incentivar la gestión eficiente y medible de cada uno de los procesos orientados a mejorar el servicio al cliente

Cada una de las estrategias definidas dentro de un plan estratégico se construyeron teniendo en cuenta elementos tales como el objetivo al que apunta la estrategia, la prioridad, la descripción y cada una de las actividades o acciones para el cumplimiento de esta con su correspondiente responsable. En la Tabla 9 se evidencia un resumen de las diversas estrategias diseñadas para la mipymes en las cuales se muestra la estrategia, el objetivo al que apunta, las diversas acciones a desarrollar y el responsable de estas.

Tabla 9. Plan estratégico diseñado para la mipymes

Iniciativa estratégica	Objetivo de la estrategia	Acciones por desarrollar	Responsable
Estrategias de apropiación de la gestión del servicio	Conocer y apropiar los procesos en la gestión del servicio orientado a la empresa	Socializar la importancia de la gestión del servicio basado en ITIL	Jefe del área de TI/ Gerente de la empresa
		Identificar los procesos existentes y documentar su funcionalidad	Todos los empleados, jefe del área de TI y gerente
		Conocer y aplicar los diversos procesos definidos para la gestión del servicio	Jefes de dependencia
Estrategias de seguimiento de las actividades de gestión del servicio	Conocer y apropiar los procesos en la gestión del servicio orientado a la empresa	Socializar la importancia de la gestión del servicio basado en ITIL	Jefe del área de TI/ Gerente de la empresa
		Documentar correctamente cada una de las actividades de medición de seguimiento de las incidencias	Empleados

Iniciativa estratégica	Objetivo de la estrategia	Acciones por desarrollar	Responsable
Estrategias que mejore el seguimiento y control de los proveedores	Evaluar el servicio prestado por los diversos proveedores	Establecer un seguimiento oportuno a los contratos con proveedores en relación con el servicio ofrecido	Jefe del área de TI
		Evaluar las necesidades y capacidades de los proveedores en relación con la demanda de los clientes. (Análisis de necesidades antes de la renovación de contratos)	Jefe del área de TI
Estrategias orientadas a la gestión de la demanda	Evaluar la demanda de servicios del cliente y la provisión de la capacidad para cumplir la demanda	Evaluar la disponibilidad de los servicios ofrecidos a los clientes	Gerente
Estrategias a la gestión financiera	Monitorear la gestión financiera de la empresa permitiendo garantizar la provisionalidad de un servicio eficiente y rentable	Gestionar los gastos relacionados con TI vinculados con la prestación del servicio	Gerente
		Evaluar la reducción de costos de TI evitando desmejorar la calidad del servicio	Gerente
Estrategias a la gestión de la disponibilidad	Garantizar la disponibilidad de los servicios ofrecidos	Crear y mantener un plan actualizado de disponibilidad de los servicios de la empresa	Jefe del área de TI
		Evaluar el impacto de los cambios referentes al plan de disponibilidad	Jefe del área de TI
Estrategias orientadas la seguridad de la información	Evaluar gestión de la seguridad de la información	Evaluar la ejecución de políticas de seguridad de la información dentro de la empresa	Jefe del área de TI
		Garantizar que la información esté disponible y accesible	Jefe del área de TI/ Gerente de la empresa

En conclusión, un plan estratégico comprende un compendio de elementos construidos a través de la aplicación de las buenas prácticas de ITIL y el trabajo articulado con todos los actores que interactúan con la prestación del servicio al interior de la mipymes con la finalidad de mejorar los servicios ofrecidos a los clientes.

Ruta de implementación del plan estratégico

La implementación de un plan estratégico es un proceso continuo que permite establecer gradualmente las estrategias definidas. Para el caso de este proyecto de investigación, el proceso de implementación se propone en un periodo inicial de 6 meses en el que serán atendidas por parte de la mipymes todas las recomendaciones ofrecidas dentro del plan entregado. Se recomienda la implementación en relación con los siguientes aspectos:

- **Aplicación inmediata:** son actividades o estrategias de muy alta prioridad, se sugiere desarrollarlas de forma inmediata y aplica para tiempos estimados entre 1 y 3 meses de ejecución. De lo anteriormente mencionado, se establecen once estrategias definidas dentro del plan estratégico, entre ellas:
 - Conocer, evaluar y hacer seguimiento a las incidencias y/o requerimientos de los clientes
 - Apropiar, evaluar y generar mejora continua en los procesos orientados a la calidad del servicio
 - Evaluar, administrar y negociar los servicios ofrecidos por los proveedores
- **Alcance de corto plazo:** son actividades o estrategias de alta prioridad que son necesarias en tiempos de 4 a 12 meses. Dentro del plan estratégico se contemplan:
 - Conocer, evaluar y mejorar el portafolio de servicio
 - Evaluar y gestionar la gestión financiera de la empresa, de manera que se garantice la provisión de un servicio eficiente y rentable
- **Alcance de mediano plazo:** contempla actividades o estrategias de prioridad media que pueden desarrollarse en un periodo de 12 a 24 meses. Dentro del plan se definen 6 estrategias:
 - Evaluar y garantizar la disponibilidad de los servicios ofrecidos

- Evaluar y garantizar la gestión de la seguridad de la información
- **Alcance de largo plazo:** se establecen actividades o estrategias de prioridad baja que pueden tener un desarrollo más largo. Al igual que las actividades de seguimiento, pueden aplicarse a un alcance de largo plazo debido a su naturaleza de acompañamiento continuo, entre estas se encuentran:
 - Mejorar el portafolio de servicio y el servicio de incidencias
 - Mejorar la gestión de inventario a través de la implementación de tecnologías de la información

3. RESULTADOS

Se evidenció que la gestión del servicio y el cumplimiento del plan estratégico dependen en gran medida del compromiso y apropiación de todos los niveles (gerencial, táctico y técnico) dentro de la mipymes. Por lo anteriormente mencionado, se desarrollaron jornadas de capacitación y formación sobre los resultados del proyecto al igual que sobre los lineamientos y estrategias diseñadas para la mipymes. Estas actividades se enfocaron en un grupo de 15 personas distribuidas por 10 trabajadores, incluido el gerente, 2 proveedores y 3 clientes. Se validaron los conocimientos y apropiación de estos, al igual que la percepción de los resultados del proyecto de investigación desarrollados, los cuales concluyeron que la totalidad del personal se comprometió con las diversas actividades del plan estratégico; esto dio cuenta de la importancia del acompañamiento como herramienta de seguimiento y mejora continua de los procesos, lo cual garantiza la calidad y continuidad de los servicios prestados a los clientes y así genera valor en el modelo de negocio.

De esta manera, se entiende que la planeación estratégica es un proceso cíclico que debe ser constantemente evaluado, medido y replanteado, en relación con los procesos cambiantes de la demanda y los demás factores que hacen parte de la gestión del servicio.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3280>

4. CONCLUSIONES

La planeación estratégica de TI es una herramienta esencial que permite el mejoramiento continuo de los procesos y se determina en relación con el análisis detallado de los elementos orientados al servicio dentro de una mipyme, al igual que al conocimiento de sus procesos. Este proyecto de investigación permitió el análisis y diseño de estrategias que contribuirán a mejorar los procesos en gestión del servicio dentro de la mipyme analizada.

Así mismo, la construcción del plan estratégico de TI para la mipyme está basada en un análisis detallado de los procesos y las actividades asociadas a una gestión estratégica articulada con la gestión del portafolio de servicio, gestión de la demanda y la gestión financiera. Este proceso de análisis permite la utilización de diversas herramientas tanto cualitativas como cuantitativas que son necesarias en la caracterización al interior de la mipyme.

Por todo lo expuesto, la planeación estratégica debe ser única para cada mipyme pues se adapta a sus necesidades y al ritmo de innovación. Estos son constituidos a través de un proceso gradual, que parte de la caracterización del estado actual y concluye con el plan estratégico que suple las necesidades en gestión del servicio esta.

En resumen, se puede concluir que este proyecto investigativo cuenta con elementos constructivos y formativos que ofrecen a la mipyme una hoja de ruta con la cual puede mejorar y optimizar sus procesos en relación con la gestión del servicio y la calidad entregada al cliente, asociando de la misma manera el área de TI como elemento transversal a todo proceso de gestión del servicio al cliente.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Cooperativa de Colombia por la financiación del proyecto ID 2210 "Framework de gestión de tecnologías inteligentes para proyectos de investigación: caso estudio en ingeniería UCC".

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

REFERENCIAS

- [1] Y. C. Medina Cárdenas, y D. Rico Bautista, "Modelo de gestión basado en el ciclo de vida del servicio de la Biblioteca de Infraestructura de Tecnologías de Información (ITIL)". *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, no. 27, pp. 3-21, 2009. Disponible en: <http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/viewFile/105/208>.
- [2] J. Van Bon et al. *Estrategia del Servicio basada en ITIL V3*. Van Haren Publishing, 2008.
- [3] R. Hernández, C. Fernández, y P. Baptista, *Metodología de la investigación*, México: MacGraw-Hill, 2006.
- [4] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (s.f.). Herramienta DAFO. [En línea]. Disponible en: <https://dafo.ipyme.org/>.
- [5] Axelos Global Best Practice, *Glosario y Abreviaturas de ITIL*, 2011.
- [6] J. van Bon, A. de Jong, A. Kolthof, M. Pieper, R. Tjassing, A. van der Veen, y T. Verheijen, *Fundamentos de ITIL v3*, Amersfoort (Holanda): Van Haren Publishing, 2010.
- [7] J. van Bon, A. de Jong, A. Kolthof, M. Pieper, R. Tjassing, A. van der Veen y T. Verheijen, *Gestión de Servicios de TI basados en ITIL-Guía de Bolsillo*, Amersfoort (Holanda): Van Haren Publishing, 2010.

- [8] Byte TI. 2008, marzo 06). 2008031401. CMMI vs. ITIL: dos enfoques complementarios. [Online]. Disponible en: <https://www.revistabyte.es/tendencias-byte-ti/2008031401-cmmi-vs-til-dos-enfoques-complementarios/>
- [9] M. E. Arevalo Lizardo. (2017, mayo 04). ITIL Fase II: Diseño del Servicio. [En línea]. Disponible en: <https://arevalomaria.wordpress.com/2017/05/04/til-fase-ii-diseno-del-servicio-primera-parte/>.
- [10] Baud Jean-Luc, *ITIL® V3: Entender el enfoque y adoptar las buenas prácticas*. Barcelona: Ediciones ENI, 2016.
- [11] H. Koontz y H. Wehrich, *Administración Una Perspectiva Global*, México: McGraw Hill Interamericana Editores, 1998.
- [12] H. Mintzberg, y J. B. Quinn, *El proceso estratégico*, México: Prentice Hall Hispanoamérica, 1998.

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

REVIEW PAPERS

Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual

Internet of things applied to agriculture: actual state

Jhonatan Paolo Tovar Soto*
José de los Santos Solórzano Suárez**
Andrés Badillo Rodríguez***
Genner Oswaldo Rodríguez Cainaba****

(Recibido el 06-03-2019. Aprobado el 27-06-2019)

Estilo de citación de artículo:

J. P. Tovar Soto, J. de los S. Solórzano Suárez, A. Badillo Rodríguez, y G. O. Rodríguez Cainaba, "Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual", *Lámpsakos*, (22), pp. 86-105 (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3253

Resumen

Este artículo presenta una revisión actualizada de las diferentes aplicaciones de tecnologías enmarcadas en el internet de las cosas (IoT) en agricultura, mediante la recopilación de diversos documentos en las áreas de interés, y por medio de criterios de selección puntualizados, respondiendo preguntas específicas de investigación. La información recolectada se dividió en dos factores relevantes: en primer lugar, se identificaron las tecnologías de IoT aplicadas en agricultura divididas en capa de percepción y capa de red; por otra parte, se hizo énfasis en la búsqueda de desarrollos aplicados en América Latina, con especial cuidado en Colombia, para establecer la influencia de este tipo de tecnologías en la región. Finalmente, este trabajo pretende dar un panorama para futuras investigaciones, estableciendo los dispositivos y las tecnologías de IoT más recurrentes aplicadas en agricultura.

Palabras clave: Aplicaciones agrícolas; Monitoreo de cultivos; Invernaderos; Herramientas de hardware; Internet de las cosas (IoT); Sistemas de sensores; Redes de sensores; Herramientas de software; TIC; Comunicación inalámbrica.

* MSc en Automatización Industrial, docente Universidad de San Buenaventura y Fundación de Educación Superior San José, Bogotá-Colombia. Contacto: jtovar@usbbog.edu.co

** Ingeniero de Sistemas, docente Fundación de Educación Superior San José, Bogotá-Colombia. Contacto: seintec@usanjose.edu.co

*** MSc en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, docente Universidad de San Buenaventura, Bogotá-Colombia. Contacto: abadillo@usbbog.edu.co

**** Especialista en Seguridad de Redes, docente Fundación de Educación Superior San José, Bogotá-Colombia. Contacto: grodriguez@usanjose.edu.co

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

Abstract

This article presents an updated review of the different applications of technologies framed in the Internet of Things (Iot) in agriculture, by compiling various documents in the areas of interest, and by means of targeted selection criteria, by answering specific research questions. The information collected was divided into two relevant factors: first, the Iot technologies applied in agriculture were identified divided into a layer of perception and a layer of network; on the other hand, emphasis was placed on the search for applied developments in Latin America, with special care in Colombia, to establish the influence of this type of technologies on the region.

Finally, this work aims to give a panorama for future research, establishing the most recurrent Iot devices and technologies applied in agriculture.

Keywords: Agriculture applications; Crop monitoring; Greenhouses; Hardware tools; Internet of Things (IoT); Sensor systems; Sensor networking; Software tools; TIC; Wireless communication.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se evidencia un fuerte crecimiento de la automatización de las labores agrícolas atendiendo a la evolución tecnológica y a la expansión poblacional del planeta. Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura):

La mecanización agrícola puede aumentar la productividad tanto de la tierra como de la mano de obra, incluso en las explotaciones agrícolas en pequeña escala (...) Las tecnologías de la información y la comunicación modernas ofrecen a los agricultores múltiples opciones para comprar insumos, vender productos y mejorar su acceso a la información [1].

Esta modernización del campo, y de las tareas que allí se realizan, ha permitido aseverar que el sector agroindustrial es uno de los candidatos más fuertes para la aplicación de IoT en la próxima década [2]. En esencia, las soluciones IoT se visualizan como el paso a seguir para la modernización debido a la demanda que afronta el campo y el sector agricultor [3]. Según algunos estudios, se espera que la clave para aumentar la producción agrícola sea la aplicación de tecnologías IoT que lograrían incrementar en un 70% la producción global de comida, lo que generaría un impacto positivo para el año 2050, en el que se estima una población de 9.5 billones de personas [4].

Por lo anterior, pensar en el desarrollo de sistemas inteligentes, modernos y con plataformas multimedia para el acceso de diferentes actores del sector agrícola [5], indudablemente lleva a plantearse un diseño que posea atributos tales como modularidad, flexibilidad, integrabilidad, programabilidad, configurabilidad, escalabilidad e interoperabilidad [6].

A partir de lo anterior, se estima que para el año 2020 existirán conectados 50.000 millones de objetos inteligentes [7], los que se intercomunican en redes, mediante el internet de las cosas y a través de los datos en la nube [8]. La implementación de este tipo de interconexiones, basadas en las TIC, permite recolectar, analizar y distribuir información [9], lo que conlleva a obtener información detallada de una situación en particular.

Por otra parte, en América el avance en el uso de los datos masivos en la agricultura ha sido localizado y diferenciado por país. En Estados Unidos, por ejemplo, dicho avance ha sido más rápido, ya que algunas empresas (como Monsanto, DuPont, John Deere y otras), el Gobierno y la academia invierten recursos en el aprovechamiento de los datos que el sector genera y en el desarrollo de herramientas y soluciones para el campo [10].

Respecto a América Latina y el Caribe se tiene una evolución lenta que obedece a la baja implementación tecnológica. Lo anterior se evidencia con las cifras que se tienen desde la década de los 90, en las que se muestra aproximadamente 8.3% de participación en exportaciones agroalimentarias en el mundo, mientras que en el año 2015 esta cifra se elevó tan solo al 13.8% según la FAO [10].

Este incremento se debe al aumento poblacional que tiene el planeta, y obedece en gran medida a la evolución tecnológica de la industria 4.0, o también reconocida como la cuarta revolución industrial. Este nuevo impacto, que se refiere a la migración tecnológica y a las nuevas tendencias, ofrece un conjunto de aplicaciones que integran tecnologías IoT, computación en la nube, sistemas embebidos, sensores inalámbricos, inteligencia artificial y sistemas de monitoreo y predicción [11].

De lo anterior surge un interrogante que obedece a la tendencia mundial de la industria 4.0: ¿Cuáles tecnologías son las más adecuadas y apropiadas para desarrollar proyectos en el sector agrícola? Debido a esto, es importante identificar el estado actual de las aplicaciones agrícolas y sus tecnologías, y establecer cuáles apuntan a los desarrollos y desafíos del nuevo siglo. Para ello, el presente artículo verifica por medio de diferentes bases de datos y motores de búsqueda asociados a publicaciones categorizadas e indizadas, diversos artículos, tesis, revisiones, estados del arte, conferencias, reportes y libros, con el ánimo de presentar al lector una revisión estructurada de las herramientas utilizadas y hacer mención de algunos proyectos de aplicación reciente en el sector agrícola. Por último, se

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

destaca la importancia de la aplicación de nuevos instrumentos, planteando un panorama futuro desde una postura crítica de la adaptación de los nuevos insumos tecnológicos aplicados al sector agricultor.

2. METODOLOGÍA

Como parte del proceso de recolección de información, se estableció que la revisión bibliográfica se hiciera en tres fases: (i) la investigación documental, (ii) la lectura y registro, (iii) producción del texto final [12].

La primera fase correspondió al levantamiento de información en diferentes bases de datos y motores de búsqueda; de manera pertinente se realizó la recopilación adecuada de datos e información [13], asociando documentos, unidades documentales, fuentes documentales y fichas de investigación [13] que permitieron indagar sobre el estado actual de las tecnologías en agricultura, con el fin de realizar la estadística necesaria para el estudio y análisis.

En la segunda fase se identificaron las temáticas y subtemáticas de los documentos elegidos, seguido de una elaboración de tablas y gráficos que permitieron deducir fundamentos de análisis de las tecnologías en agricultura, así como resaltar cuáles son los avances más recientes en el campo de actuación.

En la fase final se realizó la escritura de los diferentes apartados que componen el presente artículo de revisión.

Selección de términos de búsqueda

Para elaborar la búsqueda de la documentación e información, se estableció un número limitado de tesauros en las áreas de interés de la presente investigación, los cuales se distribuyeron en los siguientes temas: agricultura, ingeniería electrónica, internet y automatización de procesos.

Con énfasis en las áreas de interés, se consultaron los siguientes tesauros:

- IEEE.
- UNESCO.
- AGROVOC.

Se identificaron las palabras clave de mayor uso en las temáticas referentes mencionadas, de forma que se relacionó la recurrencia de cada una de ellas en cada tesoro.

En el caso de IEEE se identificaron nueve familias de áreas generales: communications technology, control systems, engineering-general, geoscience and remote sensing, industry applications, instrumentation and measurement, sensors, signal processing y social implications of technology. En cada familia se lograron identificar tres niveles jerárquicos, de los cuales se tomaron como relevantes los dos últimos niveles al ser más específicos. Para el tesoro de la UNESCO y AGROVOC, la división general de palabras clave se hizo mediante un concepto que abarca temáticas divididas en términos específicos como nivel jerárquico superior, y un subnivel de conceptos relacionados como última jerarquía de las palabras. Para el buscador de la UNESCO se seleccionaron los siguientes conceptos: agricultura, ingeniería de la industria y de los transportes, tecnología de la información (programas) y tecnología de la información (equipos). Para el tesoro de AGROVOC se escogieron los siguientes conceptos: tecnología, measure, propiedades, sistemas y actividades económicas.

Una vez se determinaron las áreas principales de búsqueda, se encontraron los términos más repetidos para la sistematización de información desde las bases de datos. Los términos clave en inglés fueron: internet, IP networks, wireless, humidity, temperature, monitoring, application, control, measurement, agricultural. Por su parte, los términos clave en español

fueron: agricultura, agrícola, cultivo, sistema, riego, producción, comunicación, TIC, tecnología, siembra, humedad, temperatura y suelo.

Criterios de selección de documentos en bases de datos

Los términos clave encontrados fueron agrupados mediante un algoritmo de búsqueda basado en la configuración que proporcionan las bases de datos. Las bibliotecas digitales por medio de las cuales se realizó la selección de documentos fueron: IEEE Xplore, Springer Link, Springer Books, ScienceDirect, Sensors y SciELO. Por su parte, el único motor de búsqueda utilizado fue Google Scholar.

En la selección de fuentes de información se tuvieron en cuenta las diferentes combinaciones de palabras en inglés y español, y, respetando la sintaxis de cada idioma, se tradujeron los términos más relevantes de español a inglés y viceversa (si es necesario), lo que permitió abarcar un mayor rango de búsqueda. Se tomó como palabra fundamental *agricultura* debido a que, en la totalidad de los tesauros consultados, fue el término que conllevó a unificar las temáticas de la investigación estudiadas en la revisión de este trabajo.

Con lo anterior, se establecieron las palabras que se escribieron como combinaciones en los repositorios mencionados y que se nombran a continuación: agricultura, temperatura, humedad, cultivo, sistema, internet, monitoreo, aplicación, medición, TIC y suelo.

Por lo anterior, la cadena de algoritmo utilizada se basó en la posible combinación de dos o tres palabras, de acuerdo con cada base de datos o motor de búsqueda, lo que permitió obtener una serie de combinaciones sin importar el orden. Esto causó que, agrupando los términos de inglés o español en conjuntos de tres términos, se obtuvieran 165 combinaciones, y agrupándolos en conjuntos de dos términos, 55 combinaciones. Adicionalmente, se tuvieron en cuenta las posibles combinaciones lógicas (AND, OR), por lo que las bús-

quedas que arrojaron las combinaciones propuestas proporcionaron un total de 265 artículos elegidos bajo los siguientes criterios:

- ¿Responde a publicaciones comprendidas entre el año 2012 y 2018?
- ¿El documento hace parte de una revista, conferencia, publicación y/o libro acorde con las siguientes ramas: ingeniería de sistemas, ingeniería electrónica, ingeniería agrícola, ciencias y computación, agronomía, ingeniería de alimentos, ingeniería de telecomunicaciones, ingeniería de control, ingeniería mecatrónica?

