



Tecnura

Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica

Volumen 28 - Número 80
Abril - Junio de 2024

p-ISSN: 0123-921X
e-ISSN: 2248-7638



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Revista TECNURA
Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica

p-ISSN: 0123-921X - e-ISSN: 2248-7638

EDITORA

Ph.D. Lely Adriana Luengas Contreras
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Joao Vidal de Carvalho, Ph.D.
Instituto Politécnico do Porto Escola Superior de Educação,
Portugal.

EDITORES ASISTENTES

MSc. Ronald González Silva
Carlos David Ballén Ladino

EVALUADORES

Sandra Patricia Barragán Moreno
Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia.

Jorge Eduardo Pachón Quinche
Universidad de La Salle, Colombia.

Juan José Puello Beltrán
Universidad del Sinú, Colombia.

Andrés Felipe Medina Gamba
Universidad ECCI, Colombia.

Jairo Naicipa Otorora
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.

Orlando de Antonio Suárez
Universidad Antonio Nariño, Colombia.

María Claudia Bonfante Rodríguez
Universidad del Sinú, Colombia.

Cristiano Cordeiro Cruz
Federal University of São João del-Rei, Brasil.

Diego Armando Giral Ramírez
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.

José Isaías Salas Hernández
Fundación Universitaria Cafam, Colombia.

COMITÉ EDITORIAL-CIENTÍFICO

Jimmy Barco Burgos Ph.D
Concordia University, Canada

Mario Ricardo Arbulu Saavedra, Ph.D. Ing
Corporación Universitaria del Huila.

Martín Pedro Gómez, Ph.D.
Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina.

Oreste Piro, Ph.D.
Universidad de les Illes Balears. España.

Manuel Karim Sapag, Ph.D. Ing
Universidad Nacional de San Luis, Argentina.

Fernando Martirena, Ph.D. Ing
Universidad Central de Las Villas, Cuba.

Adriana Martínez Hernández, Ph.D. Ing
Universidad Iberoamericana, México.

Alma De León Hernández, Ph.D. IngPh.D
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Miguel Ángel Padilla Castañeda, Ph.D.
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

COORDINACIÓN EDITORIAL

Fernando Piraquive
Oficina de Investigaciones
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

REVISTA TECNURA

La revista Tecnura es una publicación institucional de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de carácter científico-tecnológico, arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. La periodicidad de la conformación de sus comités Científico y Editorial está sujeta a la publicación de artículos en revistas indexadas internacionalmente por parte de sus respectivos miembros.

PERIODICIDAD

Es una publicación de carácter científico-tecnológico con periodicidad trimestral, que se publica los meses de enero, abril, julio y octubre. Su primer número apareció en el segundo semestre del año 1997 y hasta la fecha ha mantenido su regularidad.

COBERTURA TEMÁTICA

Las áreas temáticas de interés de la revista Tecnura están enfocadas a todos los campos de la ingeniería, como la electrónica, telecomunicaciones, electricidad, sistemas, industrial, mecánica, catastral, civil, ambiental, entre otras. Sin embargo, no se restringe únicamente a estas, también tienen cabida los temas de educación y salud, siempre y cuando estén relacionados con la ingeniería. La revista publicará únicamente artículos de investigación científica y tecnológica, de reflexión y de revisión.

MISIÓN

La revista Tecnura tiene como misión divulgar resultados de proyectos de investigación realizados en el área de la ingeniería, a través de la publicación de artículos originales e inéditos, realizados por académicos y profesionales pertenecientes a instituciones nacionales o extranjeras del orden público o privado.

PÚBLICO OBJETIVO

La revista Tecnura está dirigida a docentes, investigadores, estudiantes y profesionales interesados en la actualización permanente de sus conocimientos y el seguimiento de los procesos de investigación científico-tecnológica, en el campo de la ingeniería.

INDEXACIÓN

Tecnura es una publicación de carácter académico indexada en los índices regionales pubindex indexada y clasificada en categoría B, Scielo Colombia y Redalyc (México); además de las siguientes bases bibliográficas: INSPEC del Institution of Engineering and Technology (Inglaterra), Fuente Académica Premier de EBSCO (Estados Unidos), CABI (Inglaterra), IndexCorpernicus (Polonia), Informe Académico de Gale Cengage Learning (México), Periódica de la Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (España) y Dialnet de la Universidad de la Rioja (España); también hace

parte de los siguientes directorios: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Latindex (México); Índice Bibliográfico Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (España), DOAJ (Suecia), Ulrich de Proquest (Estados Unidos).

FORMA DE ADQUISICIÓN

La revista Tecnura se puede adquirir a través de canje o suscripción en el portal de la de la revista.