En un segundo momento, la búsqueda documental se hizo de manera restringida, y se apoyó en dos preguntas que proporcionaron criterios de inclusión y rechazo. Las preguntas que se plantearon fueron:

- ¿El documento presenta información relevante sobre tecnologías de aplicación en IoT y/o presenta datos fundamentales sobre aplicación de desarrollos tecnológicos basados en IoT en agricultura?
- ¿El documento presenta el estado del arte, distingue tecnologías IoT, identifica las herramientas de aplicación de nuevas tecnologías y/o evidencia relación con la agricultura y la aplicación de tecnologías novedosas?

De acuerdo con las anteriores preguntas, se seleccionaron 46 documentos una vez realizada la lectura de su título, palabras clave y resumen, lo que permitió inferir la relevancia para el presente estudio [12]. Las Fig. 1, 2 y 3 detallan los resultados de búsqueda, disgregando por criterios selectivos los documentos fundamentales del estado del arte de la investigación, de manera que se encontró la distribución por año de publicación, por área de dominio identificada y por continente de publicación haciendo énfasis en los documentos de la región de América Latina, con especial interés en Colombia.

La división de los documentos mostrada en la Fig. 2. por área de dominio se estableció teniendo en cuenta las siguientes definiciones para cada área de estudio:

- IoT: consiste en la integración de sensores y dispositivos de sistemas de uso cotidiano, donde intervienen diversos objetos, y que se conectan a través de la Internet, ya sea por redes fijas o inalámbricas [14].
- Agricultura de precisión (monitoreo): enmarca todos los desarrollos y soluciones que permiten el mejoramiento de los cultivos, aplicando técnicas para beneficiar su rendimiento, la optimización del uso de recursos, minimización del impacto ambiental, y la toma de decisiones adecuadas a través del uso de TIC, con el motivo de articular procesos agrícolas más eficientes, confiables, modernos y seguros [15].
- Otros (TIC, redes, predicción): Todo sistema que implemente tecnologías de la información y las comunicaciones, adquiera la connotación de un sistema interconectado, y haga uso de herramientas de software y hardware para toma de decisiones.

3. RESULTADOS DE BÚSQUEDA

La segunda fase de la revisión bibliográfica permitió indagar y establecer el estado actual de las tecnologías aplicadas en agricultura, de modo que se hace especial énfasis en la región de América Latina.

La Tabla 1 resume lo que detectó la búsqueda sistemática por dominio de aplicación (ver Fig. 2), se logró establecer una localización de los documentos por subtemática, lo que permitió el análisis para, posteriormente, describir las tecnologías que se utilizan en IoT en la actualidad, y de manera específica en el sector agricultor. Así mismo, se lograron identificar los proyectos aplicados en diferentes zonas del mundo, haciendo énfasis en la región de América Latina con especial cuidado en las aplicaciones de Colombia.

Tabla 1. Referencias de documentos en cada subtemática elegida

Subtemática	Documentos encontrados
Agricultura	[16], [17], [11], [18], [19], [20], [21], [22], [10], [14], [23], [24], [25], [15], [26], [27], [6], [28], [29], [30], [2], [4], [31].
Internet	[11], [32], [19], [33], [20], [34], [7], [35], [36], [14], [23], [9], [25], [37], [27], [5], [28], [38], [3], [39], [40], [30], [2], [41], [4].
Monitoreo	[20], [42], [23], [9], [24], [43], [25], [26], [37], [6], [28], [44], [3], [2], [4].
TIC	[16], [11], [18], [32], [33], [21], [45], [7], [35], [36], [43], [15], [26], [5], [44], [38], [3], [46], [29], [39], [30], [41], [47], [48].
Cultivo	[20], [22], [42], [23], [15].
Sistema	[19], [23], [25], [6], [5], [28], [44], [2].
Aplicación	[33], [5], [8].
Automatización	[22], [26], [30].
Otros	[11], [45], [22], [10], [9], [24], [37], [27], [5], [28], [8], [40], [47].



Fig. 1. Documentos por año de publicación e idioma de publicación

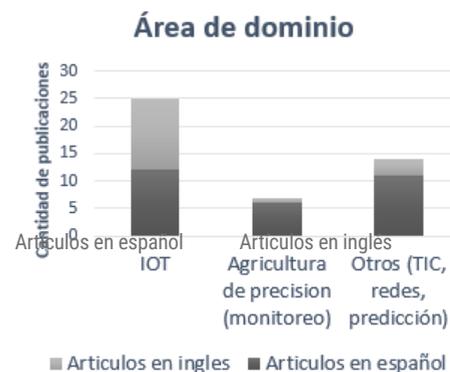


Fig. 2. Documentos por área de dominio e idioma de publicación

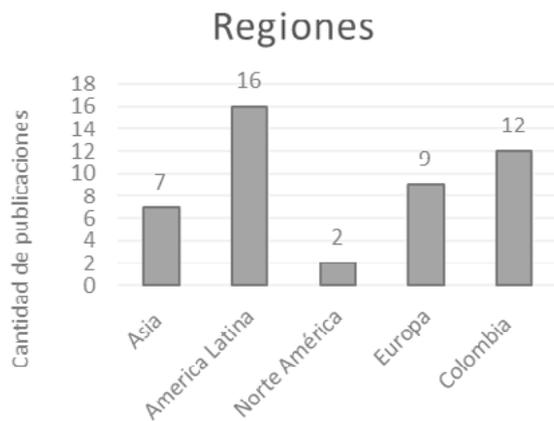


Fig. 3. Documentos por región de publicación

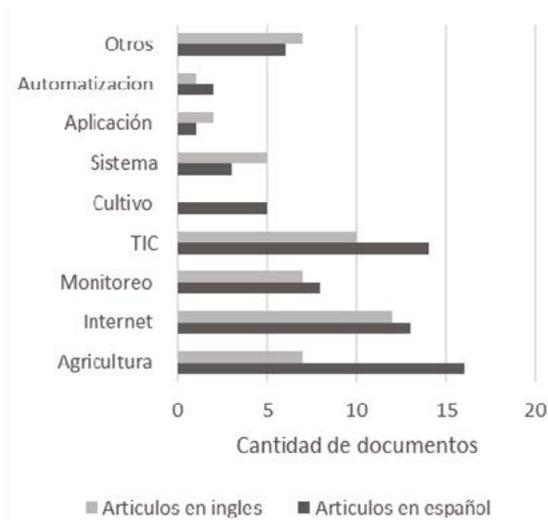


Fig. 4. Documentos por subtemática e idioma de publicación

Además, la Fig. 5 permitió determinar el porcentaje de documentos que se incluyeron en cada subtemática de los 46 que se eligieron en la búsqueda.

Luego de determinar las subtemáticas de las áreas de dominio, se realizó la lectura de los 46 documentos del estado del arte, con el fin de identificar y recopilar la información relevante de acuerdo con las siguientes dos temáticas principales:

- Tecnologías aplicadas a los desarrollos de IoT en términos de hardware y software, distribuidos en 4 divisiones elementales: sensores, redes y protocolos de comunicaciones, sistemas embebidos y programas aplicados.

- Proyectos implementados y propuestos con énfasis en América latina y Colombia.

En los apartados que prosiguen, se puede observar el análisis detallado por temática abordada.

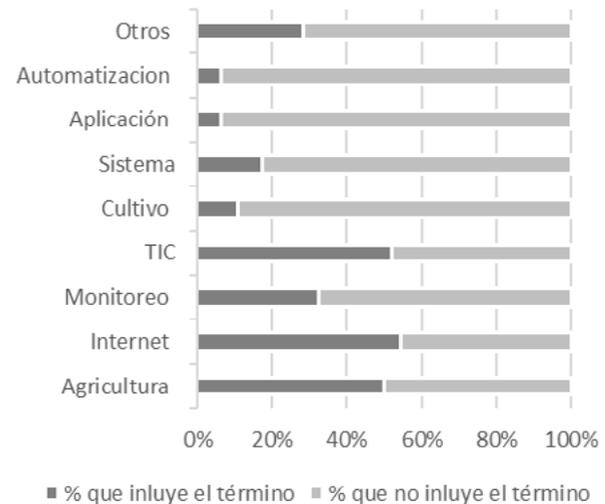


Fig. 5. Porcentaje de documentos que incluyen y no incluyen la subtemática en su contenido

Herramientas de uso actual en IoT aplicado a la agricultura

La implementación y desarrollo de tecnologías IoT en el sector agricultor define de manera frecuente tres capas: capa de percepción (captura), capa de red (transporte) y capa de aplicación (implementación) [4], [14], [27].

La capa de percepción se refiere a los componentes de hardware y software asociados a la tecnología IoT implementada [24], que agrupa elementos tales como sensores, actuadores, transceptores, sistemas embebidos, tecnologías de radiofrecuencia y diferentes elementos de monitoreo [38], [47]. Por su parte, la capa de red integra elementos que permiten la transferencia de información que proviene de determinados componentes de la capa de percepción [5] e incorpora diferentes protocolos de comunicación, que se aplican mediante redes de telecomunicaciones y nodos de sensores [9], [29], [31], [46]. Por último, la capa de aplicación es referida como la im-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

plementación de los desarrollos IoT mediante sistemas expertos o que implican algoritmos inteligentes para la toma de decisiones en los cultivos [4].

A continuación, se presenta la recopilación de información recolectada con los 46 documentos, discriminados según las dos primeras capas definidas previamente.

Capa de percepción

Las herramientas de hardware que se hacen más frecuentes en aplicaciones de tecnologías en agricultura fueron diferenciadas mediante una búsqueda discriminativa de selección sobre los 46 documentos.

En primer lugar, se identificaron términos asociados a dispositivos sensores que se encontraron en la metodología, en los resultados, en la discusión o en el desarrollo temático de cada documento. En consecuencia, se logró establecer la clasificación en dispositivos de uso genérico, por variable de medición física y por tecnología, lo que dio como resultado una agrupación final que se observa en la Fig. 6.

En la Fig. 6 se logró evidenciar que el mayor porcentaje de sensores implementados en tecnologías IoT en agricultura corresponde a dispositivos de medición de temperatura y humedad, que incluyen tanto mediciones de condiciones del ambiente y condiciones propias de la fisiología del suelo (se distingue temperatura ambiente, temperatura del suelo, humedad ambiente, y humedad del suelo) [3], [4], [6], [7], [14], [20], [27], [28], [34].

En un segundo nivel de recurrencia se encuentran los sensores de identificación por radio frecuencia (RFID), luminosidad, nivel de acidez (pH), intensidad de rayos ultravioleta (rayos UV) y presión, que corresponden según la Fig. 6 a los sensores encontrados con un porcentaje entre 7% y 12%. Este segundo grupo, aunque abarcó un conjunto de repetibilidad similar a los dos primeros sensores (temperatura y humedad), iden-

tifica un total de 5 variables de medición, por lo que su uso en aplicaciones agrícolas es en menor porcentaje [3], [5], [7], [14], [20], [23], [27], [28], [34].

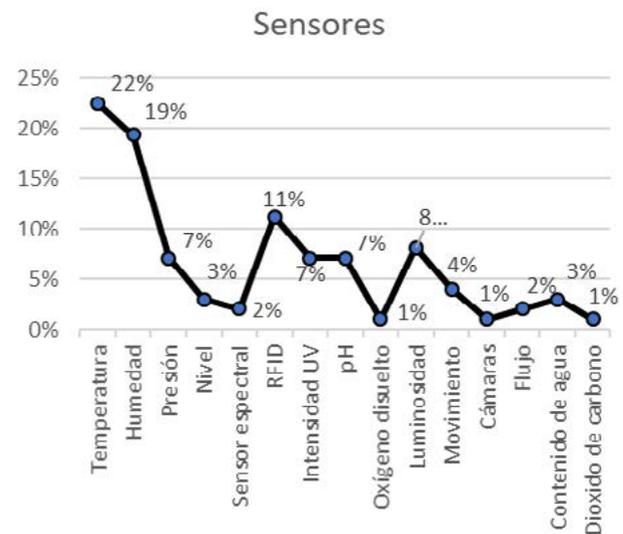


Fig. 6. Porcentaje de inclusión de dispositivos sensores en agricultura

Por último, en un conjunto minoritario de aplicación, se distinguió un grupo de 8 variables físicas o tecnológicas de medición, se encontraron porcentajes de repetición menores al 4%, lo que permitió inducir que estos sensores son utilizados con una frecuencia muy baja, y que no son de gran relevancia en la mayoría de las aplicaciones agrícolas. Este conjunto está comprendido por sensores de nivel, sensores espectrales, sensores de oxígeno disuelto, sensores de movimiento, sensores de flujo, sensores de contenido de agua, sensores de dióxido de carbono y por cámaras [4], [5], [39], [48], [7], [9], [19], [22], [27], [28], [31], [34].

En segundo lugar, se establecieron las tecnologías de sistemas embebidos o tarjetas de desarrollo que son usualmente utilizadas. Al igual que en la búsqueda de dispositivos sensores, se realizó una búsqueda sistemática en los 46 documentos, determinando criterios de inclusión para favorecer la clasificación. En la discusión para la elección de los sistemas embebidos, se respondió a la siguiente pregunta: ¿cuáles tarjetas de desarrollo están implicadas en tareas como servidor central de datos, unidad de procesamiento, tarjeta

de expansión de funciones y como dispositivo de comunicación entre el usuario, el cultivo y las herramientas de monitoreo y control?

Con el anterior interrogante, se procedió a documentar mediante un barrido de información de los documentos de búsqueda, y se encontró con la distribución en porcentaje que se observa en la Fig. 7.

La Fig. 7 proporcionó los índices en porcentaje de uso de diferentes dispositivos como se mencionan a continuación: controlador lógico programable (PLC), Arduino (microcontrolador), Raspberry Pi (sistema embebido con sistema operativo), sensores de nodo (Mote), controlador programable de interrupciones (PIC), NODE (microcontrolador). Los resultados evidenciaron que cerca del 39% de los casos de aplicación de IoT hacen uso de placas de Arduino, dando un claro indicio de la facilidad de implementación de esta plataforma [5], [9], [45], [14], [19], [23], [24], [36], [38], [41], [44].

En consecuencia, en diferentes trabajos se encontró que la implementación de Arduino se debe a la versatilidad que provee la placa para extender sus funciones mediante tarjetas de expansión (shields), que permiten interconectar otras placas, ya sea Arduino u otra tarjeta de desarrollo [19], [24]. La ampliación de las funciones de la placa original expande las posibilidades de comunicación de la capa de red, de modo que abarca un gran abanico de posibles opciones de transferencia de datos desde los sensores [41], [45].

Por debajo de la placa Arduino se encontró la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi, que es utilizada en una proporción alta, pero corresponde a la mitad de los casos de implementación de Arduino (21%). Una de las principales ventajas de este hardware, que incluye un sistema operativo basado en Linux, es que responde a la implementación de servidores web y alojamiento de bases de datos para la generación de gran cantidad de información. Lo anterior, junto con la posible implementación gráfica y la posibilidad de realizar la programación en diferentes lenguajes de alto nivel, posicionan a esta tarjeta como una herramienta útil si se

requieren aplicaciones más complejas con interfaces de usuario más agradables en términos de software [5], [25], [29], [47].

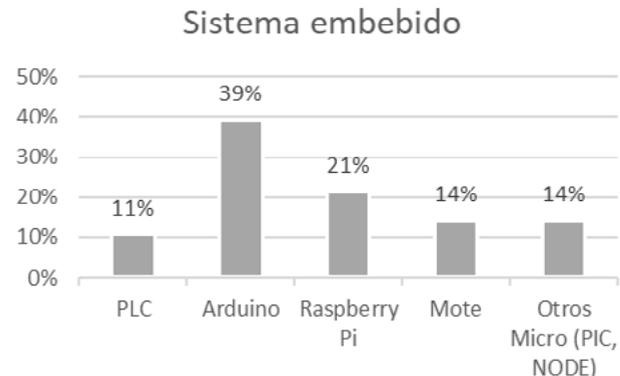


Fig. 7. Sistemas embebidos de mayor uso en aplicaciones agrícolas

Por otra parte, también se determinó un conjunto de otros microcontroladores no menos importantes como los sensores de nodo (Mote), el controlador programable de interrupciones (PIC) y los NODE (microcontroladores). El estudio detalló que son utilizados con más baja frecuencia que Arduino y Raspberry Pi, pero son alternativas de muy bajo costo [3], [27], [41], [44], [46]. Además, poseen fortalezas en términos de implementación debido a su tamaño y portabilidad, así como la integración funcional con otros dispositivos externos.

En último lugar se encuentran los controladores lógicos programables (PLC) con un porcentaje de implementación del 11%. Lo anterior responde a la naturaleza misma del dispositivo, dado que, al ser un dispositivo comercial, los costos asociados crecen y no se vuelve conveniente para aplicaciones en las cuales se puede tener acceso a tecnologías de mejor costo asociado, como Arduino o Raspberry Pi [45].

Finalmente, el análisis de la capa de percepción culminó con la determinación de características enmarcadas en el software implementado en las iniciativas de IoT en agricultura. La clasificación que se estableció obedeció principalmente a las siguientes características [4], [28]:

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

- ¿Cómo se realiza el manejo de información obtenida de los sensores?
- ¿Las iniciativas responden a una programación orientada al servicio, al cliente, o a la plataforma?
- ¿Cuáles son las plataformas de software que más reinciden y tienen mayor impacto en el sector agricultor para predecir decisiones?

Una vez se respondieron las 3 preguntas mencionadas, la investigación documental arrojó un total de 7 divisiones relevantes en la utilización de software o aplicativos para la implementación de proyectos IoT en agricultura: aplicativos web, aplicaciones móviles, servidores web, programas comerciales, sistema operativo Tiny, Python, SIG (sistemas de información geográfica) [6], [7], [34], [37], [43], [45], [48], [9], [11], [15]–[17], [19], [20], [27].

La Fig. 8 muestra la discriminación obtenida en términos de porcentaje de aplicación de cada programa (software) detectado.

Según la Fig. 8 es evidente que la mayoría de aplicaciones agrícolas hacen uso de servidores web como herramienta computacional para el manejo de gran cantidad de información [3], [11], [27], [28], [37], [47]. En un segundo plano se encuentran las demás soluciones por debajo del 15% de repetibilidad. A pesar de que las tendencias sugieren que las aplicaciones móviles van en incremento, en el caso agricultor lo importante no es tener la información en un dispositivo móvil, sino obtener grandes cantidades de datos que puedan visualizarse posteriormente. En consecuencia, se detectó que los servidores web proporcionan esta finalidad [5], [8], [11].

No obstante, es importante aclarar que el estudio arrojó consideraciones pertinentes respecto a los demás programas (software) aplicados. Es el caso en particular del lenguaje de programación Python, el cual proporciona una inmensa cantidad de posibilidades desde el programa (software) para el manejo de mu-

chos sensores, protocolos de comunicación y datos en grandes cantidades. Así mismo, existen en el mercado programas de uso comercial que proveen las funcionalidades de un sistema SIG, con el cual se evidencia que las herramientas en términos de programas (software) tienen un amplio rango de opciones que permiten obtener gran cantidad de mediciones en tiempo real y que logran ser almacenadas en lo que se conoce como la nube [2], [8], [11], [27].

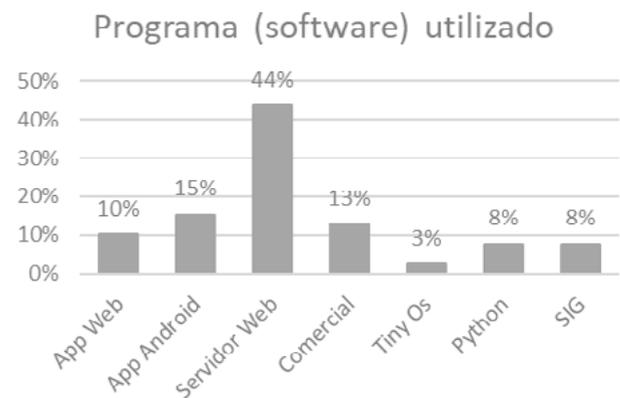


Fig. 8. Software aplicado de mayor uso en aplicaciones agrícolas

Dentro de los programas de uso comercial se encontró que los más utilizados son Matlab y Labview [9], [22], [37], de tal manera que en términos porcentuales corresponde al 13% de utilización, caso similar al de las aplicaciones móviles en la plataforma Android y a las aplicaciones web (diferentes a los llamados servidores web). En ese orden de ideas, el segundo grupo con mayor utilización en la agricultura está enmarcado en los programas de dispositivos móviles y aplicativos alojados en la internet, que suman en conjunto un 25%, y junto con los programas de uso comercial, se incrementa a un 38%, una tasa similar a la aplicación de servidores web, que se encontró en un 44%.

Por otra parte, el porcentaje de recurrencia de uso de los otros tres lenguajes o programas de aplicación (Python, sistema operativo Tiny y SIG) suman en su totalidad un 19% de aplicación, que es un índice muy bajo respecto a los otros dos grupos discriminados.

Capa de red

En esta capa se distinguen las redes de datos que permiten la comunicación mediante la interacción y la convergencia tecnológica, e incluye los diferentes protocolos y medios de red que han ido involucrándose gradualmente en las tecnologías IoT [23], [27], [41]. Estos desarrollos en el campo de las redes permiten diferentes aplicaciones que benefician distintos sectores productivos de una sociedad, entre ellos, la agricultura. Por tanto, son estas tecnologías emergentes las que permiten nuevos avances en el monitoreo de cultivos a través de redes inalámbricas y sensores que recolectan información valiosa para la producción de las mismas [2], [6].

Para determinar los instrumentos y dispositivos que hacen parte de la capa de red, en la búsqueda de los 46 documentos se detectó una división en dos diferentes temas: tecnologías aplicadas y protocolos.

La Fig. 9 ilustra la relación entre las capas de un desarrollo IoT que permitió definir la importancia de los temas a tratar en este apartado, lo cual proporcionó relevancia a los protocolos de comunicación como enlace entre los sensores y la capa de red, y se estableció la necesidad de las tecnologías para la decodificación de información, ya que son las encargadas de llevar los datos a los servidores finales de la capa de percepción.