REPRODUCCIÓN

Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos de esta revista para uso académico o interno de las instituciones citando la fuente y el autor. Las ideas expresadas se publican bajo la exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial de la revista.

DIRECCIÓN POSTAL

Enviar a Ph.D. Lely Adriana Luengas Contreras
Director y Editor Revista Tecnura
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305
Facultad Tecnológica
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Dirección: Cl. 68d Bis A Sur # 49 F - 70, Bogotá
Teléfono: 571-3239300
Bogotá, D.C., Colombia
Correo electrónico:
tecnura.ud@udistrital.edu.co
Tecnura en internet:
<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

CORRECCIÓN DE ESTILO PARA ESPAÑOL

MSc. Fernando Carretero Padilla

CORRECCIÓN DE ESTILO PARA INGLÉS

MSc. Alexander Olave

DISEÑO DE CUBIERTA

Andrés Enciso

DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO L^AT_EX*

MSc. Julian Arcila-Forero

*Modificada bajo las condiciones del LaTeX Project Public License
<http://www.latex-project.org/lppl.txt>



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

TECNURA Journal
Technology And Culture, Affirming Knowledge
District University Francisco José De Caldas
Faculty Of Technology

p-ISSN: 0123-921X - e-ISSN: 2248-7638

EDITOR

Ph.D. Lely Adriana Luengas Contreras
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Joao Vidal de Carvalho, Ph.D.
Instituto Politécnico do Porto Escola Superior de Educação,
Portugal.

ASSISTANT EDITOR

MSc. Ronald González Silva
Carlos David Ballén Ladino

EVALUATORS

Sandra Patricia Barragán Moreno
Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia.

Jorge Eduardo Pachón Quinche
Universidad de La Salle, Colombia.

EDITORIAL-SCIENTIFIC COMMITTEE

Jimmy Barco Burgos Ph.D
Concordia University, Canada

Mario Ricardo Arbulu Saavedra, Ph.D. Ing
Corporación Universitaria del Huila.

Martín Pedro Gómez, Ph.D.
Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina.

Oreste Piro, Ph.D.
Universidad de les Illes Balears. España.

Manuel Karim Sapag, Ph.D. Ing
Universidad Nacional de San Luis, Argentina.

Fernando Martirena, Ph.D. Ing
Universidad Central de Las Villas, Cuba.

Adriana Martínez Hernández, Ph.D. Ing
Universidad Iberoamericana, México.

Alma De León Hernández, Ph.D. IngPh.D
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Miguel Ángel Padilla Castañeda, Ph.D.
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Juan José Puello Beltrán
Universidad del Sinú, Colombia.

Andrés Felipe Medina Gamba
Universidad ECCI, Colombia.

Jairo Naicipa Otalora
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.

Orlando de Antonio Suárez
Universidad Antonio Nariño, Colombia.

María Claudia Bonfante Rodríguez
Universidad del Sinú, Colombia.

Cristiano Cordeiro Cruz
Federal University of São João del-Rei, Brasil.

Diego Armando Giral Ramírez
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.

José Isaías Salas Hernández
Fundación Universitaria Cafam, Colombia.

EDITORIAL COORDINATION

Fernando Piraquive
Oficina de Investigaciones
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

TECNURA JOURNAL

Tecnura Journal is an institutional scientific-technological publication from the Faculty of Technology at District University Francisco José de Caldas, arbitrated by means of a double-blinded peer review process. The periodicity for its Scientific and Editorial committees line-up is subject to the publication of articles in internationally indexed magazines by its own members.

PERIODICITY

Tecnura journal is a scientific-technological publication with quarterly periodicity, published in January, April, July and October. Its first edition appeared in the second term, 1997 and its editions have normally continued from that year and on.

THEMATIC COVERAGE

The thematic areas of interest at Tecnura journal are focused on all fields of engineering such as electrical, telecommunications, electrical, computer, industrial, mechanical, cadastral, civil, environmental, etc. However, it is not restricted to those, there is also room for education and health topics as well, as long as they are related to engineering. The journal will only publish scientific and technological research, reflection and review articles.

MISSION

Tecnura journal is aimed at publishing research project results carried out in the field of engineering, through the publishing of original and unpublished articles written by academics and professionals from national or international public or private institutions.

TARGET AUDIENCE

Tecnura journal is directed to professors, researchers, students and professionals interested in permanent update of their knowledge and the monitoring of the scientific-technological research processes in the field of engineering.

INDEXING

Tecnura is an academic publication indexed in the Regional Index Scielo Colombia (Colombia) and Redalyc (México); as well as the following bibliographic databases: INSPEC of the Institution of Engineering and Technology (England), Fuente Académica Premier of EBSCO (United States), CABI (England), Index Copernicus (Poland), Informe Académico of Gale Cengage Learning (México), Periódica of the Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (Spain) and Dialnet of the Universidad de la Rioja (Spain); it is also part of the

following directories: Online Regional Information System for Scientific journals from Latin America, Caribbean, Spain and Portugal Latindex (México), bibliographic index Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (Spain), DOAJ (Sweden), Ulrich of Proquest (United States).

FORM OF ACQUISITION

Tecnura journal is available through purchase, exchange or subscription.

REPRODUCTION

The total or partial reproduction of the articles of this journal is authorized for academic or internal purpose of the institutions citing the source and the author. Ideas expressed are published under exclusive responsibility of the authors and they do not necessarily reflect the thought of the editorial committee of the journal.

POSTAL ADDRESS

Enviar a Ph.D. Lely Adriana Luengas Contreras
Director y Editor Revista Tecnura
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305
Facultad Tecnológica
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Dirección: Cl. 68d Bis A Sur # 49 F - 70, Bogotá
Teléfono: 571-3239300
Bogotá, D.C., Colombia
E-mail:
tecnura.ud@udistrital.edu.co
Tecnura on internet:
<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

STYLE CORRECTION IN SPANISH

MSc. Fernando Carretero Padilla

STYLE CORRECTION IN ENGLISH

MSc. Alexander Olave

TITLE PAGE DISEGN

Andrés Enciso

LAYOUT AND L^AT_EX* DESIGN

MSc. Julian Arcila-Forero

* modified under the conditions of the LaTeX Project Public License
<http://www.latex-project.org/lppl.txt>

El comité editorial de la revista **Tecnura** está comprometido con altos estándares de ética y buenas prácticas en la difusión y transferencia del conocimiento, para garantizar el rigor y la calidad científica. Es por ello que ha adoptado como referencia el Código de Conducta que, para editores de revistas científicas, ha establecido el Comité de Ética de Publicaciones (COPE: Committee on Publication Ethics) dentro de los cuales se destaca:

Obligaciones y responsabilidades generales del equipo editorial

En su calidad de máximos responsables de la revista, el comité y el equipo editorial de **Tecnura** se comprometen a:

- Aunar esfuerzos para satisfacer las necesidades de los lectores y autores.
- Propender por el mejoramiento continuo de la revista.
- Asegurar la calidad del material que se publica.
- Velar por la libertad de expresión.
- Mantener la integridad académica de su contenido.
- Impedir que intereses comerciales comprometan los criterios intelectuales.
- Publicar correcciones, aclaraciones, retractaciones y disculpas cuando sea necesario.

Relaciones con los lectores

Los lectores estarán informados acerca de quién ha financiado la investigación y sobre su papel en la investigación.

Relaciones con los autores

Tecnura se compromete a asegurar la calidad del material que publica, informando sobre los objetivos y normas de la revista. Las decisiones de los editores para aceptar o rechazar un documento para su publicación se basan únicamente en la relevancia del trabajo, su originalidad y la pertinencia del estudio con relación a la línea editorial de la revista. La revista incluye una descripción de los procesos seguidos en la evaluación por pares de cada trabajo recibido. Cuenta con una guía de autores en la que se presenta esta información. Dicha guía se actualiza regularmente y contiene un vínculo a la presente declaración ética. Se reconoce el derecho de los autores a apelar las decisiones editoriales. Los editores no modificarán su decisión en la aceptación de envíos, a menos que se detecten irregularidades o situaciones extraordinarias. Cualquier cambio en los miembros del equipo editorial no afectará las decisiones ya tomadas, salvo casos excepcionales en los que confluyan graves circunstancias.

Relaciones con los evaluadores

Tecnura pone a disposición de los evaluadores una guía acerca de lo que se espera de ellos. La identidad de los evaluadores se encuentra en todo momento protegida, garantizando su anonimato.

Proceso de evaluación por pares

Tecnura garantiza que el material remitido para su publicación será considerado como materia reservada y confidencial mientras que se evalúa (doble ciego).

Reclamaciones

Tecnura se compromete responder con rapidez a las quejas recibidas y a velar para que los demandantes insatisfechos puedan tramitar todas sus quejas. En cualquier caso, si los interesados no consiguen satisfacer sus reclamaciones, se considera que están en su derecho de elevar sus protestas a otras instancias.

Fomento de la integridad académica

Tecnura asegura que el material que publica se ajusta a las normas éticas internacionalmente aceptadas.