En la Fig. 10 se pueden detallar las nuevas tecnologías usadas para intercomunicar diferentes dispositivos desplegados con fines particulares. El porcentaje establecido para cada una de las tecnologías corresponde a la documentación revisada, donde se eligieron aquellos que dentro de su contenido tratan sobre las aplicaciones e implementaciones que estas han tenido en agricultura. El 40% corresponde a la tecnología de sistema de posicionamiento global (GPS) [21], [26], [27], [33]. Su utilización permite poder hacer seguimiento a una ubicación del cultivo en tiempo real. En los documentos revisados se encontró que su implementación se hace en la mayoría de los casos por

medio de drones direccionados a través de sistemas georeferenciados para el riego de cultivos o monitoreo de estos.

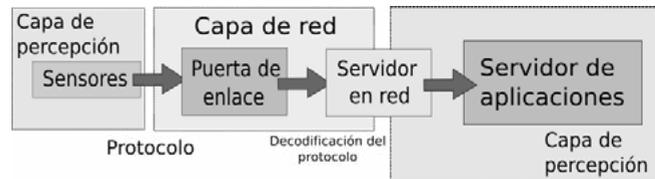


Fig. 9. Esquema de relacionamiento entre capa de percepción y capa de red

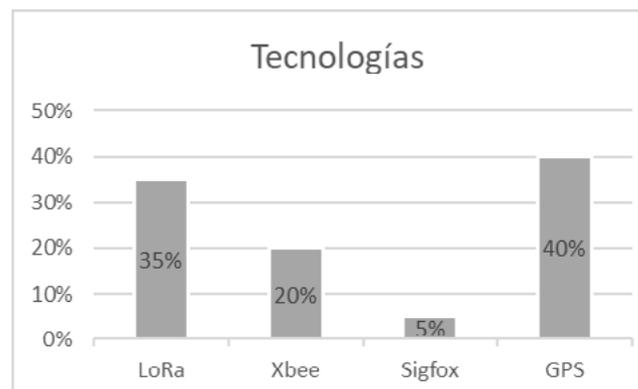


Fig. 10. Tecnología de redes de telecomunicaciones usadas en aplicaciones agrícolas

Por otra parte, la tecnología LoRa es implementada el 35% de veces [20], [44], [47]. Cabe destacar que esta tecnología permite el monitoreo de cultivos agrícolas gracias a sus características que incluyen bajo consumo y largo alcance, lo que posibilita su implementación en diferentes entornos para operar de forma eficiente en ellos.

En el caso de la tecnología Xbee, fue posible establecer que su implementación llegó al 20% [23], [42]. Esta tecnología permite evaluar variables medioambientales que hacen uso de sensores que recopilan información y las transmiten para su debido tratamiento o uso, todo esto bajo la plataforma IoT.

Por último, con un porcentaje del 5%, encontramos Sigfox, una tecnología que permite la interconexión de diferentes dispositivos mediante redes inalámbricas y a su vez, la transmisión de datos en frecuencia

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

de baja potencia, que ha sido implementada según la documentación para el control y monitoreo de riego a cultivos.

Por otro lado, cada una de las tecnologías analizadas en la documentación tiene una forma de operar. La manera correcta de realizar una transferencia de información es a través de protocolos, quienes permiten establecer las comunicaciones entre los dispositivos utilizados en las tecnologías ya mencionadas. En la Fig. 11 se presentan los protocolos utilizados que mencionan los documentos de revisión.

Por una parte, el conjunto de protocolos Zigbee es usado en redes inalámbricas y permite la comunicación entre dispositivos, como sensores, para la transmisión de información. Este protocolo ha sido utilizado para realizar monitoreo en cultivos agrícolas y se ha encontrado que es implementado en un 39% de casos [3], [7], [23], [25], [28], [40], [42], [43], [45], [47].

Por otra parte, WiFi es el protocolo más conocido que permite intercomunicar dispositivos del hogar y ha sido llevado a diferentes implementaciones de IoT, pues fue posible encontrarlo 27% de veces en la información consultada [11], [18], [22], [43]. Entre tanto, el protocolo Bluetooth se detectó en un porcentaje aproximado al 21%. Este protocolo opera mediante un enlace de radiofrecuencia y ha sido utilizado en la agricultura de precisión bajo la plataforma IoT [7], [17], [18], [26].

Asimismo, GSM se encuentra con el 9% de frecuencia. Este es un protocolo de comunicación para telefonía celular, utilizado en el internet de las cosas IoT aplicado en la agricultura de alta precisión [41], [42], [44]. Por último y cercano al 3%, se encontró el protocolo 6LowPAN, que es utilizado para intercomunicar dispositivos dentro de una red inalámbrica bajo un direccionamiento IPV6 y ha sido implementado para el monitoreo de cultivos en invernaderos [15], [17].

Estos protocolos y la tecnología bajo la que operan han permitido un gran avance en lo que respecta al seguimiento e implementación en el sector agrícola, lo que permite obtener información valiosa y pertinente para las oportunas acciones sobre cultivos agrícolas.

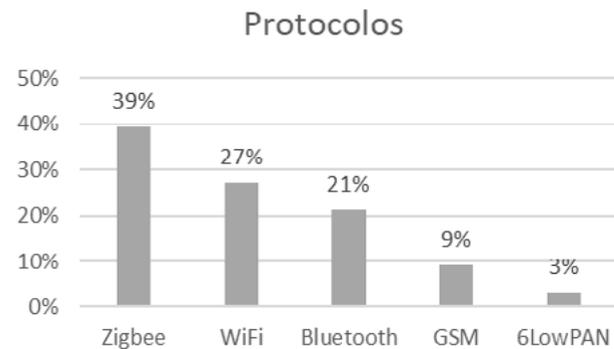


Fig. 11. Protocolos de red con mayor uso en aplicaciones agrícolas

Estado actual de aplicaciones de internet de las cosas IoT en la agricultura

Existen diversos proyectos aplicados en agricultura que están enfocados en las nuevas tendencias de la era digital, y de manera explícita a las tecnologías IoT [4], [14], [38]. Es conveniente entonces asumir una postura crítica para la revisión del estado actual de las diferentes iniciativas que se proponen desde la investigación y desde la industria, y así generar un conocimiento compartido de experiencias para responder a las necesidades del sector agricultor.

Las proyecciones que se establecen en los siguientes años respecto a las tecnologías de la era digital dan cuenta de lo fundamental que es abarcar el estudio de nuevas metodologías de aplicación de estas herramientas [1], [2], [6]. Por tanto, se hace imprescindible afrontar los nuevos desafíos de la agricultura desde el debate justo, con base en las aplicaciones que ya se han realizado. Por lo anterior, en el marco de la presente investigación, el estudio encontró dentro de los 46 documentos de la búsqueda, 9 proyectos realizados en América Latina que permiten dar cuenta del desarrollo y la implementación de ideas novedosas para el sector agricultor.

En las siguientes subsecciones se presenta el estado del arte de aplicaciones actuales en la región que satisfacen necesidades fundamentales, y que responden al tema central de aplicación de las tecnologías IoT.

Caso latinoamericano

Para el análisis de aplicaciones en Latinoamérica, se realizó la clasificación de propuestas de manera diferenciada entre Colombia y los demás países de la región. Por ello, a continuación se presentará el caso latinoamericano, que enmarca los países de este territorio, pero excluye a Colombia.

El primer trabajo que se detectó corresponde a un modelado de una red inalámbrica de sensores y actuadores para aplicaciones de agricultura de precisión [19]. El desarrollo se basó en la utilización de tarjetas de Arduino para el servidor central y los nodos de transferencia de datos. Se hizo uso de una red WSN por su modularidad y versatilidad. La información recopilada se realizó mediante un servicio en la nube y las estadísticas se implementaron mediante el lenguaje del programa R. El módulo seleccionado para la transmisión en red fue el modelo Xbee y el software para visualización se realizó mediante programación orientada a servicios a través de una aplicación web. Entre sus características se destaca que cada nodo puede conectar hasta un número máximo de 24 sensores para recibir información, además de recibir señal de GPS para ubicación específica del terreno. Finalmente, se concluyó que el sistema propuesto facilita la realización estadística y la recopilación de información que proviene del cultivo [19]. Este trabajo se realizó en México y fue financiado por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

El segundo elemento identificado corresponde a un proyecto situado en Panamá titulado "Automatización de bajo costo utilizada en la producción agrícola en invernaderos y huertos caseros" [45]. La plataforma de bajo costo se presentó como un prototipo que se implementó en las instalaciones de la Universidad Tec-

nológica de Panamá. Como característica principal se encontró que hace uso de la plataforma Arduino, que posee conexión en red —de manera local— por medio del protocolo ethernet, el cual utilizó sensores que envían información a un servidor central. Además, se encontró que existía una conexión directa de los actuadores del cultivo al sistema de control, el cual se comunicaba directamente con Arduino. El esquema del modelo de automatización estaba dividido en cuatro módulos, de tal manera que cada uno realizaba funciones específicas. Toda la información recibida se enviaba a una base de datos local y era visualizada mediante un aplicativo web y móvil. Como producto final se obtuvo ABACPA, una plataforma de bajo costo comparada con otras plataformas comerciales [45].

En tercer lugar, desde la Universidad Nacional del Altiplano, en la ciudad de Puno, Perú, se desarrolló un trabajo doctoral titulado "Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de cultivos nativos utilizando internet del todo y redes FOG" [7]. En este trabajo doctoral, el autor presentó el desarrollo de un sistema para monitoreo de variables en cultivos nativos del Perú. Para ello, utilizó la plataforma de desarrollo Electron de la empresa Particle, la cual es un dispositivo electrónico que permite comunicar sensores. La información se recolectó a partir de dicha plataforma y los datos fueron procesados para, posteriormente, enviar los datos obtenidos a la nube. Esto finalmente permitió tener la información en un servidor web para la posterior visualización de los datos en gráficas, cuya observación es posible mediante una aplicación web o una aplicación móvil [7].

Por último, se obtuvo un trabajo sobre una metodología para el almacenamiento y visualización de datos masivos en invernadero basado en Iota [36]. Se propuso una arquitectura compuesta por tres partes fundamentales: la captura, el almacenamiento y la visualización. Dentro de la captura se encontró toda la fundamentación de hardware, que incluye las tarjetas de desarrollo y los sensores. En el almacenamiento es donde se acumula la información en servidores o bases de datos. Por último, la parte de visualización es referida a la sección donde se obtienen de manera

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

gráfica los resultados luego de la respectiva captura de datos. El trabajo concluyó con pruebas durante tres días, en los cuales se lograron obtener mediciones de temperatura, humedad del ambiente y humedad del suelo, visualizados en un dashboard de un aplicativo web [36].

Caso colombiano

En el sector colombiano se encontraron 5 casos particulares de aplicaciones de IoT desarrolladas en diferentes esquemas de agricultura, de forma que se destaca la implementación de diseños basados en IoT, sin desconocer que la agricultura de precisión también hace parte activa de los desarrollos.

En el departamento del Magdalena, un grupo de estudiantes de la Universidad Cooperativa de Colombia han desarrollado un análisis de aplicabilidad de IoT para el control remoto de un sistema de riego [48]. El esquema propuesto determinó la viabilidad de la arquitectura de 3 capas, se enfatiza en el uso de PLC, router para transmisión en red, sensores de suelo y aplicación móvil en Android. Finalmente, el estudio condujo a concluir que el desarrollo es imprescindible para la región, pero no se realizó implementación física del proyecto [48].

Por otra parte, en la Universidad de Córdoba se desarrolló un sistema IoT para el monitoreo de cultivos protegidos, más conocidos como invernaderos. El estudio condujo a la detección de una metodología para realizar una arquitectura capaz de obtener parámetros de desarrollo y crecimiento del cultivo [20]. El monitoreo, consecuentemente, permite transferir los datos obtenidos de dispositivos sensores por medio de un servidor web y visualizarlos finalmente por medio de un aplicativo web. Los resultados son mostrados mediante gráficas y generan alertas en tiempo real para detectar fallas en el cultivo. El desarrollo únicamente determinó la implementación de la capa de procesamiento de información, pero dejó abierta la posibilidad de conexión de actuadores para su empalme con el sistema de control [20].

Otra aplicación hallada fue una arquitectura propuesta para agricultura de precisión, que incluye tecnologías IoT. Este estudio estableció que la propuesta debe ser entendida desde 3 vistas: vista de negocio, vista funcional y vista de implementación [14]. La vista de negocio explica las capas de la tecnología IoT, distinguiéndose así la capa de captura, la capa de almacenamiento, la capa de procesamiento y la capa de consulta. La vista funcional organiza las capas de manera que se puedan interconectar. Finalmente, la vista de implementación menciona los dispositivos hardware y software utilizados [14]. Esta arquitectura fundamentó su implementación en tecnologías de uso libre, con lo cual se estableció el empleo de la tarjeta Arduino, el servidor web con un api de desarrollo llamada Spark, la cual hace uso de minería de datos y big data. La consulta de datos se hace a través de una aplicación web donde se visualizan gráficas de las variables monitoreadas. El resultado final solo mostró la funcionalidad de la estructura de procesamiento de la información, verificando la transferencia de datos en los servidores. Así mismo, detalló la validez de la arquitectura propuesta para el envío de información, sin embargo, no señaló la implementación física de la arquitectura propuesta [14].

Otro ejemplo de desarrollo se detectó en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. El trabajo realizado mostró un prototipo de monitoreo de cultivos agrícolas mediante el uso de una red LoRa [23]. Allí se estableció que es posible la implementación de nodos sensores para transmitir datos en radios superiores a 8Km de distancia. Tal afirmación surge del estudio previo de la tecnología LoRa, que identificó su aplicabilidad en tareas en zonas rurales, donde es muy probable no tener acceso a redes de gran alcance para transferir datos [23]. Dada la posibilidad de uso en grandes extensiones y la visible problemática de conexión en red en el campo, el prototipo fue diseñado para adquirir datos de sensores y enviarlos a un servidor central mediante la comunicación en nodos de transmisión de datos. Finalmente, la información fue obtenida en una aplicación web, la cual se muestra mediante algunas gráficas. La implementación utilizó tarjeta Arduino, módulo LoRa, conexión de diferentes sensores y la ali-

mentación de energía se hizo mediante el uso de baterías recargables. Los nodos de transmisión de datos se probaron en la ciudad de Bogotá, Cundinamarca y el prototipo completo en Sibaté, Cundinamarca [23].

Para terminar, el último proyecto detectado en la búsqueda correspondió a un sistema de riego basado en IoT. Este desarrollo fue realizado en el departamento del Huila y propuesto por miembros de la Universidad Sur Colombiana [24]. La arquitectura propuesta consiste en la implementación de tarjeta Arduino, nodos sensores con tarjetas Xbee y sensores para la toma de datos. El sistema utilizó un panel para ser autónomo y una batería que se recarga según sus necesidades. Para obtener la información centralizada, se hizo uso de Raspberry Pi como servidor central de datos. La información finalmente es enviada a un servidor web y se muestra en aplicativo web y móvil [24].

TRABAJOS FUTUROS

El presente artículo permitió establecer el estado actual de las aplicaciones agrícolas que hacen uso de las tecnologías IoT, e identificar los criterios elementales que estas dan para determinar la viabilidad de la implementación de los nuevos desarrollos en el sector rural enfocados en las tecnologías emergentes de la era digital. En consecuencia, se pudo encontrar que las tecnologías de IoT adaptadas al contexto agrícola son base esencial para transformar el trabajo del agricultor y permiten generar un impacto positivo y un cambio social, cultural y económico que, en conjunto, son la base del progreso de una sociedad.

Por tanto, se espera que este trabajo y trabajos similares sean sustento para que investigaciones futuras continúen con la labor de descubrir y establecer cuáles tecnologías son las más adecuadas para su implementación en el sector agropecuario. Lo anterior con el fin de propiciar una migración tecnológica enmarcada en la cuarta revolución industrial que responda a las necesidades reales de los agricultores.

4. CONCLUSIONES

El internet de las cosas se ha posicionado en las últimas dos décadas como una salida factible a diferentes necesidades del sector agrícola, producto de la constante evolución industrial. En el marco de la industria 4.0, es menester encontrar la convergencia entre nuevas tecnologías y su aplicación en el campo.

Por ello, la implementación de nuevas tecnologías en el sector agrícola debe obedecer al cambio cultural de la población rural, entendiendo que, en la actualidad, la población joven está migrando a la ciudad y el campo está envejeciendo. Por tanto, la transformación digital del campo es un insumo adecuado para minimizar el éxodo de personas jóvenes y fundamenta así un cambio de paradigma para que el trabajo del campo sea más atractivo para las nuevas generaciones, lo cual impacta no solo la producción del campo, sino a la población que por distintos motivos ya no se encuentra en el sector rural.

En cuanto al presente documento, se descubre que la aplicación en el sector agricultor es conveniente en términos de facilitar aquellas tareas que pueden ser muy dispendiosas, y que, de manera artesanal o manual, pueden tornarse dificultosas. Debido a lo anterior, es clave analizar cuáles tecnologías de internet de las cosas IoT son más adecuadas para la transformación del campo, sin temor a intervenir de forma negativa.

Gracias a la búsqueda realizada en el documento, se pudo evidenciar que la aplicación de tecnologías IoT se define claramente con una arquitectura basada en 3 capas: capa de percepción (captura), capa de red (transporte) y capa de aplicación (implementación). Cada una cumple un papel importante en la implementación real de los desarrollos IoT de manera diferenciada y no pueden obviarse en la implementación de un prototipo real de esta tecnología.

Se encontró que la gran mayoría de proyectos en agricultura hacen uso de sistemas embebidos de bajo costo y de fácil acceso y programación, como lo son Arduino y Raspberry Pi. Estos elementos son utilizados

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

para la captura de datos y se implementan de manera usual con sensores que, de igual forma, son de fácil manejo e implementación. Se logró identificar que la capa de percepción en muchas aplicaciones monitorea variables de fácil captura, como lo son la temperatura y la humedad. Estas variables físicas permiten obtener información relevante para el análisis de los suelos agrícolas y son monitoreadas en tiempo real en la mayoría de los casos.

En el caso de la capa de red, es evidente que las tecnologías que suelen implementarse para los proyectos de IoT en el campo son la geolocalización GPS y los módulos de tecnología LoRa. El primero por la importancia que suministra en los proyectos de análisis de suelos y producción, dado que la ubicación específica de patrones permite obtener mapeos de rendimiento e incluso predecir comportamientos de los suelos agrícolas para mejorar la producción. En el caso de los módulos LoRa, su fácil implementación y su costo asociado los han catalogado como una de las tecnologías de transmisión de datos que se puede utilizar en regiones donde se tienen radios de largo alcance y donde no se tiene acceso a una red de datos como WiFi o ethernet. Así mismo, el protocolo de red de mayor uso es Zigbee, y el que con mayor recurrencia es utilizado en la implementación de proyectos de IoT en el sector rural.

Por otra parte, es preciso establecer si los dispositivos de aplicación de las diferentes tecnologías de instrumentación, medición y de transmisión de información responden a las obligaciones que surgen en el campo, de tal forma que cuando sea necesario aplicar una tecnología IoT, no se deba recurrir a instrumentos de difícil acceso, de mayor costo asociado o que requieran de otros dispositivos para lograr su funcionamiento en conjunto. Por este motivo, es indispensable definir el nivel de robustez de los dispositivos en términos físicos, de tal manera que respondan adecuadamente a los cambios ambientales propios del sector rural. Además, la elección de herramientas de uso libre como alternativa para la implementación de nuevos modelos tecnológicos en el campo es una de las mejores posibilidades que han surgido en torno a la aplicación del internet de las cosas IoT.

Por tanto, la aplicación de este tipo de tarjetas, sensores, protocolos y dispositivos son insumo fundamental para que la investigación en agricultura, que incluye monitoreo de variables, control de sistemas de riego, automatización de procesos de cultivo, mapeo de datos de cosechas, ubicaciones en sitio específico y gestión en general de la agricultura, sea un modelo creciente, un ejemplo de desarrollo y progreso y, sobre todo, un avance en la apropiación del conocimiento en doble vía, tanto por parte de la población rural, como por la comunidad académica.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

REFERENCIAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), "El estado mundial de la agricultura y la alimentación". 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i7658s.pdf>
- [2] J. M. Talavera et al., "Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 142, pp. 283-297, 2017. doi: 10.1016/j.compag.2017.09.015
- [3] A. Medela, B. Cendón, L. González, R. Crespo, and I. Nevaes, "IoT multiplatform networking to monitor and control wineries and vineyards", in *Future Network & Mobile Summit*, Lisboa, 2013, pp. 1-10.
- [4] F. Bing, "The research of IOT of agriculture based on three layers architecture", in *Proceedings of 2016 2nd International Conference on Cloud Computing and Internet of Things*, CCIOT 2016, 2017.

- [5] C. Cambra, S. Sendra, J. Lloret, and L. Garcia, "An IoT service-oriented system for agriculture monitoring", in *IEEE International Conference on Communications*, 2017. doi: 10.1109/ICC.2017.7996640
- [6] A. Suprem, N. Mahalik, and K. Kim, "A review on application of technology systems, standards and interfaces for agriculture and food sector", *Computer Standards and Interfaces*. 2013, pp. 255-364. doi: 10.1016/j.csi.2012.09.002
- [7] G. Palacios Frisancho, "Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de cultivos nativos utilizando Internet del Todo y redes Fog", tesis, Universidad Nacional del Altiplano, 2017.
- [8] M. Aazam, and E.-N. Huh, "Fog computing: The cloud-iot/ioe middleware paradigm", *IEEE Potentials*, vol. 35, no. 3, pp. 40-44, 2016. doi: 10.1109/MPOT.2015.2456213
- [9] M. Quiñones-Cuenca, V. González-Jaramillo, R. Torres, and M. Jumbo, "Monitoring System of Environmental Variables Using a Wireless Sensor Network and Platforms of Internet of Things", *Enfoque UTE*, 2017, 329-343. doi: 10.29019/enfoqueute.v8n1.139
- [10] F. A. O. CEPAL, *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2017-2018*. Santiago de Chile: CEPAL, FAO, IICA, Santiago Chile, Chile, 2017.
- [11] A. M. Campoverde Marca, H. Rojas, D. Leonardo, y B. E. Mazón Olivo, "Cloud Computing para el internet de las cosas. Caso de estudio orientado a la agricultura de precisión", en *I Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología UTMACH*, Machala, 2015, pp. 47-53.
- [12] L. B. Peña, "Proyecto de Indagación", Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Fac. Psicol. [en línea], 2010.
- [13] J. S. Martínez López, "Guía de apuntes básicos para el docente de la materia Técnicas de Investigación", Universidad Mesoamericana, Oaxaca, 2002.
- [14] E. A. Quieroga Montoya, S. F. Jaramillo Colorado, W. Y. Campo Muñoz, y G. E. Chanchí Golondrino, "Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT", *RISTI-Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, no. 24, 2017. doi: 10.17013/risti.24.39-56
- [15] Ó. Orozco Sarasti, y G. Llano Ramírez, "Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión", *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 15, no. 28, pp. 103-124, 2016. doi: 10.22395/riium.v15n28a6
- [16] S. M. F. Silveira Massruhá, y M. A. de Andrade Leite, "Agricultura digital", *Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, vol. 2, no. 1, pp. 72-88, 2016. Disponible en: <http://codaf.tupa.unesp.br:8082/index.php/recodaf/article/view/18/42>
- [17] C. Riera, "Cambio tecnológico en Córdoba: la categoría 'regante' y la emergencia de una nueva identidad agraria", *Revista del Museo de Antropología*, vol. 9, no. 2, pp. 113-126, 2016. doi: 10.31048/1852.4826.v9.n2.13286
- [18] L. K. Carpio Santos, "El uso de la tecnología en la agricultura", *ProSciences*, vol. 2, no. 14, pp. 25-32, 2018. doi: 10.29018/issn.2588-1000vol2iss14.2018pp25-32
- [19] J. E. García López, J. Chavez Chavez, y K. Jurado Sánchez, "Modelado de una red de sensores y actuadores inalámbrica para aplicaciones en agricultura de precisión", en *2017 IEEE Mexican Humanitarian Technology Conference (MHTC)*, 2017, pp. 109-116. doi: 10.1109/MHTC.2017.7926210

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

- [20] J. E. Gómez, S. Castaño, T. Mercado, A. Fernandez, y J. Garcia, "Sistema de Internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos", *Ingeniería e Innovación*, vol. 5, no. 1, 2018. Disponible en: <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/1101>
- [21] S. Santini, G. Ghezan, y M. Bontempo, "Uso de las TIC por parte de Agricultores Familiares en el Sudeste de la provincia de Buenos Aires", 2017.
- [22] A. González, G. Amarillo, M. Amarillo, y F. Sarmiento, "Drones Aplicados a la Agricultura de Precisión", *Publicaciones e Investigación*, vol. 10, pp. 23-37, 2016. Disponible en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1585/1930>
- [23] J. C. Triana Useche, y R. S. Rodríguez Leguizamo, "Prototipo de Solución IoT con Tecnología Lora en Monitoreo de Cultivos Agrícolas", tesis, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2018.
- [24] A. J. Anaya-Isaza, D. H. Peluffo-Ordoñez, J. I. Rios, J. A. Castro-Silva, D. A. Carvajal Ruiz, y L. H. Espinosa Llanos, "Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT)", en Conferencias Internacionales FICA, 2016.
- [25] D. J. Mena Amado, "Sistema IoT para el Monitoreo y Control de Fuentes de Luz Artificial Aplicado a la Agricultura de Precisión.", tesis Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017.
- [26] V. A. Berrío Meneses, J. Mosquera Téllez, D. F. Álzate Velásquez, "Uso de drones para el análisis de imágenes multispectrales en agricultura de precisión", @limentch, *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, vol. 13, no. 1, pp. 28-40, 2017. doi: 10.24054/16927125.v1.n1.2015.1647
- [27] K. A. Patil, and N. R. Kale, "A model for smart agriculture using IoT", in Proceedings-International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication, IC-GTSPICC 2016, 2017.
- [28] T. Popović, N. Latinović, A. Pešić, Ž. Zečević, B. Krstajić, and S. Djukanović, "Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 140, pp. 255-265, 2017. doi: 10.1016/j.compag.2017.06.008
- [29] K. O. Flores, I. M. Butaslac, J. E. M. Gonzales, S. M. G. Dumlao, and R. S. J. Reyes, "Precision agriculture monitoring system using wireless sensor network and Raspberry Pi local server", in IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON, 2017. doi: 10.1109/TENCON.2016.7848600
- [30] Z. Nakutis et al., "Remote Agriculture Automation Using Wireless Link and IoT Gateway Infrastructure", in Proceedings-International Workshop on Database and Expert Systems Applications, DEXA, 2016. doi: 10.1109/DEXA.2015.37
- [31] G. Mercado et al., "Aplicaciones de Internet de las Cosas SIPIA6-Red de Sensores Inalámbricos con IPv6", en XV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, 2013. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/e040/208f5205ff6adc66dd6010114b5c7542f81b.pdf>
- [32] F. X. Armas Quintá, R. C. Lois González, y X. C. Macía Arce, "Los Servicios Avanzados de Internet: Nuevas oportunidades para el desarrollo de los territorios rurales", *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, vol. 38, no. 2, pp. 271-287, 2018. doi: 10.5209/AGUC.62480

- [33] J. S. Rueda, y J. M. Talavera Portocarrero, "Similitudes y diferencias entre Redes de Sensores Inalámbricas e Internet de las Cosas: Hacia una postura clarificadora", *Rev. Colomb. Comput.*, vol. 18, no. 2, pp. 58–74, 2017. doi: 10.29375/25392115.3218
- [34] C. Contreras, J. A. Molina, P. Osma, y D. Zambrano, "Construcción de un sistema de adquisición y transmisión remota de la calidad del agua basado en el Internet de las cosas (IoT) para la acuicultura", en *Innovation in Education and Inclusion: Proceedings of the 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, 2018.
- [35] E. Fernando Rojas, L. Poveda, N. Grimblatt, "Estado de la banda ancha en América Latina y el Caribe 2016" Naciones Unidas, CEPAL, 2016.
- [36] S. M. Arciniegas Aguirre, D. R. Mafla Rivadeneira, L. R. Guerra Torrealba, L. D. Narváez Erazo, F. I. Rivas-Echeverría, y D. M. Rivero Albarran, "Metodología para el almacenamiento y visualización de datos masivos en invernadero basado en el Internet de las Cosas", *RISTI – Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, no. E15, pp. 1–12, 2018. Disponible en: <https://search.proquest.com/openview/87fbbc93f144b58865c4bfd01ecfd1d0/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- [37] A. Cravero, D. Lagos, and R. Espinosa, "Big Data/ IoT Use in Wine Production: A Systematic Mapping Study", *IEEE Latin America Transactions*, vol. 16, no. 5, pp. 1476–1484, 2018. doi: 10.1109/TLA.2018.8408444
- [38] A. Tzounis, N. Katsoulas, T. Bartzanas, and C. Kittas, "Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges", *Biosystems Engineering*, vol. 164, pp. 31-48, 2017. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007
- [39] L. Riliskis, J. Hong, and P. Levis, "Ravel: Programming IoT Applications As Distributed Models, Views, and Controllers", in *International Workshop on Internet of Things towards Applications*, 2015, pp. 1-6. doi: 10.1145/2820975.2820977
- [40] V. Vijay Hari Ram, H. Vishal, S. Dhanalakshmi, y P. Meenakshi Vidya, "Regulation of water in agriculture field using Internet Of Things", in *Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development*, TIAR, Chennai, India, 2015. doi: 10.1109/TIAR.2015.7358541
- [41] A. Rahman, and M. Suryanegara, "The development of IoT LoRa: A performance evaluation on LoS and Non-LoS environment at 915 MHz ISM frequency", in *Proceedings–International Conference on Signals and Systems, ICSigSys*, Sanur Indonesia, 2017, pp. 163-167. doi: 10.1109/IC-SIGSYS.2017.7967033
- [42] D. F. González Botero, "Planteamiento de un modelo de predicción de heladas en cultivos de Rosa en la Sabana de Bogotá", *Universidad Militar Nueva Granada*, 2018. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17682/GonzalezBoteroDavidFelipe2018.pdf;jsessionid=E80C4CB51B1ABED-6C8E9AF028E89031F?sequence=1>
- [43] A. Cama-Pinto, F. Montoya Gil, J. Gómez-López, A. García Cruz, y F. Manzano Agugliaro, "Sistema inalámbrico de monitorización para cultivos en invernadero", *DYNA*, vol. 81, no. 184, pp. 164-170, 2014. doi: 10.15446/dyna.v81n184.37034
- [44] T. Cao-Hoang, and C. N. Duy, "Environment monitoring system for agricultural application based on wireless sensor network", in *7th International Conference on Information Science and Technology, ICIST 2017–Proceedings*, 2017. doi: 10.1109/ICIST.2017.7926499

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

- [45] A. Acosta, y A. Aguilar, "Automatización de bajo costo utilizada en la producción agrícola en invernaderos y huertos caseros", en 13th LACCEI Annual International Conference: "Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing? Santo Domingo, Dominican Republic, 2015, pp. 1-9.
- [46] I. Bennis, H. Fouchal, O. Zytoune, y D. Aboutajdine, "Monitoring drip irrigation system using wireless sensor networks", Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2015, pp. 1297-1302. doi: 10.15439/2015F299
- [47] K. Foughali, K. Fathallah, and A. Frihida, "Using Cloud IOT for disease prevention in precision agriculture", *Procedia Computer Science*, vol. 130, pp. 575-582, 2018. doi: 10.1016/j.procs.2018.04.106
- [48] J. S. Alfaro Rocha, A. S. Corbacho Torregroza, y J. E. Prada Hernández "Análisis del internet de las cosas (IOT) y su aplicabilidad en el control remoto del sistema de riego de la finca La Josefa ubicada en Macondo zona bananera del departamento del Magdalena.", Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, 2018.

La interactividad y la conectividad al servicio de la industria de la confección

Interactivity and connectivity at the service of the clothing industry

Leidy Vega Rodríguez*

Fabio Andrés Gaviria**

Luz Eugenia Botero***

(Recibido el 21-12-2018. Aprobado el 05-04-2019)

Estilo de citación de artículo:

L. Y. Vega, F. A. Gaviria, y L. E. Botero, "La interactividad y la conectividad al servicio de la industria de la confección", *Lámpsakos*, (22), pp. 106-122 (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3071

Resumen

Los rápidos avances en la industrialización e informatización han estimulado el desarrollo de procesos automáticos, precisos y sostenibles. La Industria 4.0 representa la evolución tecnológica integrada a los sistemas ciberfísicos, que combina sensores inteligentes, inteligencia artificial y análisis de datos para optimizar la fabricación en tiempo real. En este documento se explora el panorama de las nuevas tecnologías en el ámbito de la Industria 4.0, con la intención de brindar una perspectiva diferente que permita mejorar las técnicas tradicionales de desarrollo y fabricación de prendas de vestir y que facilite la respuesta permanente y rápida a los retos que se presentan en el mundo empresarial mediante la toma de decisiones inteligentes y responsables. El uso de tecnologías como Big Data o Cloud brinda la oportunidad de optimizar las operaciones y proporcionar valor agregado al integrar productos y servicios si se considera que se tiene una cadena de valor más compleja, canales digitales cada vez más importantes y un cliente más exigente. Muchas empresas del sector de la confección han adoptado estas tecnologías disruptivas, comprobando que tienen un profundo impacto en términos de productividad, calidad y servicio. Sin embargo, la falta de herramientas poderosas representa un obstáculo importante para explotar todo su potencial.

Palabras clave: Procesos automatizados; Industria de la confección; Análisis de datos; Economía digital; Industria 4.0; Sistemas de producción; Productividad; Optimización; Tecnologías disruptivas y emergentes; Tecnologías de la información y la comunicación.

* Ingeniera Química, Servicio Nacional de Aprendizaje, Sena. Centro de Formación en Diseño, Confección y Moda. Integrante del grupo de investigación INAMOD. Itagüí-Antioquia. Colombia. Contacto: lyvega@sena.edu.co, ORCID: 0000-0002-0799-5990.

** Diseñador industrial con énfasis en Moda, Servicio Nacional de Aprendizaje, Sena. Centro de Formación en Diseño, Confección y Moda. Integrante del grupo de investigación INAMOD. Itagüí-Antioquia. Colombia. Contacto: fgaviria@sena.edu.co, ORCID: 0000-0003-1434-8940.

*** Especialista en Gerencia del Desarrollo del Talento Humano. Administradora de Negocios, Servicio Nacional de Aprendizaje, Sena. Centro de Formación en Diseño, Confección y Moda. Integrante del grupo de investigación INAMOD. Itagüí-Antioquia. Colombia. Contacto: lboteros@sena.edu.co, ORCID: 0000-0002-6151-0480.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3071>

Abstract

Rapid advances in industrialization and computerization have stimulated the development of automatic, precise and sustainable processes. Industry 4.0 represents the technological evolution integrated into cyberphysical systems, combining intelligent sensors, artificial intelligence and data analysis to optimize real-time manufacturing. This paper explores the panorama of new technologies in the field of Industry 4.0, with the intention of providing a different perspective, to improve traditional clothing development and manufacturing techniques and to facilitate a permanent and rapid response to the challenges facing the business world, through intelligent and responsible decision-making.

Using technologies like Big Data or Cloud provides the opportunity to optimize operations and provide added value by integrating products and services, considering that you have a more complex value chain, increasingly important digital channels and a more demanding customer. Many garment companies have adopted these disruptive technologies, proving that they have a profound impact in terms of productivity, quality and service. However, the lack of powerful tools is a major obstacle to exploiting their full potential.

Keywords: Automated processes; Clothing industry; Data analysis; Digital economy; Industry 4.0; Production systems; Productivity; Optimization; Disruptive and emerging technologies; Information and communication technology.

1. NOMENCLATURA

AI: Inteligencia Artificial

IoT: Internet de las cosas

RFID: Sistemas de identificación por radiofrecuencia

TIC: Tecnologías de la información y la comunicación

2. INTRODUCCIÓN

El sector confección se encuentra ante un panorama de cambio en sus modelos de producción y distribución, producto de la evolución científico-tecnológica inmersa en la Cuarta Revolución Industrial (Industria 4.0) que lo ha motivado a convertirse en incubadoras de tecnologías en las que prevalecen principalmente: la digitalización (sistemas de información para la gestión y la planificación de producción), la automatización (sistemas para la adquisición de datos de las líneas de producción y el uso de máquinas) y el intercambio automático de datos (cadena de suministro integral), con el fin de lograr la personalización de los productos, un mejor aprovechamiento de los materiales y la rapidez de entrega al consumidor final, garantizando que los procesos sean confiables, autónomos, precisos, sostenibles y libres de fallas [1]–[2].

La Industria 4.0 representa la tendencia actual de las tecnologías de automatización en la industria manufacturera, centrada en la digitalización de extremo a extremo y la integración de los ecosistemas industriales digitales mediante la búsqueda de soluciones completamente integradas [3]. Las tecnologías inmersas en la industria 4.0 son capaces de monitorear procesos físicos, crear el llamado *gemelo digital* (o cibernético) del mundo físico y tomar decisiones inteligentes a través de la comunicación y la cooperación con los diversos recursos de fabricación: humanos, máquinas, materiales, sensores, etcétera, lo que permite la optimización de la fabricación en tiempo real [4], [3]. De esta manera se logra una integración y ampliación de los procesos de fabricación en los

ámbitos intra e interorganizacional, lo que permite la transformación de las cadenas de valor de la industria y los modelos de negocio [3], [5].

Bajo este contexto, muchas empresas enfrentan el desafío de evaluar la diversidad de desarrollos y conceptos resumidos bajo el término Industria 4.0 y desarrollar sus propias estrategias corporativas para convertirse en empresas digitales líderes. Sin embargo, las empresas están limitadas por no tener el conocimiento suficiente para la adopción de estas tecnologías disruptivas, por lo que prefieren no implementarlas tan pronto para no cometer errores. De lo anterior se deriva otro reto, que dependerá en gran medida de la capacidad de las empresas y los gobiernos para mejorar la preparación técnica de las tecnologías; se trata de educar la fuerza laboral calificada necesaria, fomentar la difusión y adopción inclusivas, garantizar la disponibilidad de la infraestructura subyacente y abordar los problemas de ciberseguridad [6].

Para comprender completamente cómo la industria de la confección puede adoptar las tecnologías de la Industria 4.0, este documento proporciona una revisión de temas asociados como la fabricación en la nube, la fabricación habilitada para Internet of Things (IoT), Big Data y otras tecnologías relacionadas. Así mismo, se presentan los desarrollos actuales y las oportunidades futuras que existen en el apasionante campo de la Industria 4.0. Para este análisis, las tecnologías fueron agrupadas en dos categorías que hacen énfasis en informatización y digitalización: conectividad e informática y analítica e inteligencia, con base en el mapeo tecnológico realizado por el Foro Económico Mundial [6].

Conectividad e informática

La aparición de la Industria 4.0 representa un cambio fundamental en la forma de desarrollar, implementar, escalar y actualizar los servicios de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Actualmente,

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3071>

el uso de las tecnologías de procesamiento y almacenamiento de información digital se han intensificado debido a la necesidad latente de crear, transformar y redefinir las relaciones entre la empresa y los clientes, como respuesta a las rápidas dinámicas de consumo.

Las máquinas inteligentes, los sensores y los sistemas de almacenamiento se encuentran dentro de las tecnologías capaces de intercambiar información de forma autónoma, desencadenar acciones y controlarse entre sí de forma independiente, para crear operaciones más eficientes, mejorar la calidad de los productos y aumentar la efectividad y la eficiencia operativa general a lo largo de la cadena de suministro.

Cloud computing

La computación en la nube es una tecnología disruptiva con la que se accede a un conjunto compartido de recursos informáticos; es utilizada para realizar tareas de computación complejas a gran escala, independientemente de la ubicación y el dispositivo utilizado, convirtiéndose en un medio de bajo costo para entregar soluciones rápidas al mercado en operaciones y servicios de misión crítica, al trasladar la informática y los datos a grandes centros de datos [7]. De esta manera se logra abarcar una gama de funciones de las TIC desde almacenamiento y computación hasta servicios de base de datos y aplicaciones [8].

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST por sus siglas en inglés) define la computación en la nube como:

un modelo para permitir el acceso a la red ubicuo, conveniente y bajo demanda a un grupo compartido de recursos informáticos configurables (por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que pueden suministrarse y proyectarse rápidamente con un mínimo esfuerzo de gestión o interacción del proveedor de servicios [9].

Para entender un poco más el concepto de la computación en la nube, considere su experiencia con un correo electrónico, bien sea Yahoo!, Gmail, Hotmail, etcétera [10]. Cuando desea acceder a su correo electrónico, abre su navegador web, va al sitio web del correo electrónico e inicia sesión. La parte más importante de la ecuación es tener *acceso a Internet*. Su correo electrónico no se encuentra en su computadora física; accede a este desde cualquier lugar a través de una conexión a Internet. Con la computación en la nube no solo se accede al correo electrónico, sino a la información que se desee dentro de la nube. En resumen, como expresaron Damodaram & Ravindranath [11]:

Cloud Computing es más que una tecnología. Es más que una plataforma. Es más que solo un proveedor de alojamiento. Es más que solo una aplicación alojada como un servicio. Es más que proporcionar servicios de almacenamiento en Internet. Es una combinación de todo lo anterior, utilizando diferentes protocolos estándares de Internet como HTTP, SOAP, REST y XML.

Compañías como Google, Amazon, Facebook y Microsoft se esfuerzan por proporcionar plataformas más potentes, confiables y rentables, para brindar un servicio [8]; mientras tanto, las empresas buscan remodelar sus modelos comerciales para obtener beneficios de este nuevo modelo de servicios. Dentro de los beneficios que ofrece esta tecnología se encuentran [7], [12], [13] : 1) acceso a información a través de cualquier dispositivo con conexión a Internet; 2) optimización de la utilización de recursos de *hardware* y *software*; 3) escalabilidad; 4) infraestructuras flexibles y escalables que permitan una rápida implementación; 5) recuperación de desastres a bajo costo y soluciones de almacenamiento de datos; 6) transformación del departamento de las TIC (enfoque en innovación vs. mantenimiento e implementación); 7) mayor disponibilidad de aplicaciones de alto rendimiento para pequeñas y medianas empresas.

La computación en la nube ha hecho presencia cada vez más poderosa en la industria de la moda. De tal manera, se considera que las industrias de la

confección se caracterizan por tener ciclos de vida cortos, demanda impredecible, distribución rápida, preferencias erráticas de los clientes y compras impulsivas, dificultades para realizar operaciones comerciales transfronterizas y estancamiento de las condiciones económicas [11], [14], las aplicaciones en la nube proporcionan servicios útiles para simplificar las operaciones comerciales, reducir las operaciones de las TIC y los costos de gestión y liberar recursos críticos y presupuestos para proyectos innovadores discrecionales. El desafío principal del sector radica en conectar los procesos de la cadena de suministro a la nube, lo cual se obtiene por medio del intercambio de información y conocimientos, la integración de aplicaciones y la alineación de procesos, mejorando así la capacidad de una empresa para ofrecer soluciones técnicas rápidamente [15], [16]. Por ello, hoy día existen sistemas de computación basados en Internet, diseñados especialmente para la planificación de la producción, la gestión de materias primas, el cálculo de costos, el procesamiento de pedidos, el muestreo, el control de la preparación del pedido y la entrega final del producto [11].

Se espera que el mercado mundial de servicios en la nube crezca un 17,3 % en el 2019 hasta un total de \$206,2 billones, frente a los \$175,8 billones en el 2018. Para el año 2018, Gartner prevé un crecimiento del mercado del 21%, frente a los 145,3 mil millones de dólares obtenidos en el 2017 [17].

Si una empresa está considerando el uso de la nube, debe tener en cuenta qué tipo de nube se adapta mejor a sus necesidades en función de la forma en que pretenda utilizar el espacio y los recursos asociados, qué tipo de proveedor será más útil y cuál es la reputación y las responsabilidades de los proveedores de la nube antes de inscribirse. Hay tres categorías que agrupan los servicios en la nube: *software* como servicio (SaaS), plataforma como servicio (PaaS) e infraestructura como servicio (IaaS) [10], [11], [13]. Así mismo, es importante identificar qué tipo de información va a publicar, quién tendrá acceso y qué necesita para asegurarse de que esté protegida [10].

Pese a los beneficios que ofrece la computación en la nube, esta tecnología no ha desarrollado todo su potencial. Existen muchos desafíos clave en este campo, que incluyen el aprovisionamiento automático de recursos, la administración de energía y la administración de la seguridad y la privacidad, que son temas de interés por parte de la comunidad científica [12], [13], [18]. Hoy en día se ha propuesto la integración con otras tendencias disruptivas que son candidatas para Next Big Thing, como Internet de las cosas, inteligencia artificial y negocios digitales [8], [19].