Protección de datos individuales

Tecnura garantiza la confidencialidad de la información individual (por ejemplo, de los profesores y/o alumnos participantes como colaboradores o sujetos de estudio en las investigaciones presentadas).

Seguimiento de malas prácticas

Tecnura asume su obligación para actuar en consecuencia en caso de sospecha de malas prácticas o conductas inadecuadas. Esta obligación se extiende tanto a los documentos publicados como a los no publicados. Los editores no sólo rechazarán los manuscritos que planteen dudas sobre una posible mala conducta, sino que se consideran éticamente obligados a denunciar los supuestos casos de mala conducta. Desde la revista se realizarán todos los esfuerzos razonables para asegurar que los trabajos sometidos a evaluación sean rigurosos y éticamente adecuados.

Integridad y rigor académico

Cada vez que se tenga constancia de que algún trabajo publicado contiene inexactitudes importantes, declaraciones engañosas o distorsionadas, debe ser corregido de forma inmediata.

En caso de detectarse algún trabajo cuyo contenido sea fraudulento, será retirado tan pronto como se conozca, informando inmediatamente tanto a los lectores como a los sistemas de indexación.

Se consideran prácticas inadmisibles, y como tal se denunciarán las siguientes: el envío simultáneo de un mismo trabajo a varias revistas, la publicación duplicada o con cambios irrelevantes o parafraseo del mismo trabajo, o la fragmentación artificial de un trabajo en varios artículos.

Relaciones con los propietarios y editores de revistas

La relación entre editores, editoriales y propietarios estará sujeta al principio de independencia editorial. **Tecnura** garantizará siempre que los artículos se publiquen con base en su calidad e idoneidad para los lectores, y no con vistas a un beneficio económico o político. En este sentido, el hecho de que la revista no se rija por intereses económicos, y defienda el ideal de libre acceso al conocimiento universal y gratuito, facilita dicha independencia.

Conflicto de intereses

Tecnura establecerá los mecanismos necesarios para evitar o resolver los posibles conflictos de intereses entre autores, evaluadores y/o el propio equipo editorial.

Quejas/denuncias

Cualquier autor, lector, evaluador o editor puede remitir sus quejas a los organismos competentes

The editorial board of *Tecnura* journal is committed to ethics high standards and good practice for knowledge dissemination and transfer, in order to ensure rigour and scientific quality. That is why it has taken as reference the Code of Conduct, which has been established by the Committee on Publication Ethics (COPE) for scientific journal editors; outlining the following:

General duties and responsibilities of the editorial board

As most responsible for the journal, **Tecnura** committee and the editorial board are committed to:

- Joining efforts to meet the readers and authors' needs.
- Tending to the continuous improvement of the Journal.
- Ensuring quality of published material.
- Ensuring freedom of expression.
- Maintaining the academic integrity of their content.
- Prevent commercial interests compromise intellectual standards.
- Post corrections, clarifications, retractions and apologies when necessary.
- Relations with readers.
- Readers will be informed about who has funded re- search and their role in the research.

Relations with authors

Tecnura is committed to ensuring the quality of published material, informing the goals and standards of the journal. The decisions of publishers to accept or reject a paper for publication are based solely on the relevance of the work, originality and pertinence of the study with journal editorial line. The journal includes a description of the process for peer evaluation of each received work, and has an authors guide with this information. The guide is regularly updated and contains a link to this code of ethics. The journal recognizes the right of authors to appeal editorial decisions Publishers will not change their decision in accepting or rejecting articles, unless extraordinary circumstances or irregularities are detected. Any change in the editorial board members will not affect decisions already made, except for unusual cases where serious circumstances converge.

Relations with evaluators

Tecnura makes available to reviewers a guide to what is expected from them. Reviewers' identity is protected at all times, ensuring anonymity.

Peer review process

Tecnura ensures that material submitted for publication will be considered private and confidential issue while being reviewed (double blind).

Claims

Tecnura is committed to respond quickly to complaints and ensure that dissatisfied claimant can process all complaints. In any case, if applicants fail to satisfy their claims, the journal considers that they have the right to raise their protests to other instances.

Promoting Academic Integrity

Tecnura ensures that the published material conforms to internationally accepted ethical standards.

Protection of individual data

Tecnura guarantees the confidentiality of individual information (e.g. participant teachers and/or students as collaborators or subjects of study in the presented research).

Tracking malpractice

Tecnura accepts the obligation to act accordingly in case of suspected malpractice or misconduct. This obligation extends both to published and unpublished documents. The editors not only reject manuscripts with doubts about possible misconduct, but they are considered ethically obligated to report suspected cases of misconduct. From the journal every reasonable effort is made to ensure that works submitted for evaluation are rigorous and ethically appropriate.