Internet de las cosas (IoT)

Internet de las cosas es uno de los avances más prometedores en las TIC. Se refiere a una red inalámbrica mundial en la que personas, objetos físicos, aplicaciones y datos, integrados con sensores electrónicos, actuadores u otros dispositivos digitales, están conectados a través de Internet para recoger e intercambiar datos con el fin de facilitar la toma de decisiones para el control remoto, la integración y gestión de servicios [4], [20].

Ma afirma que el IoT tiene tres características principales [21]: 1) los objetos físicos son identificables y tienen la capacidad de comunicarse y de interactuar entre ellos, construyendo así una amplia red; son instrumentados y tratados individualmente mediante la incrustación de chips y códigos de barras; 2) los objetos instrumentados están conectados como terminales de red automáticas; y 3) los servicios omnipresentes son inteligentes y representan una red extensamente interconectada, lo que permite que cada objeto participe en el flujo del servicio para hacer que el servicio dominante sea inteligente. En resumen, los requisitos previos importantes para la implementación del IoT son que los objetos de interés puedan identificarse de manera única y que su entorno se pueda monitorear con un sensor [22].

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3071>

El IoT es la primera tendencia altamente interconectada con Big Data que estimula la innovación y las nuevas oportunidades al llevar cada objeto, consumidor y actividad al ámbito digital, de tal modo que ofrece oportunidades en cinco etapas críticas del sistema de producción [6], [23]:

- Control inteligente de la empresa y optimización de la cadena de suministro, que se logra manteniendo una estrecha integración de las máquinas con los activos de fabricación de la empresa en general. Esto posibilita una producción más flexible y eficiente y, por lo tanto más rentable, frente a una cadena de suministro más compleja, canales digitales cada vez más importantes y un cliente más exigente.
- Gestión del rendimiento de los activos: la implementación de sensores inalámbricos rentables, la fácil conectividad en la nube (incluida la red de área extensa o WAN) y el análisis de datos mejora el rendimiento de los activos debido a que permiten que los datos se recopilen fácilmente desde el campo y se conviertan en información procesable en tiempo real, que puede predecir problemas y prescribir acciones al operador, lo cual representa una disminución de los tiempos de inactividad inesperados y aumento de productividad y confiabilidad.
- Creación de nuevos canales y flujos de ingreso: el IoT representa una oportunidad para crear nuevas fuentes de ingresos, para construir canales completamente nuevos, o en algunos casos, para crear nuevas categorías de productos que se integren a las plataformas conectadas existentes. Ofrecer nuevos servicios como el reemplazo automático de productos según el consumo del cliente o el monitoreo de las fechas perecedoras, se convierte en una mina de oro potencial de información, que genera valor a la industria y fidelización de los clientes.
- Operarios aumentados: los empleados futuros usarán dispositivos móviles, análisis de datos, realidad aumentada y conectividad transparente para aumentar la productividad, por lo que necesitarán información al alcance de su mano, en tiempo real y que les resulte familiar. Usar sensores para automatizar muchas de las funciones que los empleados actualmente tienen que realizar manualmente, como rastrear el inventario o cambiar los precios en artículos individuales, brinda a los asociados de ventas más tiempo para interactuar con los clientes, mejorando aún más la

experiencia en la tienda. Así, las industrias evolucionarán para estar más centradas en el usuario y menos centradas en la máquina.

- Experiencia del cliente: con el IoT, las empresas minoristas desarrollan un ecosistema empresarial que conecta mundos físicos y digitales para permitir la interacción bidireccional y en tiempo real con los consumidores dentro y fuera de la tienda, mediante un dispositivo inteligente. De esta manera, se motiva a que los compradores que usan teléfonos inteligentes y que examinan los productos en la tienda física y luego compran en línea, exploren nuevas formas de conectarse para mejorar su experiencia en la tienda. El uso de sensores para rastrear las rutas de los clientes a través de una tienda, por ejemplo, puede ayudar al encargado del Visual Merchandising a mejorar el diseño de la tienda y las estrategias de colocación de los productos.

Por tanto, la idea central resultante detrás de la Internet de las cosas es recopilar y utilizar sin problemas información sobre el entorno físico y, potencialmente, sobre cualquier tipo de objeto en el mundo real (cosas) durante todo su ciclo de vida.

Con el IoT se puede reducir la capacidad de control de los actores humanos mediante la toma de decisiones basada en datos y lograr nuevos modelos de negocios y nuevas formas de interactuar con clientes, empleados y proveedores, que brinden una visibilidad total a lo largo del ciclo de vida de un producto, lo que crea la oportunidad de experiencias innovadoras para el consumidor. Así, el IoT será una fuerza disruptiva en las operaciones minoristas hacia un aumento de ingresos, reducción de costos y generación de una experiencia de marca diferenciada [23].

Motivados por el hecho de que “cualquier producto físico puede ser más inteligente, más interactivo, más rastreable y más valioso si se conecta a través del IoT” [24], el mundo científico ha estado estudiando recientemente este tema, lo cual se comprueba en las publicaciones realizadas en los últimos años. La cantidad de dispositivos conectados al IoT para el año

2025 puede llegar a los 80 billones, con una inversión cercana a los \$75 billones [25]; por ello se prevé que esta sea la tecnología del futuro [6].

Según Watson [26], las empresas que desean convertirse en organizaciones basadas en el IoT se enfrentan a siete factores importantes: 1) clara estrategia comercial, que sean consistentes con las soluciones habilitadas para el IoT; 2) patrocinio fuerte y comprometido, priorizando el impacto y los beneficios potenciales de las inversiones del IoT en torno a las necesidades de los clientes; 3) alineación entre el negocio y la estrategia de las TIC que permita el diseño e implementación de acuerdo con las necesidades de la empresa; 4) cultura de toma de decisiones basada en hechos y en datos; 5) infraestructura de datos sólida; 6) herramientas analíticas adecuadas; y 7) personal con habilidades analíticas avanzadas. Uno de los principales retos es que en las empresas se adopte un cambio completo en la mentalidad, que se promueva una filosofía basada en datos derivados del mundo real [6]. Estos datos deben transformarse en información, en conocimiento, conciencia y sabiduría que garantice una vinculación sólida entre el liderazgo empresarial y las tecnologías de la información, en pro de la identificación de oportunidades y la rápida aceptación de nuevas ideas y soluciones al mercado [23].

El IoT está madurando más rápido de lo previsto, lo que indica una implementación más inminente y generalizada, así considera las expectativas cambiantes de los clientes y la competencia de la industria. Pese a los indiscutibles beneficios que promete el IoT, el proceso de adopción ha sido más lento de lo esperado debido principalmente a la falta de rentabilidad para cada parte interesada respecto a la relación costo-beneficio [27], a las barreras existentes relacionadas con la ciberseguridad y con la creación de mecanismos que permitirán que los dispositivos inteligentes se descubran entre sí e interactúen entre sí [6].

Sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID)

Los sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID por sus siglas en inglés), también conocidos como etiquetas inteligentes de radiofrecuencia, son una tecnología de identificación automática e inalámbrica y captura de datos (AIDC por sus siglas en inglés), que tiene la capacidad de intercambiar datos en tiempo real al establecer una conexión entre etiquetas (incorporadas a objetos o personas en un extremo) y lectores [28], [29].

Las etiquetas o transpondedores son microchips remotos de almacenamiento de datos que se pueden adjuntar o incrustar en un producto, animal o persona [30]. Los lectores, conocidos también como transceptor o interrogador, son un componente que tiene una o más antenas que emiten ondas de radio para la detección de las etiquetas en el entorno [31]; es responsable de organizar la comunicación entre sí mismo y las etiquetas en su rango de lectura, decodificar los datos codificados en el IC de la etiqueta y pasarlos al middleware para su posterior procesamiento [31], [32]. La transmisión de datos se hace a través de ondas de radio, electrónicas y electromagnéticas, mediante campos magnéticos de forma inalámbrica y sin contacto, con una frecuencia que va desde 100-500 kHz hasta 2,4-5,8 GHz [30]. Dado que este sistema funciona en función de los cambios en las ondas, para fortalecer las señales ambientales se requiere una antena que permite que la etiqueta envíe y reciba ondas de radio entre etiquetas RFID y lectores [29].

La RFID ofrece una plataforma importante para la identificación de objetos, la recopilación de datos y la gestión de productos. Esta tecnología está revolucionando la gestión de la cadena de suministro, reemplazando los códigos de barras del sistema de seguimiento de objetos y se ha convertido rápidamente en una tecnología estratégica clave que agrega valor a lo largo de la cadena de suministro al aumentar la eficiencia del proceso, la precisión, la visibilidad y la seguridad [33]. En las industrias de fabricación de prendas de vestir de hoy, varios sistemas de captura de datos basados en RFID pueden resolver una serie de problemas exclusivos de este sector presentes en

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3071>

diferentes etapas de la cadena: fabricación (monitoreo y control), distribución (seguimiento automático), almacenamiento, logística y venta minorista (control de inventarios) [30], [33]-[34].

-En la fabricación de prendas de vestir, RFID se puede utilizar para monitorear el progreso del proceso de producción; para evitar movimientos innecesarios debido a que es posible rastrear los componentes, semiacabados y los productos terminados, lo que ayuda a mejorar la productividad y la calidad; y para evitar la mezcla de productos y componentes, y de diferentes accesorios.

-En distribución se puede utilizar para resolver el problema de clasificación y seguimiento de mercancías a medida que ingresan. Así, las mercancías recibidas se registran y los datos son almacenados en los transpondedores (o etiquetas inteligentes), lo que reduciría el tiempo de contar artículo por artículo y aumentaría el nivel de satisfacción de los empleados. Así mismo, se tendría un control automático de la disponibilidad de los artículos (tamaño, color, talla...).

-En las ventas es utilizada para la gestión del *stock* de artículos, de modo que se proporcione un artículo de forma rápida y correcta al agruparlos de acuerdo con su demanda, a fin de evitar el *arrepentimiento de búsqueda*, mejorando la experiencia de compra del cliente al poder interactuar con el producto antes de tomar una decisión de compra [30]. Así mismo, facilita la reposición automática de existencias de artículos. Si el producto es enviado, con las etiquetas RFID es posible leer todos los artículos empacados dentro de la caja, sin abrirla, lo que ahorra tiempo y costos de mano de obra.

GAP Inc. es uno de los referentes del sector confección que utiliza la tecnología RFID de alta frecuencia para evitar robos y detectar artículos, así como para el monitoreo con precisión del inventario, manteniendo un seguimiento de los tamaños y tipos de ropa. Por su parte, American Apparel considera que esta tecnología ayuda a la compañía a reaccionar rápidamente a las tendencias cambiantes de la moda, así como a comprender el estado y el flujo de los productos de prendas de vestir [29]; por ello, implementó el sistema RFID en ocho de sus tiendas, logrando una disminución aproximada de 60-80 horas por semana

en mano de obra y una reducción de los productos fuera de *stock* [30]. Resultados similares obtuvieron los comerciantes de ropa Charles Vögele en Suiza y Throttleman en Portugal, que utilizaron esta tecnología para administrar mejor los inventarios de las tiendas y mejorar la disponibilidad en los estantes [35]. El grupo brasileiro Valdac Global Brands (VGB) también instaló RFID para hacer un seguimiento de cada uno de los cerca de 40.000 productos desde el lugar de fabricación, pasando por el centro de distribución, hasta la tienda, los estantes y, finalmente, el punto de venta, logrando una reducción del 50% en los costos operativos [36]. Esto lo motivó a querer implementar esta tecnología en 120 tiendas de todo Brasil.

Dolgui & Proth [32] resumen las ventajas que ofrece la implementación de un sistema RFID: 1) datos en tiempo real sobre los bienes y mercancías, lo que facilita la gestión de información; 2) incremento de la velocidad de los flujos físicos; 3) reducción drástica de la carga de trabajo, y por lo tanto, del costo de mano de obra; 4) reducción de trabajos en proceso (WIP) e inventarios; 5) reducción de la contracción, ubicaciones inexactas de los artículos almacenados, errores de transacción, artículos etiquetados incorrectamente; como consecuencia, los registros de inventario están más cerca del inventario real; 6) reducción de la falsificación; 7) visibilidad general en las cadenas de suministro, lo que ayuda a mantener una ventaja competitiva; y 8) reducción de robo y pérdida.

Si bien el uso de sistemas RFID puede mejorar la productividad y la eficiencia, también expone barreras en términos de inversión, seguridad y privacidad en las organizaciones, compatibilidad, aspectos técnicos (recopilación de datos, infraestructura de software para soportar el IoT, modelo de interacción con dispositivos portátiles), operación y mantenimiento, y falta de estandarización [30], [37], [38]. Estos desafíos tecnológicos han condicionado su uso e imposibilitado que las empresas vean su potencial, por lo que las aplicaciones reales todavía son bastante limitadas y se han circunscrito a proyectos de investigación y pro-

yectos a escala piloto [28], [39]. Aun cuando se tienen ventajas en velocidad, precisión, flexibilidad, capacidad de almacenamiento y durabilidad sobre los sistemas de códigos de barras tradicionales [30]–[32], no se han podido concretar los beneficios reales de esta tecnología [37], considerando que no se pueden generalizar los resultados a las diferentes empresas [28].

Con la reciente evolución de la tecnología RFID y la presión continua ejercida hacia su mejora, los procesos de producción para hacer etiquetas se han optimizado y permitido una reducción enorme de costos [28], [39]. Queda claro que dicha tecnología tiene un futuro muy brillante y prometedor en la industria textil y de la confección que cambiará fundamentalmente el entorno competitivo. Los desarrollos tecnológicos ayudarán a lograr una amplia capacidad de adopción. Una visión de futuro de la RFID incluye el Internet de las cosas como la red para identificar y rastrear productos a medida que fluyen a través de la cadena de suministro global, en cualquier parte del mundo, lo cual puede contribuir aún más a la llegada de nuevos procesos de fabricación y logística que proporcionan una red de cadena de suministro controlada dinámicamente [39]. Para lograr lo anterior, es importante considerar que la introducción de la RFID en una cadena de suministro no es solo un problema técnico; las empresas interesadas estarán obligadas a reorganizar y, posiblemente, rediseñar su sistema de comunicación y procesamiento de datos, debido a que se requiere una infraestructura de las TIC ampliada, con nuevos computadores y nuevos softwares para desarrollar aplicaciones más automatizadas relacionadas con el mantenimiento, la seguridad, la calidad y la gestión en tiempo real de la información [32].

Analítica e inteligencia

Ante el boom actual de la información, las empresas tienen acceso a una gran cantidad de datos, de los cuales deben obtener valor para diseñar productos o servicios que sean fácilmente aceptados en el mercado.

A medida que la cantidad de dispositivos y máquinas conectadas se expanden, se genera la necesidad de capacidades adicionales de recopilación y procesamiento de datos. Es por ello que, para mejorar la fabricación de prendas de vestir, en la industria de la moda moderna es necesario implementar tecnologías informáticas que faciliten el diseño y desarrollo de un sistema de soporte de decisiones y predicciones, centrado en el cliente, obtenido mediante el tratamiento de grandes cantidades de información y la generación de simulaciones en tiempo real, con lo cual se puede aprovechar al máximo la información que se puede extraer de las TIC.

Big Data

Big Data es el conjunto de grandes volúmenes de datos, generalmente desestructurado y desorganizado, que contiene una variedad de información que crece de forma continua a una velocidad sumamente rápida y, por ende, requiere el uso de una escala significativa (más nodos) para un procesamiento eficiente [40]–[41]. En general, Big Data se refiere a los conjuntos de datos que debido a su tamaño no pueden ser capturados, almacenados, administrados y analizados por las herramientas tradicionales de las TIC [41], [42].

Los principales atributos relacionados con el concepto están definidos por 4V: volumen, velocidad, variedad y veracidad [43], [44]. El volumen se refiere al tamaño de los datos, que aumenta de terabytes a petabyte y que se crean a partir de todas las fuentes. Para el 2015 se estimó que se generaron aproximadamente 8 Zettabytes (Zetta= 10^{21}) de datos digitales originados de correos electrónicos, blogs, Twitter, publicaciones en Facebook, imágenes y videos [45]. Según el informe de IDC, el volumen de datos alcan-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3071>

zará 40 ZettaBytes para el 2020, que equivaldría a un aumento de 300 veces [46]. La variedad hace alusión a la procedencia de los datos (incluyendo texto, dispositivos de video/audio, sensores, redes, archivos de registro, aplicaciones transaccionales, web y redes sociales) y a los múltiples formatos disponibles, consistentes en datos estructurados, no estructurados y semiestructurados, públicos o privados, locales o distantes, compartidos o confidenciales, completos o incompletos, etcétera [40], [41], [45], [47]. La velocidad hace referencia a la frecuencia de generación y recepción de datos, lo cual permite la rápida toma de decisiones [44], [47]; algunos datos se reciben en tiempo real y son procesados ejecutando algoritmos cada vez más complejos en menos tiempo [41], [45]. YouTube es otro buen ejemplo que ilustra la velocidad de Big Data [47]. Esta alta velocidad es directamente responsable del alto volumen [47]. La veracidad tiene que ver con la incertidumbre de los datos, respondiendo a los interrogantes ¿qué tan seguros se está de esa información?, ¿qué tan completos y consistentes son los datos que tiene la empresa? Algunos autores han concertado que Big Data puede ser comprendido a través de la lente de 7V; adicional a las características mencionadas previamente, se incluyen virtualidad y variabilidad (o volatilidad) [48], [49].

Lo virtual es un proceso para administrar los datos de manera efectiva y eficiente según la demanda de los usuarios. La variabilidad se refiere a los cambios que constantemente experimentan los datos, debido a modificaciones por parte del usuario o por obsolescencia. La 7ª V es la característica más importante definida como Valor, permite identificar la información valiosa y convertir una gran cantidad de datos en valor comercial, analizando el conocimiento contenido en los mismos, que suministre una solución a los desafíos y problemas de la industria [48], [43].

El concepto Big Data no solo abarca los datos en sí, sino también las tecnologías utilizadas, la experiencia para generar, recopilar, almacenar, gestionar, procesar, analizar, presentar y utilizar datos, así como la información y el conocimiento derivado del análisis

[50], [51]. Los pilares sobre los cuales se sustentan las tecnologías Big Data son: medios sociales, Mobile computing (teléfonos inteligentes, tablets... y aplicaciones apps), Cloud-Computing (computación en la nube) e Internet de las cosas (M2M, sensores, chips) [52].

Ante el latente cambio de paradigma de los consumidores, quienes son protagonistas desde la fase de precompra hasta la poscompra, el análisis de datos ha sido la herramienta perfecta para que las empresas creen una conexión con los consumidores, por medio de pronósticos de tendencias, conocimiento de las preferencias, necesidades y emociones del cliente/consumidor, análisis del comportamiento de compra (saber qué les gusta comprar a sus clientes y cuándo), predicción de ventas, análisis de promociones y descubrimiento de nuevas categorías de productos, con lo que se garantice el éxito potencial de la nueva colección y la fidelidad del consumidor mientras expande su experiencia en la red [43], [53]–[54]. Además, es posible definir el pronóstico del *tiempo de almacenamiento* de un producto en el sitio web, así como el rastreo de los artículos que se devuelven con más frecuencia debido a defectos o calidad del producto. Por lo anterior, los datos digitales juegan un papel cada vez más importante en las empresas, las cuales deben preparar una propuesta de valor enfocada en mejorar el producto, la oferta, el precio y otras ventajas competitivas, reconociendo que los consumidores son más proactivos y más conocedores de los atributos de los productos y servicios que desean gracias a la capacidad que tienen para buscar información, comparar, comprar y obtener soporte en línea [53]. En sí, la ciencia de los datos masivos sirve para hacer predicciones mediante el uso de técnicas de análisis avanzadas como estadística, minería de datos, aprendizaje automático, redes neuronales, análisis predictivo, análisis de redes sociales, procesamiento de lenguaje natural (NLP) [55].

En los últimos años, los principales actores de todas las industrias han abierto sus ojos a las posibilidades que esta tecnología puede ofrecerles y, en

particular, la tecnología conectada, habilitada para datos. Las aplicaciones de Big Data son potencialmente infinitas. Marcas de moda conocidas como Ralph Lauren, Lucy Brand, Sperry y True Religion usan este tipo de inteligencia predictiva para descubrir cómo los diferentes cambios en el tejido del producto, detalles de diseño, colores y precio afectan la respuesta del cliente a un artículo [56], [57].

Se ha evidenciado una motivación por investigar y adaptar este nuevo paradigma, al comprender que “las decisiones controladas por los datos tienden a ser mejores decisiones” [52]. Así, la aceptación del Big Data representa un cambio estratégico en la industria, enfocado en: 1) reducción de costos e incremento de los ingresos; 2) mejora de la eficiencia operacional; 3) optimización de riesgos y operaciones; 4) mejora en la toma de decisiones; 5) innovación con productos o servicios; 6) mejora en la experiencia del cliente; y 7) transformación de los modelos de procesos y negocios a relevancia continua en los cambios de escenario [58], [59].

En resumen, los avances en el aprendizaje automático, la inteligencia artificial y otras tecnologías de la ciencia de datos no muestran signos de desaceleración, por lo que es un momento muy crucial para entrar en el mundo de la ciencia de datos, con una tarea desafiante en términos de organización y procesamiento de datos, reconociendo que el futuro está enfocado en la capacidad de captar y analizar los datos suficientes para un fin correcto [53].

Inteligencia artificial (AI)

Se define como el estudio de cómo los programas informáticos (sistemas) simulan procesos inteligentes, incluidos el aprendizaje, el razonamiento, la memoria asociativa y la comprensión de la información simbólica en contexto. En sí, la AI es un campo de la informática que puede: 1) simular artificialmente el cerebro humano y las características de su inteligencia; 2) simular las capacidades sensoriales humanas; 3) ac-

tuar inteligentemente como un humano; 4) aprender activamente y adaptarse como humano; 5) procesar lenguajes y símbolos; y 6) realizar una acción general inteligente [60].