Integrity and academic rigour

Whenever evidence that a published work contains significant misstatements, misleading or distorted statements, it must be corrected immediately.

In case of any work with fraudulent content is detected, it will be removed as soon as it is known, and immediately informing both readers and indexing systems.

Practices that are considered unacceptable and as such will be reported: simultaneous sending of the same work to various journals, duplicate publication with irrelevant changes or paraphrase of the same work, or the artificial fragmentation of a work in several articles.

Relations with owners and journal editors

The relation between editors, publishers and owners will be subject to the principle of editorial independence. **Tecnura** will ensure that articles are published based on their quality and suitability for readers, and not for an economic or political gain. In this sense, the fact that the journal is not governed by economic interests, and defends the ideal of universal and free access to knowledge, provides that independence.

Conflict of interest

Tecnura will establish the necessary mechanisms to avoid or resolve potential conflicts of interest between authors, reviewers and/or the editorial board itself.

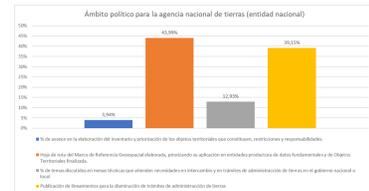
Complaints / allegations

Any author, reader, reviewer or editor may refer their complaints to the competent authorities.

Colombian Spatial Data Infrastructure - land administration governance performance measurement with a Balance Scorecard model 12

Medición del desempeño del gobierno de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales en la administración de tierras con un modelo *balance scorecard*

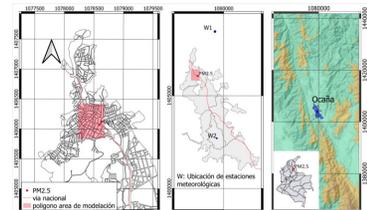
Ana Alexandra Morales Escobar, Rubén Javier Medina Daza y Alexander Páez Lancheros



PM2.5 concentration and its relationship with vehicular flow and meteorological conditions in northern Ocaña, Colombia 39

Concentración de PM2.5 y su relación con el flujo vehicular y las condiciones meteorológicas del norte de Ocaña (Colombia)

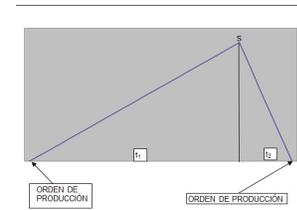
Alexander Armesto Arenas y Julio Eduardo Cañón Barriga



Application of inventory models in the supply chain 60

Aplicación de los modelos de inventario en la cadena de suministros

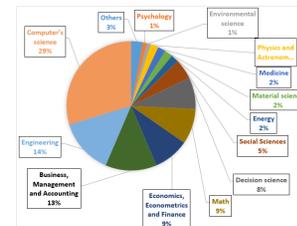
Humberto Guerrero Salas



Bibliometric Analysis of Blockchain Technology in Finance 83

Análisis bibliométrico sobre la tecnología Blockchain en las finanzas

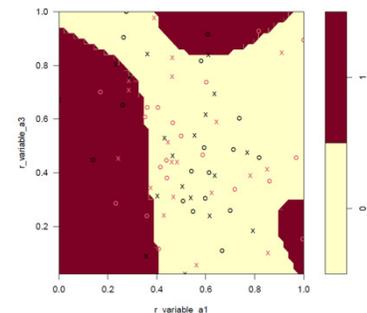
Raúl José Martelo Gómez, Piedad Mary Martelo Gómez y David Antonio Franco Borré



Implementation of the Support Vector Machine Optimization Method in R 99

Implementación del método de optimización de máquinas de soporte vectorial en R

Diego Armando Poveda García, Martha Elva Ramírez Guzmán, Yolanda Margarita Fernández Ordóñez y Erwin Fabián García López





What peace engineering are we talking about? Towards an engaged engineering education exercise for Colombia 119

¿De qué ingeniería para la paz hablamos? Hacia un ejercicio de educación en ingeniería comprometida para Colombia

Alexei Ochoa-Duarte, Leonardo León, Juan David Reina-Rozo y Nicolás Gaitán-Albarraçín



Analysis of full hybrid and parallel hybrid vehicles for urban mobility 148

Análisis de vehículos híbridos e híbridos paralelos para la movilidad urbana

Pablo Enrique Cortés Muñoz y César Alexander Chacón Cardona

$$\sum_{i=1}^n \frac{MF_i + BR_i + TR_i}{(1+i)^i} \quad (2)$$

Tabla 5. Costos de compra y funcionamiento de un VEH en Colombia

Tipo de costo	Toyota Corolla 1.8 CVT SEG	KIA Niro II 1.6 Emotion aut.
Costos de adquisición	USD29 254 (Novamotors.com.co, 2024)	USD30 264 (Kia.com.co, 2024)
Costos de operación (combustible-100 km)	USD2,10	USD2,35
Costos de mantenimiento*	USD628,62	USD731,18

Instrucciones para los autores 166

Instructions for authors 179

Medición del desempeño del gobierno de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales en la administración de tierras con un modelo *balance scorecard*

Colombian Spatial Data Infrastructure - land administration governance performance measurement with a Balance Scorecard model

Ana Alexandra Morales Escobar ¹, Rubén Javier Medina Daza ² y Alexander Páez Lancheros ³

Fecha de Recepción: 7 de marzo de 2023

Fecha de Aceptación: 16 de octubre de 2024

Cómo citar: Morales Escobar A.A., Medina Daza R.J., Páez Lancheros A. Medición del desempeño del gobierno de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales en la administración de tierras con un modelo *balance scorecard*. *Tecnura*, 28(80), 12-38. <https://doi.org/10.14483/22487638.18465>

Resumen

Objetivo: Diseñar un modelo para la medición del desempeño del gobierno de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE), aplicada a la administración de tierras, a partir de tendencias de las infraestructuras de datos espaciales (IDE), así como políticas relacionadas con la administración de tierras.

Metodología: Se siguieron metodologías de índole teórica, análisis y modelación conceptual. Se inició con el reconocimiento y formulación de indicadores económicos, sociales y políticos; luego se diseñó el modelo para la medición del desempeño del gobierno de la ICDE en lo referente a la administración de tierras y, finalmente, su ajuste e implementación en caso institucional de impacto nacional.

Resultados: Al finalizar, se obtuvieron dos modelos: uno de análisis multicriterio y multiactor, acerca del impacto de la ICDE en la política de administración de tierras, y otro de gestión *balance scorecard* (BSC), que mide el desempeño de la ICDE en la ejecución de la política de administración de tierras.

Conclusiones: Se aplicó el modelo BSC en el componente de gobierno, definido por expertos en IDE de Naciones Unidas, y los resultados demostraron que es aplicable en los otros componentes de la ICDE. Debido a que las políticas y lineamientos que se tuvieron en cuenta en este estudio están en su fase inicial de implementación, solo lograron formularse indicadores de eficacia objeto de una evaluación *ex ante*. Se cuenta con algunos indicadores

¹Ingeniera catastral y geodesta, egresada de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas , con Especialización en Sistemas de Información Geográfica. Integrante del Grupo de estudio en temas de la física, la estadística y la matemática (GEFEM). Email: meanaa@correo.udistrital.edu.co

²Licenciado en Matemáticas y Doctor en Informática. Miembro del Grupo de estudio en temas de la física, la estadística y la matemática (GEFEM) . Email: rmedina@udistrital.edu.co

³Ingeniero catastral y geodesta, con Maestría en Gestión de Información y Tecnologías Geoespaciales . Email: alexander.paez@igac.gov.co

que, a nivel social, pueden medir cierto beneficio posterior de la aplicación de dichas normatividades.

Financiamiento: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Palabras clave: medición, desempeño, gobierno, Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE), administración de tierras, política.

Abstract

Objective: To design a model for the measurement of the government's performance of the Colombian Spatial Data Infrastructure applied in land administration, taking into considering SDI trends as well as policies related to land administration.

Methodology: A methodology based on others of a theoretical nature, analysis and synthesis, and conceptual modeling was followed. It was executed with the recognition and formulation of economic, social and political indicators; continue with the design of a model for the measurement and performance of the ICDE government in relation to land administration and finally, the application of a measurement model in institutional cases of national impact.

Results: At the end, two models were obtained: a multi-criteria and multi-actor analysis model about the impact of the ICDE on land administration policy, and a Balance Scorecard management model that measures the performance of the ICDE in the execution of land administration policy.

Conclusions: The BSC model was applied in the government component, recently defined by experts in the United Nations IDE and the results showed that it is applicable in the other components of the ICDE. Because the policies and guidelines that were taken into considered in this study are in their initial phase of implementation, only effectiveness indicators were able to be formulated, subject to an ex-ante evaluation. There are some indicators that, at a social level, can measure any subsequent benefit from the application of these regulations.

Financing: Geographical Institute 'Agustin Codazzi'

Keywords: measurement, performance, government, land administration, policy.