Las técnicas de inteligencia artificial prometen soluciones efectivas a varios problemas del mundo real debido a su habilidad para emular procesos inteligentes, en oposición a las técnicas tradicionales, mediante la integración de la inteligencia en los sistemas informáticos [61]. Al aplicar la inteligencia artificial a la conectividad del IoT, las máquinas pueden autorregularse y tomar decisiones que aumenten la productividad de la fábrica sin necesidad del componente humano, haciendo los procesos de producción más autónomos, eficientes y personalizados [62].

Varias disciplinas de la AI pueden ser utilizadas en la industria de la confección, destacando el sistema experto (ES), las redes neuronales (NN), sistemas de lógica difusa (FL), el algoritmo genético (GA), la estrategia de evolución (ES), el sistema inmune artificial (AIS) y el sistema multiagente (MAS) [63], [64]. Debido a su naturaleza robusta y adoptiva, las redes neuronales artificiales (ANNs) y la lógica difusa han sido utilizadas ampliamente en la fabricación de prendas de vestir, aplicadas en todo el proceso de fabricación, desde el diseño de patrones, el corte, la costura, el manejo y distribución de materiales, hasta la planificación y control de producción, la gestión de la cadena de suministro (SCM) y el comercio minorista [63], [64]. Otra aplicación importante involucra el control de calidad a partir de la verificación de la calidad de la tela antes de fabricar la prenda. Por lo general, esta tarea es realizada manualmente a partir de la visualización humana realizada por expertos, lo que hace que sea un proceso tedioso, lento y con un nivel de rendimiento y precisión bajo [65]. Actualmente, se ha optado por el uso de máquinas automatizadas basadas en sistemas de redes adaptativas y neuronales, que proporcionan resultados consistentes y precisos en un tiempo corto y disminuyen los errores por inspección visual humana provocados por fatiga, falta de concentración o por subjetividad [63], [65], [66].

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3071>

Las primeras empresas de la industria de la moda en adoptar esta tecnología han centrado sus esfuerzos en algunos elementos de la cadena de valor, siendo el más significativo el pronóstico de la demanda, la automatización de las operaciones, mejoras en la calidad, aumento de la producción, reducción de costos operativos, optimización del sistema de producción a través del control interno, mantenimiento predictivo y mejora de la gestión de calidad, lo que lleva a una respuesta rápida y el concepto justo a tiempo [6], [64], [67]. No obstante, su uso se encuentra limitado por las cuestiones éticas, reglamentarias, legales y económicas que implican la adopción de esta medida; así mismo, la especificidad del software, los altos costos y la ciberseguridad son otros factores críticos, si se compara con la disponibilidad de mano de obra barata, principalmente en los países en desarrollo [64].

La investigación y los desarrollos futuros frente a esta tecnología deben darse en torno a la *Internet industrial*, de manera que se establezcan sistemas inteligentes aplicables a las industrias manufactureras, en especial la de confección. Para lograrlo, se debe apuntar a avances convergentes a través de tres habilitadores: poder de cómputo, datos de entrenamiento y algoritmos de aprendizaje, lo cual se evidenciaría en mejoras en el método de recopilación de datos, mejoras en los procesos de extracción de características antes de que los datos se puedan enviar, mejoras en la capacidad de predicción de ANN mediante extrapolación del sistema y perfeccionamientos en la interacción hombre-máquina durante las aplicaciones de ANN [6], [64].

Se espera que la adopción de la AI permita el aumento de la productividad en un 30% y la disminución de los costos laborales entre un 18% y 33% para el 2030, logrando la perfección de la fabricación hasta en el más mínimo detalle [6]. Las empresas también podrían aprovechar la AI para procesar las preferencias de los clientes en tiempo real, a fin de escalar rápidamente los productos y servicios personalizados, a

medida que los consumidores se vuelven agnósticos de la marca y más dispuestos a pagar por las ofertas hiperpersonalizadas [6].

3. CONCLUSIONES

El futuro de la industria de la confección y la moda no está enfocado solo en la personalización en el diseño de ropa, sino también en la conectividad de servicios digitales inteligentes. Así, las tecnologías más necesarias en los próximos años serán todas las relacionadas con la gestión, manipulación y análisis de los datos digitales y su aplicación al diseño de la experiencia de usuario.

La Industria 4.0 propone la adopción de TIC avanzadas que entrelacen procesos físicos y digitales, de tal manera que combinen sensores inteligentes, inteligencia artificial y análisis de datos para mejorar la eficiencia y la competencia en la fabricación. El uso de tecnologías actuales como Big Data o Cloud impulsa el potencial de la Industria 4.0, considerando que los dispositivos y productos conectados brindan la oportunidad de optimizar las operaciones frente a una cadena de suministro más compleja, canales digitales cada vez más importantes y un cliente más exigente, así proporciona un valor agregado a diversos productos y sistemas al aplicar tecnologías de vanguardia a los productos tradicionales en la fabricación y los servicios. Hoy en día, la falta de herramientas o plataformas tecnológicas poderosas representa un obstáculo importante para explotar todo el potencial de la Industria 4.0, pero se espera que los beneficios demostrables de las nuevas tecnologías conduzcan a su mayor adopción y al impulso de la innovación y nuevas oportunidades de crecimiento digital.

Para el 2025, la industria textil y de la confección será un sector estratégico que proporcionará productos innovadores y competitivos, la digitalización y las nuevas tecnologías de fabricación se convertirán como en normas en las fábricas, lo que permitirá lo-

grar soluciones personalizadas, adaptables y atractivas, integrando servicios para consumidores muy diversos, informados y exigentes.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

REFERENCIAS

- [1] M. A. K. Bahrin, M. F. Othman, N. H. N. Azli, and M. F. Talib, "Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic", *Jurnal Teknologi*, vol. 78, no. 6-13, pp. 137-143, 2016. doi: 10.11113/jt.v78.9285
- [2] V. Roblek, M. Meško, and A. Krapež, "A Complex View of Industry 4.0", *SAGE Open*, vol. 6, no. 2, 2016. doi: 10.1177/2158244016653987
- [3] L. Da Xu, E. L. Xu, and L. Li, "Industry 4.0: state of the art and future trends", *International Journal of Production Research*, vol. 7543, no. 8, pp. 1-22, 2018. doi: 10.1080/00207543.2018.1444806
- [4] R. Y. Zhong, X. Xu, E. Klotz, and S. T. Newman, "Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review", *Engineering*, vol. 3, no. 5, pp. 616-630, 2017. doi: 10.1016/J.ENG.2017.05.015
- [5] R. Schmidt, M. Michael, H. Ralf-christian, C. Reichstein, P. Neumaier, and P. Jozinovi, "Industry 4.0-Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results", vol. 2, pp. 16-27, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-19027-3_2
- [6] World Economic Forum, "Technology and Innovation for the Future of Production: Accelerating Value Creation", 2017. Available: http://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Technology_Innovation_Future_of_Production_2017.pdf
- [7] J. W. Rittinghouse, and J. F. Ransome, *Cloud Computing. Implementation, Management, and Security*, Taylor & Frandis Group, 2009.
- [8] I. A. T. Hashem, I. Yaqoob, N. B. Anuar, S. Mokhtar, A. Gani, and S. Ullah Khan, "The rise of "big data" on cloud computing: Review and open research issues», *Information Systems*, vol. 47, pp. 98-115, 2015. doi: 10.1016/j.is.2014.07.006
- [9] P. Mell, and T. Grance, "The NIST Definition of Cloud Computing", *National Institute of Standards and Technology*, 2011. Available: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>
- [10] A. Huth, and J. Cebula, "The Basics of Cloud Computing", *United States Computer Emergency Readiness Team*, 2011. Available: <https://www.us-cert.gov/sites/default/files/publications/CloudComputingHuthCebula.pdf>
- [11] A. K. Damodaram, and K. Ravindranath, "Cloud Computing for Managing Apparel and Garment Supply Chains-an Empirical study of Implementation Frame Work", *International Journal of Computer Science Issues*, vol. 7, no. 6, pp. 325-336, 2010. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/38fe/2601ca36e41616a1f4c-447b84a055279f984.pdf>
- [12] S. Subashini, and V. Kavitha, "A survey on security issues in service delivery models of cloud computing", *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 34, no. 1, pp. 1-11, 2011. doi: 10.1016/j.jnca.2010.07.006

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3071>

- [13] Q. Zhang, L. Cheng, and R. Boutaba, "Cloud computing: State-of-the-art and research challenges", *Journal of Internet Services and Applications*, vol. 1, no. 1, pp. 7-18, 2010. doi: 10.1007/s13174-010-0007-6
- [14] R. Nayak y R. Padhye, "Introduction: the Apparel Industry", In *Garment Manufacturing Technology*, R. Nayak y R. Padhye, Eds. Woodhead Publishing Series in Textiles, 2015, pp. 1-15.
- [15] S. Liu, F. T. S. Chan, J. Yang, and B. Niu, «Understanding the effect of cloud computing on organizational agility: An empirical examination», *International Journal of Information Management*, vol. 43, pp. 98-111, 2018. doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2018.07.010
- [16] H. Liu, S. Wei, W. Ke, K. K. Wei, and Z. Hua, "The configuration between supply chain integration and information technology competency: A resource orchestration perspective", *Journal of Operations Management*, vol. 44, pp. 13-29, 2016. doi: 10.1016/j.jom.2016.03.009
- [17] Gartner, (2018, September 12) "Gartner Forecasts Worldwide Public Cloud Revenue to Grow 17.3 Percent in 2019, 2018. [Online]. Available: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-09-12-gartner-forecasts-worldwide-public-cloud-revenue-to-grow-17-percent-in-2019>. [Accedido: 28-oct-2018].
- [18] Y. Jadeja, and K. Modi, "Cloud computing - Concepts, architecture and challenges", In *Conf. Comput. Electron. Electr. Technol. ICCEET 2012*, no March 2012, pp. 877-880, 2012. doi: 10.1109/ICCEET.2012.6203873
- [19] A. Botta, W. De Donato, V. Persico, and A. Pescapé, "Integration of Cloud computing and Internet of Things: A survey", *Future Generation Computer Systems*, vol. 56, pp. 684-700, 2016. doi: 10.1016/j.future.2015.09.021
- [20] M. A. A. Majeed and T. D. Rupasinghe, "Internet of things (IoT) embedded future supply chains for industry 4.0: An assessment from an ERP-based fashion apparel and footwear industry", *International Journal of Supply Chain Management*, vol. 6, no. 1, pp. 25-40, 2017. Available: <https://ojs.excelingtech.co.uk/index.php/IJSCM/article/view/1395>
- [21] H. D. Ma, "Internet of things: Objectives and scientific challenges" *Journal of Computer Science and Technology*, vol. 26, no 6, pp. 919-924, 2011. doi: 10.1007/s11390-011-1189-5
- [22] L. W. F. Chaves y Z. Nochta, "Breakthrough Towards the Internet of Things", In *Unique Radio Innovation for the 21st Century*, D. C. Ranasinghe, Q. Z. Sheng, y S. Zeadally, Eds. Springer, pp. 25-38, 2010.
- [23] J. Gregory, "The Internet of Things: Revolutionizing the Retail Industry", 2015. Available: *The Internet of Things: Revolutionizing the Retail Industry*
- [24] E. Papahristou, P. Kyratsis, G. Priniotakis, and N. Bilalis, "The interconnected fashion industry - An integrated vision", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 254, no. 17, 2017. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/254/17/172020/pdf>
- [25] F. J. Riggins, and S. F. Wamba, "Research directions on the adoption, usage, and impact of the Internet of things through the use of big data analytics", In *Hawaii International Conference on System Science*, 2015, pp. 1531-1540. doi:10.1109/hicss.2015.186
- [26] H. J. Watson, "The Requirements for Being an Analytics- Based Organization", *Business Intelligence Journal*, vol. 17, no. 2, pp. 4-6, 2011.

- [27] D. Uckelmann, M. Harrison, and F. Michahelles, *Architecting the Internet of Things*, First Edit. Springer, 2011.
- [28] E. W. T. Ngai, D. C. K. Chau, J. K. L. Poon, A. Y. M. Chan, B. C. M. Chan, and W. W. S. Wu, "Implementing an RFID-based manufacturing process management system : Lessons learned and success factors", *Journal of Engineering and Technology Management*, vol. 29, no. 1, pp. 112-130, 2012. doi: 10.1016/j.jengtecman.2011.09.009
- [29] H.-L. Chan, "Using radiofrequency identification (RFID) technologies to improve decision-making in apparel supply chains", In *Information Systems for the Fashion and Apparel Industry*, Number 179., T.-M. Choi, Ed. Woodhead Publishing Series in Textiles, 2016.
- [30] R. Nayak, A. Singh, R. Padhye, and L. Wang, "RFID in textile and clothing manufacturing: technology and challenges", *Fashion and Textiles*, vol. 2, no. 9, pp. 1-16, 2015. doi: 10.1186/s40691-015-0034-9
- [31] W. K. Wong, and Z. X. Guo, "The role of radio frequency identification (RFID) technologies in the textiles and fashion supply chain: an overview", In *Fashion supply chain management using radio frequency identification (RFID) technologies*, Woodhead Publishing Limited and The Textile Institute, 2014, pp. 1-12.
- [32] A. Dolgui, and J.-M. Proth, "Radio-frequency Identification (RFID): Technology and Applications", In *Supply Chain Engineering*, Springer- Verlag London, 2010, pp. 163-192.
- [33] S. G. Azevedo, P. Prata, and P. Fazendeiro, "The role of radio frequency identification (RFID) technologies in improving process management and product tracking in the textiles and fashion supply chain", In *Fashion supply chain management using radio frequency identification (RFID) technologies*, W. K. Wong y Z. X. Guo, Eds. Woodhead Publishing, 2014.
- [34] D. Zhang, H. Huang, and M. Jo, "Future RFID technology and applications: visions and challenges", *Telecommunication Systems*, vol. 58, no. 3, pp. 193-194, 2015. doi: 10.1007/s11235-014-9865-8
- [35] A. Ustundag, A. Ustundag, and M. Bal, "Economic Potential of RFID Use in Apparel Retail Industry", In *The Value of RFID: Benefits vs. Costs*, A. Ustundag, Ed. Springer- Verlag, 2013, pp. 129-139.
- [36] E. Perin, "VGB Group to Deploy RFID at Its 120 Siberian and Crawford". [Online]. Available: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?9432>.
- [37] J. Al-kassab, P. Blome, G. Wolfram, y F. Thiesse, "RFID in the Apparel Retail Industry: A Case Study from Galeria Kaufhof", In *Unique Radio Innovation for the 21st Century*, D. C. Ranasinghe, Q. Z. Sheng, y S. Zeadally, Eds. Springer- Verlag Berlin Heidelberg, 2010, pp. 281-308.
- [38] L. Sparks, "RFID: transforming technology?", In *Logistics and retail management: emerging issues and new challenges in the retail supply chain*, Third edit., J. Fernie y L. Sparks, Eds. 2009, pp. 233-252.
- [39] E. Legnani, S. Cavalieri, R. Pinto, and S. Dotti, "The Potential of RFID Technology in the Textile and Clothing Industry: Opportunities, Requirements and Challenges", In *Unique Radio Innovation for the 21st Century*, D. C. Ranasinghe, Q. Z. Sheng, y S. Zeadally, Eds. Springer Science & Business Media, 2010, pp. 309-329.
- [40] X. Su, "Introduction to Big Data", IFUD1123, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3071>

- [41] M. Chen, S. Mao, and Y. Liu, "Big Data: A survey", *Mobile Networks and Applications*, vol. 19, pp. 171-209, 2014. doi: 10.1007/s11036-013-0489-0
- [42] J. Manyika et al., "Big Data: The next frontier for innovation, competition, and productivity", *McKinsey Global Institute*, 2011. Available: https://big-data.wg.nist.gov/pdf/MGI_big_data_full_report.pdf
- [43] T. S. Latinovi, D. M. Preradovi, A. D. Marques, G. Guedes, and F. Ferreira, "Big Data in fashion industry", In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017.
- [44] E. Aktas, and Y. Meng, "An Exploration of Big Data Practices in Retail Sector", *Logistics*, vol. 1, no. 12, p. 28, 2017. doi:10.3390/logistics1020012
- [45] V. Rajaraman, "Big Data Analytics", *Resonance*, vol. 21, no. 8, pp. 695-716, 2016. doi: 10.1007/s12045-016-0376-7
- [46] J. Gantz, and D. Reinsel, "The Digital Universe in 2020: Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East – Western Europe", 2013. Available: <https://www.emc.com/collateral/analyst-reports/idc-digital-universe-western-europe.pdf>
- [47] A. Oussous, F. Benjelloun, A. Ait, and S. Belfkih, "Big Data technologies: A survey", *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, vol. 30, no. 4, pp. 431-448. doi: 10.1016/j.jksuci.2017.06.001
- [48] M. A. Khan, M. F. Uddin, and N. Gupta, "Seven V's of Big Data. Understanding Big Data to extract Value", In *Conference of the American Society for Engineering Education (ASEE Zone 1)*, 2014.
- [49] B. Davis, "The 7 pillars of Big Data", *Petroleum Review*, pp. 34-42, 2015. Available: https://www.landmark.solutions/Portals/0/LMSDocs/Whitepapers/The_7_pillars_of_Big_Data_Whitepaper.pdf
- [50] C. Yang, Q. Huang, Z. Li, K. Liu, and F. Hu, "Big Data and cloud computing: innovation opportunities and challenges", *International Journal of Digital Earth*, vol. 10, no. 1, pp. 13-53, 2017. doi: 10.1080/17538947.2016.1239771
- [51] V. Mayer-Schönberger, and K. Cukier, *Big Data: a revolution that will transform how we live, work, and think*. Houghton Mifflin Harcourt, 2013.
- [52] L. Joyanes, *Big Data, Análisis de grandes volúmenes de datos en organizaciones*, Primera ed. Mexico: Afaomega Grupo Editor, 2013.
- [53] J.-F. Valls, *Big Data: atrapando al consumidor*. Barcelona: Profit Editorial, 2017.
- [54] B. Marr, «Forbes», *Big Data: A Game Changer In The Retail Sector*, 2015. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2015/11/10/big-data-a-game-changer-in-the-retail-sector/#5272baea9f37>.
- [55] C. L. Philip Chen, and C. Y. Zhang, "Data-intensive applications, challenges, techniques and technologies: A survey on Big Data", *Information Sciences*, vol. 275, pp. 314-347, 2014. doi: 10.1016/j.ins.2014.01.015
- [56] B. Marr, "RALPH LAUREN. Big Data In The Fashion Industry", In *Big Data in Practice: How 45 Successful Companies Used Big Data Analytics to Deliver Extraordinary Results*, Wiley, 2016, pp. 195-198.

- [57] Data Driven Investor, "Data Driven Investor", How the Fashion Industry Is Using Data Science, 2018. [Online].
- [58] C. S. Ishikiriya and C. F. Gomes, "Big Data: A Global Overview", In *Big Data for the Greater Good*, A. Emrouznejad and V. Charles, Eds. Springer International Publishing, 2019, pp. 35-50.
- [59] B. M. Félix, E. Tavares, and N. W. F. Cavalcante, "Critical success factors for Big Data adoption in the virtual retail: Magazine Luiza case study Bruno", *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*, vol. 20, no. 1, pp. 112-126, 2018. doi: 10.7819/rbgn.v20i1.3627
- [60] W. K. Wong and Z. X. Guo, "Fundamentals of artificial intelligence techniques for apparel management applications", In *Optimizing decision making in the apparel supply chain using artificial intelligence (AI)*, Woodhead Publishing Limited, 2013.
- [61] W. K. Wong, Z. X. Guo, and S. Y. S. Leung, *Optimizing decision making in the apparel supply chain using artificial intelligence (AI)*. Woodhead Publishing in association with The Textile Institute, 2013.
- [62] ANDI, Innpulsa, y VTSAS, "Cierre de brechas de innovación y tecnología". Medellín, Colombia, p. 853, 2018. <http://www.andi.com.co/Uploads/Estudio%20Cierre%20de%20Brechas%20Innovacion%20y%20Tecnologia-ilovepdf-compressed.pdf>
- [63] E. W. T. Ngai, S. Peng, P. Alexander, and K. K. L. Moon, "Decision support and intelligent systems in the textile and apparel supply chain: An academic review of research articles", *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 1, pp. 81-91, 2014. doi: 10.1016/j.eswa.2013.07.013
- [64] R. Nayak y R. Padhye, "Artificial intelligence and its application in the apparel industry", In *Automation in Garment Manufacturing*, R. Nayak and R. Padhye, Eds. Woodhead Publishing, 2018, pp. 109-133.
- [65] A. Vijayan y A. Jadhav, "Fabric sourcing and selection", In *Garment Manufacturing Technology*, R.

Reacciones químicas de los azúcares simples empleados en la industria alimentaria

Chemical reactions of sugars in the food industry

Sebastián Arias Giraldo*
Diana M. López Velasco**

(Recibido el 04-02-2019. Aprobado el 30-05-2019)

Estilo de citación de artículo:

S. Arias Giraldo, y D. M. López Velasco, "Reacciones químicas de los azúcares simples empleados en la industria alimentaria", *Lámpsakos*, (22), pp. 123-136 (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3252

Resumen

Hoy en día, la demanda de los consumidores por productos saludables conlleva a la industria alimentaria a realizar investigaciones sobre las diferentes reacciones químicas de diversos macronutrientes como azúcares, polisacáridos, proteínas y lípidos con el fin de comprender su interacción con otros componentes presentes en las matrices alimentarias, encontrar estrategias para reducir la aparición de compuestos tóxicos, garantizar la seguridad alimentaria en los alimentos procesados térmicamente y formular nuevos productos con características de mayor valor. El presente artículo expone las reacciones químicas que presentan los carbohidratos simples, considerando los mecanismos químicos involucrados, el tipo de compuestos generados, la importancia de estos compuestos en la industria de alimentos y algunos efectos, tanto favorables como desfavorables, de dichas reacciones.

Palabras clave: Alcalinidad; Carbohidratos; Compuesto químico; Monosacáridos; Nutrición; Pardeamiento; Procesamiento de alimentos; Propiedades químicas; Química orgánica; Tecnología alimentaria.

* MSc. Ingeniería de Alimentos, docente investigador, Universidad Católica Luis Amigó. Integrante del grupo de investigación Goras, Medellín, Colombia. Contacto: sebastian.arias-gi@amigo.edu.co, ORCID: 0000-0002-7612-6756.