Introducción

Las infraestructuras de datos espaciales (IDE) se comprenden como una estructura en red conformada por: datos y servicios geoespaciales interoperables, distribuidos en diferentes sistemas de información, accesibles a través de la red con protocolos mínimos y especificaciones que permiten que datos, metadatos y servicios se descubran y accedan a través de tecnologías, normas o estándares de gestión de información geoespacial; acuerdos institucionales para la puesta en común entre sus productores y usuarios, y los mecanismos, procesos y procedimientos de coordinación y seguimiento establecidos ([Gobierno del Estado de España, 2018](#)).

La medición de las IDE ha sido un gran interés mundial, para evaluar el cumplimiento de sus objetivos, su ejecución, justificar su inversión, compararlas y aportar a su mejora continua. Sin embargo, continúa siendo un reto, debido tanto a la ausencia de un único modelo que facilite su gestión como a su complejidad. Las IDE no deben comprenderse solo en términos de la suma de sus componentes (incluidos los actores), ya que producen un valor mucho mayor ([Giff y Crompvoets, 2008](#)), lo cual causa su naturaleza compleja y dinámica. De igual forma, las

IDE, al estar compuestas por diversas disciplinas, han requerido, en su evaluación, la identificación múltiples enfoques y criterios de evaluación a la hora de medir el desempeño (Pérez *et al.*, 2015).

Antecedentes

En razón a lo anterior, se han realizado esfuerzos para comprender mejor el desarrollo de las IDE, dirigidos a proponer medidas de su desempeño. Un estudio (Georgiadou *et al.*, 2006) logró reseñar el estado del arte de dichos avances en mediciones de IDE a nivel internacional, relacionados en la tabla 1.

Tabla 1. Estado del arte de evaluaciones de desempeño de casos IDE a nivel internacional

Autor	Alcance	Metas	Métodos	Enfoque
Onsrud (1998)	Global	Comprender el alcance, la naturaleza y el alcance de la IDE	Cuestionario	Datos
Weiss (1998)	Nacional	Autoevaluar	Taller	Gestión
Kuhn <i>et al.</i> (2000)	Subnacional	Crear consenso	Creación de prototipos	Gestión de servicios de datos
Giff y Coleman (2003), Masser (2003)	Pocas naciones desarrolladas	Aprender lecciones de otros	Caso de estudio	- Gestión - Algunas cuestiones de gobernanza
MetroGIS (2004)	Metropolitano	Medir el desempeño	Registro automático de "eventos"	Datos
Crompvoets <i>et al.</i> (2004)	Global	Medir el desempeño de clearinghouse	Navegación por internet, medición de características	Gestión del uso de datos
Giff (2005)	Conceptual	Evaluar modelos de financiación a lo largo del tiempo	Simulación por ordenador	Sensibilidad del modelo al medio ambiente
Rodríguez (2005)	Conceptual	Comprender la dinámica de implementación	Estudios de caso, Delphi, teoría fundamentada	- Eficiencia - Eficacia - Comprensión
Delgado <i>et al.</i> (2005)	Nacional	Monitorear la dinámica	Teoría difusa, cuestionarios	Gestión de datos
Vandenbroucke (2005)	Supranacional	Monitorear la dinámica	Comentarios de expertos, examen de sitios web	Gestión de servicios de datos Algunas cuestiones de gobernanza

Kok y Van Loenen (2005)	Nacional	Evaluar el contexto organizacional	Estudios de caso, teoría del cambio organizacional	Gestión
Halsing <i>et al.</i> (2006)	Nacional	Análisis costo/beneficio	Simulación por ordenador	Gestión de servicios de datos
Giff (2008)	Regional	Determinar el estado y desarrollo de las IDE	Indicadores Inspire	Eficacia, eficiencia y fiabilidad
Macharis y Crompvoets (2008)	Nacional-regional, local, privado	Evaluar por criterios de partes interesadas	Mamca	Gestión de datos, servicios, estándares, financiero
Van Loenen y Van Rij (2008)	Nacional	Monitorear la dinámica	Modelo de clasificación o madurez de IDE	Perspectiva organizacional
Crompvoets <i>et al.</i> (2008)		Evaluar por modelo multivista	Sistemas complejos adaptativos (CAS)	Rendición de cuentas (contabilidad), el conocimiento y el desarrollo de las IDE
Grus <i>et al.</i> (2011)	Nacional	Evaluar la implementación de la IDE	- Estudio de caso - Modelo orientado a resultados	- Indicadores de cumplimiento - Beneficios
Vandenbroucke <i>et al.</i> (2013)	Local	Medir el desempeño	Medición soportada en procesos de trabajo	Acceso, uso y disposición de datos
Perez <i>et al.</i> (2015)	Local	Determinar indicadores de desempeño de nuevas tendencias IDE	- Estudio de caso - Modelo de dinamicidad	Participación (a través del diálogo y empoderamiento) y dinamicidad en la geoweb.
Zwirowicz-Rutkowska (2017)	Nacional	Medir la eficacia de la IDE desde la perspectiva de los usuarios	Cuestionario	Desempeño organizacional

Nota: adaptado de [Georgiadou *et al.* \(2006\)](#).