** Ingeniera de alimentos, estudiante de maestría en Ingeniería de Alimentos, Universidad de Caldas. Integrante del grupo de investigación Alimentos y Agroindustria, Manizales, Colombia. ORCID: 0000-0002-6487-0721. Contacto: diana.marcela.lopez.velasco@gmail.com

Abstract

Today, consumer demand for healthy products leads the food industry to conduct research on the different chemical reactions of various macronutrients, such as sugars, polysaccharides, proteins and lipids. This, in order to understand their interaction with other components present in food matrices, find strategies to reduce the appearance of toxic compounds, ensure food safety in heat-processed foods and formulate new products with higher-value characteristics. This article presents the chemical reactions of simple carbohydrates, considering the chemical mechanism involved, the type of compounds generated, the importance of these compounds in the food industry and some effects, both favorable and unfavorable, of such reactions.

Keywords: Alkalinity Carbohydrates; Chemical compound; Monosaccharides; Nutrition; Browning; Food processing; Chemical properties; Organic chemistry; Food technology.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3252>

1. INTRODUCCIÓN

Los carbohidratos son macromoléculas presentes en la mayoría de los alimentos para consumo humano, conformados por carbono, hidrógeno y oxígeno fundamentalmente, y que desde el punto de vista químico se caracterizan como polihidroxialdehidos y polihidroxicetonas. Estos compuestos se clasifican según el número de unidades constitutivas dentro de su estructura en: monosacáridos (1), disacáridos (2), oligosacáridos (entre 3 y 10) y polisacáridos (más de 10) [1]. Los carbohidratos desempeñan varios papeles en los alimentos, como se describe ampliamente [2], [3].

Los monosacáridos son carbohidratos que no pueden descomponerse por hidrólisis en moléculas de carbohidratos más simples (más pequeñas) [4]. Al igual que los disacáridos, en ocasiones, son llamados azúcares o carbohidratos simples, y presentan una serie de propiedades funcionales de gran interés desde el punto de vista nutritivo y tecnológico: aporte energético, poder edulcorante, efecto conservante, capacidad de cristalización e hidratación. A nivel industrial, estos compuestos generan modificaciones sobre algunas propiedades intrínsecas de los alimentos; tanto desde la perspectiva fisicoquímica, con la disminución de actividad de agua (a_w) y la aparición de sustancias con potencial antioxidante, como del aspecto sensorial, destacándose la mejoría del color, sabor y aroma [5], [6]. Todos estos cambios, controlados bajo parámetros estandarizados, dependen de reacciones químicas básicas entre las cuales se destacan las ocasionadas por medios alcalinos o ácidos y las favorecidas por altas temperaturas [5].

Un atributo esencial de los alimentos, considerado como criterio de decisión y selección por parte de los consumidores, es la apariencia global. A su vez, esta se relaciona con aspectos como color, brillo, opacidad, forma y tamaño [7]. Los azúcares tienen la capacidad de participar en reacciones químicas que promueven la aparición de tonalidades pardas o cafés (pardeamiento); de gran interés específico para la industria de dulcería, lácteos y panificación [8]. De otro lado, los fabri-

cantes de alimentos se enfrentan al desafío de reducir el contenido general de azúcar al menos un 20% para 2020 en una gama de categorías de productos [9].

En el presente trabajo se realizó una revisión bibliográfica sobre las reacciones básicas de los azúcares, con énfasis en la industria de alimentos. Se consideraron los mecanismos de transformación de las propiedades de las materias primas; sumados a sus efectos, positivos o negativos, sobre la calidad de las matrices alimentarias finales.

Reacciones en las cuales participan los monosacáridos

Los monosacáridos tienen un grupo aldehído o una cetona, e hidroxilos. Los cambios químicos a los que están sujetos se relacionan con las transformaciones de estos grupos funcionales: se ven afectados por ácidos, álcalis, altas temperaturas y agentes oxido-reductores que provocan su ciclación, isomerización, enolización, deshidratación, oxidación y/o reducción [5].

Las reacciones de oscurecimiento o pardeamiento, de naturaleza no enzimática, corresponden a algunos de los más importantes fenómenos ocurridos en el procesamiento y almacenamiento de los alimentos, dadas sus implicaciones directas sobre la calidad nutricional, fisicoquímica y organoléptica de la matriz. Además, representan una interesante área de investigación en la tecnología y estabilidad de los alimentos, así como en nutrición y salud [6], [10].

Reacción por álcali

Los monosacáridos, tanto aldosas como cetosas, se enolizan en presencia de bases. La reacción de enolización consiste en la formación de un doble enlace carbono-carbono sobre el grupo funcional principal del azúcar (aldehído o cetona) en el cual, como mínimo, uno de los dos átomos de carbono debe presentar una unión con un grupo hidroxilo. Estas estructuras son altamente reductoras e inestables, dan lugar a la aparición de isómeros del monómero [11], [12], [13]. Debido a que las reacciones con álcali ocurren simul-

táneamente con la reacción de Maillard, y los isómeros resultantes participan posteriormente en la reacción principal de Maillard, esta última tiende a complejizarse en medio básico [14].

El alto poder reductor de los enoles generados por los monosacáridos se aprovecha para la cuantificación de azúcares reductores en metodologías analíticas, en las cuales los enoles reducen el ión cúprico a cuproso y exhiben un cambio de coloración de las soluciones a tonalidades rojas. Dentro de estas técnicas se encuentran el método de Fehling (cobre-tartrato) y la prueba de *Benedict* (cobre-citrato) [15].

El espectro de productos primarios obtenidos mediante la reacción de un monosacárido en medio alcalino es bastante amplio, lo que da lugar a compuestos altamente reactivos que pueden formar un gran número de moléculas secundarias susceptibles de polimerización [1]. Algunos compuestos de interés son los ácidos: láctico, propiónico, pirúvico y glucónico [5].

La pérdida de asimetría del carbono C2 en la forma dienónica provoca que la D-glucosa pueda sufrir las reacciones directa e inversa, de modo que se produce una mezcla de D-glucosa y su epímero en C2, D-manosa. Si el par de electrones del doble enlace del enodiol migran hacia el lado derecho en la cadena, el resultado es la aparición de D-fructosa, a partir tanto de D-glucosa como de D-manosa [16]. La cantidad y tipo de isómeros formados durante este cambio químico, llamado transposición de Lobry de Bruyn-Van Ekenstein (Fig. 1), es función del azúcar de partida, del pH del medio y de la presencia de oxidantes [1], [10].

En soluciones alcalinas débiles, del orden de concentración de 0,05 N y a 35°C, la glucosa pasa a un 1,2-endiol común y se tautomeriza posteriormente hasta la coexistencia en equilibrio de los azúcares D-glucosa (69%), D-fructosa (30%) y D-manosa (1%) [18]. Este fenómeno se observa claramente en la Fig. 2.

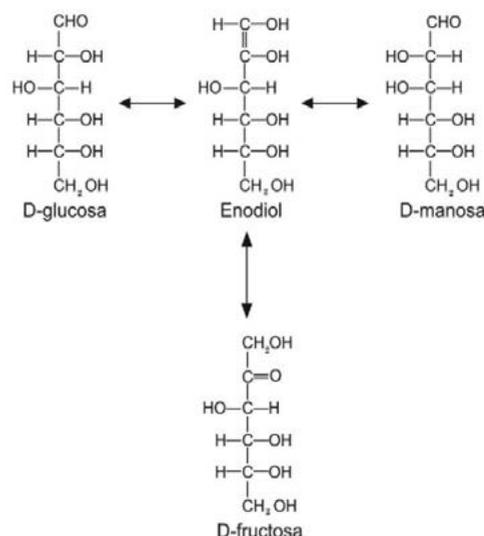


Fig. 1: Transformación de Lobry de Bruyn-Alberda van Eckenstein [17]

A medida que aumenta la concentración del álcali, y con la presencia de oxígeno y Cu^{+2} como agente oxidante, la reacción continúa fragmentando la molécula a través de los dobles enlaces establecidos por los átomos de carbono, formando aldehídos, monosacáridos más simples y ácidos carboxílicos, según la estructura inicial del azúcar involucrado [1].

Reacción por ácido

En comparación con el proceso en medio básico, la enolización e isomerización de los monosacáridos, en condiciones ácidas, acontece bajo una cinética más lenta. Las reacciones por calentamiento a bajos valores de pH, caracterizadas por la presencia de ácidos inorgánicos, conllevan a la deshidratación de las moléculas de azúcar, formándose compuestos cíclicos responsables de oscurecimiento no enzimático. La reactividad de las 2-cetosos es mayor en comparación con las aldosas [1]. Las hexosas generan el 5-hidroxi-2-furfural (HMF), mientras que las pentosas producen el 2-furfuraldehído, se eliminan 3 moléculas de agua en cada caso (Fig. 3) [17].

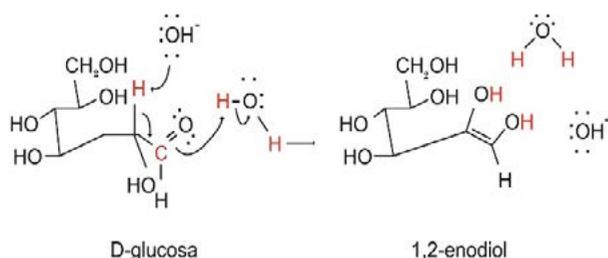
DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3252>

Fig. 2. Formación de un enediol a partir de la D-glucosa [18].

El HMF se deriva de la enolización 1,2, la deshidratación, las reacciones con hexosas y la degradación de los productos de Amadori durante la reacción de Maillard. Si bien se favorece por condiciones ácidas (incluso a bajas temperaturas), la pirólisis de azúcar (caramelización) también explica la formación de HMF [19].

Posteriormente, se produce un reordenamiento y una polimerización de estas sustancias que dan lugar a pigmentaciones oscuras [8], [20]. Industrialmente, este mecanismo se utiliza para la fabricación de furfural a partir de residuos de caña y maíz, los cuales contienen una alta concentración de pentosas [5]. Los compuestos intermedios de esta reacción, que contienen un grupo carbonílico en la vecindad del enediol, se conocen en conjunto como reductonas y se caracterizan por su alto poder reductor en medio ácido, incluso a bajas temperaturas. Las estructuras formadas de este modo actúan como antioxidantes [1], [8].

En un estudio realizado por [21], se monitoreó el desarrollo de pardeamiento no enzimático en sistemas unidos a sacarosa, durante la liofilización y el almacenamiento a temperatura ambiente. La hidrólisis del disacárido, hasta glucosa y fructosa, ocurre después del estado de sublimación de la operación. El incremento de la producción de HMF, medido por absorbancia a 280nm, fue evidenciado al final del proceso de liofilización en muestras con actividad de agua entre 0 y 0,4.

El aumento de humedad, a una a_w mínima durante la liofilización, fue un claro indicador de que el agua es producida en el pardeamiento. Además, tras la producción de HMF, se desarrolla un color café intenso. La re-

acción de pardeamiento fue atribuida al incremento en la concentración del ión hidrógeno, acelerándose con el paso de la interfaz de hielo hacia el estado vapor. [21], [22] concluyen acerca de la necesidad de almacenamiento riguroso para alimentos que contengan alta concentración de ácido y azúcares, como los vegetales, frutas y hongos comestibles [21].

En [23] encontraron que el HMF, siendo el derivado del furfural más común en los alimentos, presenta actividad citotóxica, genotóxica y tumoral; razón que destaca la importancia del control estricto de su formación durante el procesamiento de alimentos a altas temperaturas y en medios marcadamente ácidos. Por ejemplo, se conoce el caso de la cocción del mosto de uvas, zumo de naranja y de otros jugos de frutas, productos en los cuales su presencia se utiliza como un indicador indeseable de calidad [10], [20].

En ácidos diluidos, se presenta la formación de glicósidos, a partir de los enlaces intermoleculares de los azúcares más sencillos. En el caso de la glucosa, se evidencia la formación de todos los disacáridos y algunos oligosacáridos, siendo los principales isomaltosa y gentobiosa [1], [5], [24].

Reacciones en las que participan los mono y disacáridos

Reacciones por altas temperaturas

Las reacciones de los monosacáridos, tanto en medio básico como ácido, se ven catalizadas por las altas temperaturas. Encuentran su máxima velocidad a pH neutro, para el caso de la caramelización [5]. El efecto de la temperatura sobre este fenómeno se puede explicar por medio de un modelo matemático de tipo Arrhenius. Específicamente para los zumos de fruta sometidos a evaporación, estas reacciones dependen estrechamente de la cantidad de sólidos solubles contenidos en el producto [25].

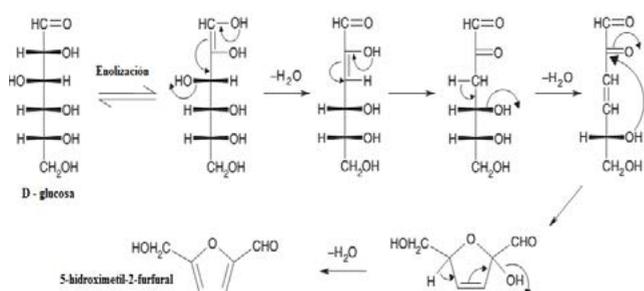


Fig. 3: Formación del 5-hidroxi-metil-2-furfural a partir de una aldohexosa (D-glucosa) en medio ácido [1]

En el caso de los disacáridos, la reacción por álcali participa en la transformación de aldosas en cetosas. Por ejemplo, la lactosa puede convertirse en lactulosa por acción combinada con altas temperaturas, siendo llevada la glucosa hasta fructosa. Este compuesto resultante muestra una actividad positiva sobre la microbiota intestinal humana y fortalece de este modo la dinámica digestiva con efecto bifido [5].

El efecto tecnológico y sinérgico de la temperatura y los azúcares también se relaciona estrechamente con la presencia de agua en los alimentos, puesto que la formación de especies furfural es desfavorable cuando la matriz presenta un contenido considerable de agua, y se torna favorable en condiciones de deshidratación y baja humedad. En [20] recomiendan que, para favorecer el pardeamiento de algunos productos de interés, se inicie la cocción de las materias primas a temperaturas relativamente altas (85–95°C), manteniendo posteriormente la temperatura del proceso en rangos más bajos (65–75°C). Debido a que en el estadio inicial de la operación acontece una evaporación del agua, se evidencia una concentración de solutos azucarados. Estos, posteriormente, pueden dar lugar a reacciones de pardeamiento más aceleradas y eficaces.

Pardeamiento no enzimático

El pardeamiento no enzimático se atribuye a una serie de reacciones químicas, importantes en el procesamiento y almacenamiento de alimentos. En esta categoría se incluyen la reacción de Maillard, la pirólisis de

azúcar (caramelización), la degradación del ácido ascórbico, la oxidación y la condensación de compuestos fenólicos [26].

El oscurecimiento, encafecimiento o pardeamiento es un fenómeno que promueve la aparición de colores entre amarillo y café oscuro, y que ocurre tradicionalmente durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos, representa un área de gran interés en la investigación básica y aplicada; considerando la evaluación de sus implicaciones sobre la estabilidad, calidad sensorial, valor nutritivo y funcionalidad de los productos alimenticios. Los mecanismos de pardeamiento se pueden clasificar como enzimáticos o no enzimáticos, estos últimos únicamente se relacionan con sucesiones de reacciones químicas que promueven la formación de compuestos derivados del furfural y complejos poliméricos llamados melanoidinas [27]. En el caso del pardeamiento enzimático, la acción sobre el color del alimento se debe a la presencia de la polifenoloxidasas, mientras que durante el proceso de naturaleza no enzimática se destacan las reacciones de caramelización de Maillard y de oxidación del ácido ascórbico [5], [11], [28].

La reacción de Maillard se asocia con una alta capacidad antioxidante dada por la formación de las melanoidinas, que actúan básicamente como quelantes y eliminadoras de radicales peróxidos e hidroxilos, y que confieren además tonalidades cafés en productos como pasta y puré de tomate [5], [11], pan [29] y vino blanco [30]. En contraste con lo anterior, la oxidación enzimática de los polifenoles se identifica como responsable por la pérdida parcial de la actividad antioxidante (ORAC) de algunos productos alimenticios [31].

En la Tabla 1 se muestran las características de las reacciones de oscurecimiento en alimentos. El pardeamiento en este tipo de matrices depende básicamente de su composición, del pH, la actividad de agua y la temperatura, y de la presencia de otras sustancias en disolución [24], [25], [31].

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3252>

Caramelización

La caramelización, también llamada pirólisis, ocurre cuando se alcanza y sobrepasa el punto de fusión de un carbohidrato sencillo (mono o disacárido) o cuando se calienta un jarabe de azúcar en presencia de catalizadores ácidos o básicos, siempre en ausencia de grupos amino. A lo largo de este proceso, se conduce a la formación de compuestos de color pardo con aroma típico a caramelo [18], [28]. El color caramelo se produce en un proceso de cocción controlado, de tal manera que se calientan los carbohidratos de grado alimenticio a varias temperaturas y presiones, con diferentes reactivos (Ej., ácidos, álcalis, compuestos que contienen sulfito, compuestos que contienen amonio) para ayudar al proceso de caramelización y producir una mayor intensidad de color [32], [33]. Este fenómeno requiere temperaturas superiores a 120°C y pH ácido (inferior a 3) o alcalino (superiores a 9), y se acelera con la adición de ácidos carboxílicos y algunas sales, sin la intervención de proteínas, aminoácidos ni otros compuestos con grupo amino [34]. Se presenta en alimentos tratados térmicamente de manera drástica, tales como derivados de panificación, frituras y dulces a base de leche [5], [12].

Cuando se trata de disacáridos, existe una hidrólisis previa que produce los correspondientes monosacáridos y estos se transforman en enoles. Seguidamente, aparece una deshidratación del enol que produce derivados furánicos que se polimerizan y dan lugar a pigmentos macromoleculares de tonalidad oscura llamados melanoidinas [8], [34].

La caramelización puede orientarse bien hacia la formación de aroma o hacia la aparición de color, según sean las necesidades del proceso y las características deseables en el producto. Por ejemplo, el calentamiento de jarabes de sacarosa en una solución tamponada produce una fuerte fragmentación y, consecuentemente, una mayor producción de compuestos aromáticos, como furanonas, ciclopentenolona, ciclohexenolona, lactonas, pironas, ésteres y pirazinas. Tal es el caso de

la producción de azúcar refinado y productos de confitería [28]. Por otra parte, un jarabe de glucosa con ácido sulfúrico, en presencia de amoníaco, conduce a la formación de compuestos polimerizados intensamente coloreados cuya solubilidad y estabilidad aumentan en medio ácido [1]. Esta caramelización controlada se utiliza en la industria para fabricar caramelos sólidos o líquidos, de manera que puedan ser utilizados como insumos para los subsectores de bebidas, refrescos, panificación, postres y confites [5].

Cuando la caramelización es inducida térmicamente, dependiendo del tiempo y la temperatura utilizada, se obtienen tonos de color amarillo y marrón con la glucosa. El sabor así producido genera cambios desde leve, caramelo propio y dulce, hasta amargo y quemado. La reacción causa la liberación de H⁺, promoviendo la conformación de un medio ácido [35], [36].

Caramelización de la sacarosa. Puesto que la sacarosa es utilizada como materia prima en casi la totalidad de la industria alimentaria, su caramelización se ha estudiado con mayor detalle [36]. La Fig. 4 presenta la reacción en cadena que da lugar a los derivados furfurales durante el proceso de caramelización.

Al calentar la sacarosa a más de 160°C, se produce la hidrólisis, deshidratación y dimerización simultánea de los productos resultantes, como sigue a continuación: al retirarse una única molécula de agua, se forma la isosacarosana (C₁₂H₂₀O₁₀); posteriormente, y tras extraerse 4 moléculas de agua a partir de 2 moléculas del azúcar, se da lugar a la caramelana (C₂₄H₃₆O₁₈). En este punto aparecen trazas de sabor amargo perceptible. Si continúa el calentamiento se sintetiza el carameleno (C₃₆H₅₀O₂₅), sustancia oscura y amarga correspondiente a 3 moléculas de disacárido menos 8 moléculas de agua. Finalmente, y tras un procesamiento térmico excesivo, se da lugar a la caramelina o humina (C₁₂₅H₁₈₈O₈₀), de sabor desagradable y completamente indeseable [5].

Tabla 1. Principales reacciones de oscurecimiento en alimentos [5].

Mecanismo	Presencia de oxígeno	Grupos amino necesarios	Altas temperaturas	pH óptimo	Azúcares reductores
Caramelización			SI	Alcalino-ácido	SI
Maillard		SI		Alcalino	SI
Oxidación de ácido ascórbico	SI			Ligeramente ácido	
Polifenol oxidasa	SI			Ligeramente ácido	

Reacción de Maillard

Desde que las materias primas comestibles han sido transformadas y procesadas en favor de la agregación de valor, la reacción de Maillard ha desempeñado un rol fundamental en el estudio de las características fisicoquímicas y sensoriales de los alimentos. Se relaciona directamente con la generación de color, aroma y sabor en procesos tradicionales como la tostión de café y cocoa, el horneado de productos de panadería, la cocción de carnes, la concentración de productos lácteos y la manufactura de derivados céreos [29], [8], [28]. Sin embargo, en caso de no garantizarse un correcto control de las condiciones de pH, tiempo y temperatura en el procesamiento de alimentos proteicos, que contengan esencialmente el aminoácido L-asparagina, se puede promover la formación de compuestos tóxicos indeseables, como la acrilamida [37], [38].

Se requiere una temperatura superior a 120 °C para generar acrilamida; esto ocurre, con frecuencia, en alimentos ricos en carbohidratos sometidos a fritura, asado u horneado. La mayor preocupación sobre la ingesta de acrilamida proviene de los cereales procesados (como galletas, pan o cereales para el desayuno), café y tubérculos fritos (papa y yuca) [39]. En Colombia se ha suscitado un creciente interés por controlar la formación de acrilamidas durante la elaboración de panela, producto típico nacional [40]. Para evitar la aparición de este tipo de sustancias, en [37] recomiendan el uso de las enzimas glucosa oxidasa o L-asparaginasa, o bien la adición de glicina como competidor para los precursores de la acrilamida.

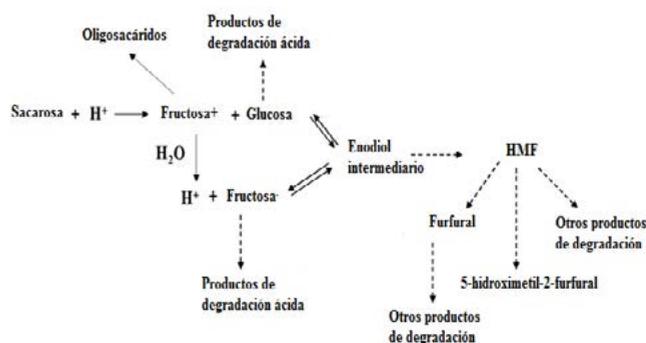


Fig. 4: Mecanismo de formación de derivados furfural a partir de sacarosa, a través de la caramelización [28]

Entre otras estrategias propuestas para prevenir la síntesis de acrilamida, el blanqueo ha sido evaluado como un procedimiento potencial, siendo su aplicación muy recomendable a niveles domésticos e industriales. Se trata de una cocción preliminar de la matriz en agua caliente (70 – 100 °C), con adición de ácido cítrico en concentración de 0,1 – 0,2 mg/ml [41], [42]. Como alternativa a las freidoras convencionales, las freidoras de aire se han introducido recientemente en el país, debido a su capacidad para producir alimentos crujientes más saludables (bajos en grasa). De hecho, un estudio reciente mostró reducciones en la formación de acrilamida de hasta el 90% en las papas fritas deshidratadas con aire, en comparación con la operación convencional con aceite [39].

Usualmente, el conjunto de reacciones de Maillard ocurre bajo la presencia de un azúcar reductor (glucosa, fructosa, lactosa o maltosa) y un grupo amino libre, que promueven una reacomodación de los productos conocida como Arreglo de Amadori –partiendo de aldosas– (Fig. 5) o Transposición de Heyns –partiendo de cetosas– [24]. Sin embargo, existen evidencias de que la reacción de Maillard también puede iniciarse con fosfolípidos, que tienen en su estructura ambos grupos funcionales [6].

En el caso específico de los derivados lácteos, los grupos amino disponibles son residuos de lisina provenientes de las proteínas de la leche (como las k-caseínas), que interactúan directamente con la lactosa y, en menor proporción, con restos de glucosa y

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3252>

galactosa. En productos como las leches evaporadas y pasteurizadas, el pardeamiento no es deseable, mientras que sí lo es en dulce de leche, leche condensada y confites [12], [43].

A continuación, se definen y explican las etapas y mecanismos de la reacción de Maillard presentados en la Fig. 5:

Condensación del azúcar reductor y el grupo amino. El grupo carbonilo libre del azúcar reacciona con un grupo amino libre que no se encuentre participando de un enlace peptídico, formando una base de Schiff. Esta, a su vez se cicla dando lugar a una glucosilamina, tal y como se muestra en la Fig. 6 [13], [24], [39].

Transposición de los productos de condensación. Las aldosaminas se isomerizan a cetosas, mientras que las cetosaminas lo hacen hacia aldosas. Hasta este punto no se aprecia la aparición de sustancias coloreadas [5].

Reacción de los productos de transposición. En esta etapa se da la deshidratación y fragmentación de los monosacáridos por la reacción de enolización, la cual se ve potenciada a pH alcalino y altas temperaturas, dando lugar a coproductos de bajo peso molecular. Tiene lugar la formación de derivados del furfural, razón que explica la aparición de tonalidades pardas, el surgimiento de olores característicos y el incremento del poder reductor en la matriz [5], [38].

Polimerización y formación de sustancias coloreadas. Los compuestos insaturados resultantes de la etapa anterior se polimerizan dando lugar a cromóforos aniónicos llamados melanoidinas, las cuales tienen un efecto marcado sobre la apariencia del alimento. Casi todas estas macromoléculas tienen su máxima absorción a 420 nm, por lo cual pueden ser cuantificadas a esta longitud de onda por métodos espectrofotométricos [14], [44], [45]. Además de su marcada actividad antioxidante [29], [6], en [43] sugieren que las melanoidinas no digeribles exhiben actividad antimicrobiana, prebiótica y benéfica para el tratamiento de la hipertensión y la presencia de *Helicobacter Pylori*.

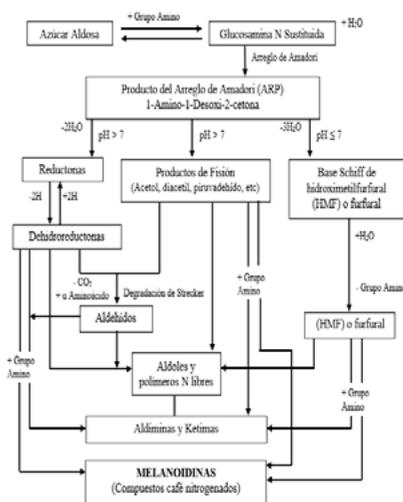


Fig. 5: Esquema de la reacción de Maillard adaptado de Hodge [46]

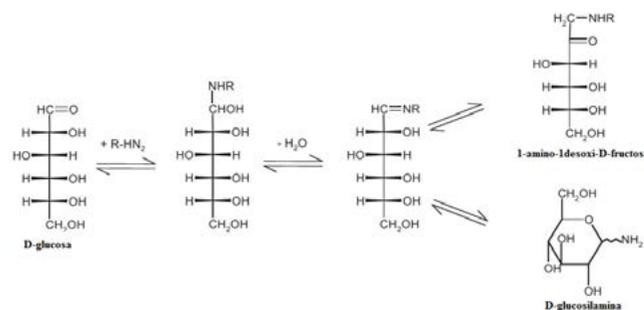


Fig. 6: Arreglo de Amadori por reacción de la D-glucosa con un grupo amino [24]

En [47], se investigó el pardeamiento no enzimático de una solución residual de soja, empapada en vinagre, utilizando una solución modelo. Se propuso un sistema de glicina-fructosa-ácido gálico, mediante el análisis de azúcares reductores, aminoácidos, fenoles totales y valor de pH. Sobre la base del modelo propuesto, también se estudió la cinética de la formación de 5-hidroximetilfurfural (HMF). Los resultados mostraron que la reacción de Maillard y la pirólisis de azúcar podrían ser los mecanismos precisos de pardeamiento no enzimático en la solución residual. La formación de HMF exhibió características del modelo cinético de primer orden, a una temperatura de 60 a 140 °C. El ácido acético, Fe²⁺ y Fe³⁺, mejoró significativamente la tasa de oscurecimiento y la formación de HMF; mientras que Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, glucosa oxidasa y H₂O₂ inhibieron la tasa de oscurecimiento.

Puesto que se trata de un conjunto de reacciones complejas que representan una gran brecha en investigación en química aplicada, la reacción de Maillard depende de un sin número de parámetros técnicos que deben controlarse durante el procesamiento de alimentos [11], [45]. La Tabla 2 destaca las principales variables de importancia.

El interés mostrado por la industria de alimentos, relacionado con la reacción de Maillard, se debe a su vínculo directo con la garantía de calidad y el control de aromas y colores característicos, obtenidos en diversas matrices durante la cocción, el horneado y el asado.

Una de las consecuencias negativas más evidentes de la reacción de Maillard en los alimentos es la pérdida del valor de las proteínas implicadas, con un compromiso de la seguridad alimentaria y nutricional. En diversos estudios se comprueba la disminución de la digestibilidad, la destrucción y/o la inactivación biológica de aminoácidos (incluyendo lisina y triptófano) y la inhibición de enzimas proteolíticas y glicolíticas. Además, las moléculas de proteína se pueden reticular por productos de reacción de Maillard [8]. Por otra parte, la pérdida de valor nutritivo también se ha asociado con la formación de compuestos mutagénicos. Además, en carne y pescado frito a la parrilla, se identifican compuestos mutagénicos derivados de aminas heterocíclicas [46], [48].

Tabla 2. Parámetros de interés en la reacción de pardeamiento no enzimático de Maillard [5]

Parámetro	Influencia
pH	El pH alcalino incrementa la cinética de la reacción de Maillard. Alcanza su punto óptimo a un valor de 10
Temperatura	Las temperaturas elevadas aceleran el pardeamiento no enzimático. Sin embargo, también ocurre el fenómeno hasta en condiciones de refrigeración
Actividad de agua	Alimentos de humedad intermedia (entre 0,6 y 0,9) son los más propensos
Tipo de aminoácido	A elevado tamaño de cadena, y con mayor número de grupos amino libres, la matriz será más susceptible de sufrir pardeamiento por Maillard. La lisina, la arginina, la histidina y el triptófano son aminoácidos bastante activos.
Tipo de azúcares reductores	Las pentosas son más reactivas que las hexosas. Las aldosas actúan más fácilmente que las cetosas. Los monosacáridos son más propensos que los disacáridos.
Presencia de metales, luz y oxígeno	Metales como el cobre y el hierro presentan un efecto catalizador, al igual que el oxígeno y la radiación electromagnética

Sin embargo, la formación de compuestos de Maillard no debe contemplarse únicamente bajo el prisma de su influencia negativa, en el valor nutritivo de los alimentos. Por el contrario, hay que resaltar que en muchos sistemas alimentarios los compuestos de Maillard dan lugar a una serie de aspectos favorables, como la mejora de las propiedades organolépticas (tostado del café, elaboración del chocolate, horneado de productos de panadería, procesamiento de carne y pescado, elaboración de cerveza, frituras de papas y *chips*, etc.) y la formación de productos con actividad antioxidante y antimicrobiana, que mejoran las propiedades de conservación [6], [27]. Los productos de la reacción de Maillard, entre aminoácidos básicos, especialmente arginina e histidina con xilosa, ejercen un efecto antioxidante muy elevado en algunos productos de galletería. Por otra parte, la actividad antioxidante de varios compuestos heterocíclicos volátiles (alquil-tiofenos y furfuralmercaptanos) parece ser la responsable del aumento de la estabilidad oxidativa de muchos alimentos cocinados [34].

2. CONCLUSIONES

Los carbohidratos simples, tales como monosacáridos y disacáridos, son utilizados ampliamente en la industria por sus propiedades fisicoquímicas y funcionales que permiten otorgar ciertas características deseables a los productos terminados. Sectores de la agroindustria que aprovechan positivamente las transformaciones de estas macromoléculas son: panificación, fritura y elaboración de *chips*, confitería, industria láctea, producción de té, café y chocolate, entre otros. Sin embargo, algunas de estas reacciones generan efectos colaterales que disminuyen la calidad del producto, como sabores amargos, tonalidades demasiado oscuras o aparición de compuestos tóxicos, como las acrilamidas. En estos casos, es fundamental conocer las operaciones y los fenómenos químicos involucrados en la agregación de valor a fin de que se pueda ejercer un control cuidadoso sobre los parámetros fundamentales de proceso, a saber: pH, temperatura, tiempo, humedad y presencia de sales.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3252>

El conocimiento de los mecanismos de transformación de los azúcares, favorecidos por condiciones básicas, ácidas o por altas temperaturas, es básico para el entendimiento de las reacciones de oscurecimiento. Es de tener en cuenta que todavía quedan muchas investigaciones por desarrollar, especialmente en lo relacionado con la descripción completa del fenómeno de caramelización y pardeamiento por vía Maillard, garantizando siempre la obtención de productos de interés que puedan otorgar funciones nutricionales o tecnológicas deseables, correspondientes con los criterios y tendencias actuales de mínimo procesamiento, calidad y bajo precio. Así mismo, se debe ahondar en técnicas analíticas y modelamiento numérico que permitan aclarar las diversas vías de reacción que, en algunos casos, son de compleja comprensión.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Católica Luis Amigó, Colombia, y a la Universidad de Caldas, Colombia, quienes apoyaron el desarrollo del presente trabajo de investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

REFERENCIAS

- [1] H. D. Belitz, and W. Grosch. *Química de los alimentos*. España: Acribia, 1997.
- [2] K. R. Goldfein, and J. L. Slavin. "Why sugar is added to food: food science 101". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 14, no. 5, pp. 644-656, 2015. doi: 10.1111/1541-4337.12151
- [3] N. A. Miele, E. K. Cabisidan, A. G. Plaza, P. Masi, S. Cavella, and R. Di Monaco. "Carbohydrate sweetener reduction in beverages through the use of high potency sweeteners: Trends and new perspectives from a sensory point of view". *Trends in food science & technology*, vol. 64, pp. 87-93, 2017. doi: 10.1016/j.tifs.2017.04.010
- [4] J. N. BeMiller. *Carbohydrate chemistry for food scientists*. Indiana: Elsevier Inc, 2019.
- [5] S. Badui. *Química de los alimentos*. México DF: Pearson Publications Company, 2006.
- [6] M. Nooshkam, M. Varidi, and M. Bashash, "The Maillard reaction products as food-born antioxidant and antibrowning agents in model and real food systems". *Food Chemistry*, vol. 275, pp.644-660, 2019. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.09.083
- [7] J. B. Hutchings, M. Ronnier Luo, and W. Ji. "Food appearance quality assessment and specification" in *Instrumental Assessment of Food Sensory Quality*, vol. 53, pp.29-52, 2013.
- [8] N. Diaz, y R. B. Clotet, "Cinética de la caramelización en soluciones azucaradas simples". *Revista Alimentaria*, no 259, pp. 35-38, 1995.
- [9] J. L. Buttriss, "Challenges and opportunities in the use of low-energy sugar replacers". *Nutrition Bulletin*, vol. 42, no. 2, pp. 108-112, 2017. doi: 10.1111/nbu.12258
- [10] L. Paravisini, and D. G. Peterson. "Mechanisms non-enzymatic browning in orange juice during storage". *Food Chemistry*, vol. 289, pp.320-327, 2019. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.049
- [11] L. Manzocco, S. Calligaris, D. Mastrocola, M. C. Nicoli, and C. R. Lerici. "Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods". *Trends in Food Science & Technology*, vol.11, no. 9-10, pp. 340-346, 2000. doi: 10.1016/S0924-2244(01)00014-0

- [12] H. E. Berg, and M. A. Van Boekel. "Degradation of lactose during heating of milk. 1. Reaction pathways". *Netherlands Milk and Dairy Journal*, vol 48, no. 3, pp.157-175, 1994.
- [13] M. A. Van Boekel. "Kinetic modelling of sugar reactions in heated milk-like systems". *Netherlands Milk and Dairy Journal*, vol. 50, no. 2, pp. 245-266, 1996.
- [14] J. S. Kim, and Y. S. Lee, "Effect of reaction pH on enolization and racemization reactions of glucose and fructose on heating with amino acid enantiomers and formation of melanoidins as result of the Maillard reaction". *Food Chemistry*, vol 108, no. 2, pp. 582–592, 2008. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.11.014
- [15] P. S. Bailey, and C. A. Bailey, *Química Orgánica: Conceptos y Aplicaciones*. México: Pearson Education, 1998.
- [16] O. R. Fennema, *Química de los alimentos*. España: Acirbia, 2000.
- [17] N. A. Eskin, and F. Shahidi. *Biochemistry of Foods*. Estados Unidos: Elsevier Science, 2012.
- [18] S. Ege, *Química orgánica: estructura y reactividad*. Vol II. España: Editorial Reverté, 2000.
- [19] P. Widsten, K. Murton, and M. West. "Production of 5-hydroxymethylfurfural and furfural from a mixed saccharide feedstock in biphasic solvent systems". *Industrial Crops and Products*, vol. 119, pp. 237-242, 2018. doi: 10.1016/j.indcrop.2018.04.032
- [20] M. Cocchi, G. Ferrari, D. Manzini, A. Marchetti, and S. Sighinolfi. "Study of the monosaccharides and furfurals evolution during the preparation of cooked grape musts for Aceto Balsamico Tradizionale production". *Journal of Food Engineering*, vol. 79, no. 4, pp. 1438-1444, 2007. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.01.091
- [21]. J. M. Flink. "Nonenzymic browning of freeze-dried sucrose". *Journal of Food Science*, vol. 48, no. 2, pp 539-542, 1983. doi: 10.1111/j.1365-2621.1983.tb10784.x
- [22] S. S. Rana, R. C. Pradhan, and S. Mishra. "Image analysis to quantify the browning in fresh cut tender jackfruit slices". *Food Chemistry*, vol. 278, pp. 185-189, 2019. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.11.032
- [23] C. Janzowski, V. Glaab, E. Samimi, J. Schlatter, and G. Eisenbrand. "5-Hydroxymethylfurfural: assessment of mutagenicity, DNA-damaging potential and reactivity towards cellular glutathione". *Food and Chemical Toxicology*, vol. 38, no. 9, pp. 801–809, 2000. doi: 10.1016/s0278-6915(00)00070-3
- [24] Y. H. Hui, *Handbook of food science, technology and engineering*. vol. I. Estados Unidos: CRC Press–Taylor & Francis Group, p. 2006.
- [25] R. Ibarz-Martínez, J. Pagán, S. Garza, y A. Ibarz, "Pardeamiento de zumos clarificados de limón tratados a altas temperaturas". *Scientia Agropecuaria*, vol. 1, no. 1, pp. 7-20, 2010. doi: 10.17268/sci.agropecu.2010.01.01
- [26] S. He et al., "Contributions of temperature and l-cysteine on the physicochemical properties and sensory characteristics of rapeseed flavor enhancer obtained from the rapeseed peptide and d-xylose Maillard reaction system". *Industrial crops and products*- Vol. 128, pp. 455-463. 2019.
- [27] Y. Hrynets, A. Bhattacharjee & M. Betti. "Nonenzymatic Browning Reactions: Overview". *Encyclopedia of Food Chemistry*. vol. 2019, pp. 233-244. 2019.
- [28] M. Quintas, T. Brandao, and C. L. M. Silva. "Modelling colour changes during the caramelisation reaction". *Journal of Food Engineering*, vol. 83, no. 4, pp. 483-491, 2007. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.03.036

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3252>

- [29] Y. Shen, G. Shen, and Y. Li. "Bread characteristics and antioxidant activities of Maillard reaction products of white pan bread containing various sugars". *LWT-Food Science and Technology*, vol. 95, pp. 308-315, 2018. doi: 10.1016/j.lwt.2018.05.008
- [30] A. M. Milat et al., "Effects of oxidation and browning of macerated white wine on its antioxidant and direct vasodilatory activity". *Journal of Functional Foods*, vol. 59, pp. 138-147, 2019. doi: 10.1016/j.jff.2019.05.025
- [31] Y. Yilmaz, and R. Toledo. "Antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products". *Food chemistry*, vol. 93, no. 2, pp. 273-278, 2005. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.09.043
- [32] W. Kamuf, A. Nixon, O. Parker, G. C. Barnum, and D. D. Williamson. "Overview of caramel colors". *Cereal foods world*, vol. 48, no. 2, pp. 64-69, 2003. doi: 10.1016/j.indcrop.2018.11.048
- [33] T. A. Vollmuth, "Caramel color safety-An update". *Food and Chemical Toxicology*, vol. 111, pp. 578-596, 2018. doi: 10.1016/j.fct.2017.12.004
- [34] A. Gil, *Tratado de nutrición: Nutrición humana en el estado de la salud*. Segunda Edición. Editorial Médica Panamericana, Vol. 3, 2010.
- [35] L. W. Kroh, "Caramelisation in food and beverages". *Food Chemistry*, vol. 51, no. 4, pp. 373-379. 1994. doi: 10.1016/0308-8146(94)90188-0
- [36] T. Kocadağlı, and V. Gökmen. "Caramelization in Foods: A Food Quality and Safety Perspective". Reference Module in Food Science. Estados Unidos: Elsevier, 2018. doi: 10.1016/B978-0-08-100596-5.21630-2
- [37] H. Jaeger, A. Janositz, and D. Knorr, "The Maillard reaction and its control during food processing. The potential of emerging technologies". *Pathologie Biologie*, vol. 58, no. 3, pp. 207-213. 2010. doi: 10.1016/j.patbio.2009.09.016
- [38] M. A. Van Boekel, "Formation of flavour compounds in Maillard reaction". *Biotechnology advances*, vol. 24, no. 2, pp. 230-233, 2006. doi: 10.1016/j.biotechadv.2005.11.004
- [39] M. Sansano, A. Heredia, I. Peinado, and A. Andrés, "Dietary acrylamide: What happens during digestion". *Food Chemistry*, vol. 237, pp. 58-64. 2017. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.104
- [40] L. F. Gutiérrez, S. Arias, y A. M. Ceballos, "Actualidad del sistema productivo tradicional de panela en Colombia: análisis de mejoras y alternativas tecnológicas". *Ingeniería y Competitividad*, vol. 20, no. 1, pp. 107-123. 2018. doi: 10.25100/iyc.v20i1.6190
- [41] F. Pedreschi, K. Kaack, and K. Granby, "Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying". *LWT - Food Science and Technology*, vol. 37, pp. 679-685, 2004. doi: 10.1016/j.lwt.2004.03.001
- [42] O. P. Pandey, B. K. Mishra, and A. Misra. "Comparative study of green peas using with blanching & without blanching techniques". *Information Processing in Agriculture*, vol. 6, no. 2, pp. 285-296, 2017. doi: 10.1016/j.inpa.2018.10.002
- [43] M. A. Van Boekel, "Effect of heating on Maillard reactions in milk". *Food chemistry*, vol. 62, no. 4, pp. 403-414, 1998. doi: 10.1016/S0308-8146(98)00075-2
- [44] H. Y. Wang, H. Qian, and W.R. Yao, "Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity". *Food chemistry*, vol. 128, no. 3, pp. 573-584, 2011. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.03.075

- [45] M. Baisier, and T. P. Labuza, "Maillard Browning Kinetics in a Liquid Model System". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 40, no. 5, pp. 707-713, 1992. doi: 10.1021/jf00017a001
- [46] S. Martins, W. Jongen, and M. Boekel. "A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modeling". *Trends in Food Science and Technology*, vol. 11, no 9-10, pp. 364-373, 2001. doi: 10.1016/S0924-2244(01)00022-X
- [47] Y. Chen, H. Lin, Y. Li, M. Lin, and J. Chen, "Non-enzymatic browning and the kinetic model of 5-hydroxymethylfurfural formation in residual solution of vinegar soaked-soybean". *Industrial Crops and Products*, vol. 135, pp. 146-152, 2019. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.04.034
- [48] P. Arvidsson, M. A. Van Boekel, K. Skog, and M. Jagerstad, "Formation of Mutagenic Maillard Reaction Products". *The Maillard Reaction in Foods and Medicine*, pp. 219-224, 2005. 10.1533/9781845698447.6.219

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=Xc3UyhgYX8>. 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://vocabulary.unesco.org/browser/thesaurus/es/..](http://vocabulary.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 Bruijn networks and sufflenets 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 diagrame, 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.ucatolicaluissamigo.edu.co