Enfoques de evaluación

En proyectos de sistemas de información, la elección del enfoque de evaluación depende de diversos factores. El primero de ellos es la sincronización. Según varios autores ([Doherty](#)

y King 2004, Farbey *et al.* 1999, Hirschheim y Smithson 1999, Walter y Spitta 2004), hay tres momentos para realizar evaluaciones: *a priori* (donde la evaluación *ex ante* se define como necesaria para decidir si implementar el proyecto y, especialmente, para justificarlo); *durante* el desarrollo o implementación de sistemas o tecnologías, y *a posteriori* (donde la evaluación *ex post* intenta demostrar si las soluciones adoptadas produjeron o no los resultados y ganancias esperados) (Farbey *et al.*, 1999).

Otro factor importante es la complejidad y la importancia de los sistemas de información (SI) o de tecnologías de información (TI) evaluados. El gobierno de TI implica que la organización utilice al máximo sus recursos, y maximice sus beneficios a través de unos lineamientos claros y definidos (Velásquez *et al.*, 2015). Cuando son sistemas sociotécnicos complejos y omnipresentes, como las iniciativas de IDE, sus ciclos de vida tienden a extenderse durante largos periodos de tiempo. Dependiendo del nivel de incertidumbre en cuanto a los objetivos y en cuanto a causa y efecto, surgen cuatro posibles orientaciones de evaluación: de control, como aprendizaje, como sentido y exploratoria. Estas se definen en términos de su naturaleza, su propósito y el rol de evaluador en el proceso. Teniendo en cuenta el entorno dinámico de los procesos y actores involucrados en la administración de tierras y su transformación digital (en atención a la política de gobierno digital), se identifican dos enfoques aplicables: (a) la evaluación exploratoria, para comprender la transición a procesos digitales y a una nueva visión de la ICDE en cuanto a su modelo de negocio; y (b) la evaluación de control, para evaluar las interacciones entre la política pública y la sociedad, junto con los servicios para los ciudadanos (Georgiadou *et al.*, 2006).

Eficiencia, eficacia y efectividad

En los estudios relacionados se menciona igualmente que la medición de la eficiencia y eficacia de las IDE son válidas no solo para monitorear su desarrollo, sino también sus transiciones y cambios. Autores como Lance *et al.* (2006) afirman que los objetivos de una IDE apuntan más a la eficiencia que a la eficacia (Zwirowicz-Rutkowska, 2017). La eficiencia, por su parte, se ha abordado de forma diferente, según estudios de gestión y organización (Kok y Van Loenen, 2005; Giff y Crompvoets, 2008; Grus *et al.*, 2011), económicos (Craglia y Campagna 2010), así como de la teoría de sistemas de información (Stuedler *et al.*, 2008; Nedović-Budić *et al.*, 2008).

Autores como Heffron (1989) resaltan la multidimensionalidad y dificultad de medir el concepto de *efectividad*. Este no siempre se define o interpreta de manera coherente dentro de las disciplinas ni entre ellas. Zwirowicz-Rutkowska (2017, p. 371) trata estos conceptos aplicados al área de IDE, razón por la cual es la adoptada para este trabajo.

La eficacia se refiere al grado en que el desempeño de las funciones de los usuarios y también sus necesidades son respaldadas y cubiertas por los componentes de la IDE, en términos de su utilidad, accesibilidad y usabilidad de los artefactos de sus proyectos. También se refiere al logro de los objetivos comerciales de las unidades organizativas que utilizan la IDE. El alcance propuesto de efectividad deriva de conceptos de la teoría de la efectividad de la información, incluyendo (Nedović-Budić *et al.*, 2008) uso efectivo, efectividad organizacional, satisfacción del usuario, valor de la información geográfica, efectividad operativa, así como (Hamilton y Chervany, 1981) la eficacia del sistema y también (Murphy, 2002) el valor comercial de la tecnología de la información.

Contexto

En el contexto nacional, la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE) ha considerado recientemente el *Marco de integración de información geoespacial* propuesto por expertos de Naciones Unidas, con las nueve vías estratégicas aplicables a proyectos IDE: gobierno e instituciones, político y legal, financiero, datos, innovación, estándares, asociaciones, capacidades, y comunicación y compromiso (United Nations, 2018). A partir de estos, desde el año 2021 la IDE nacional adoptó como componentes: gobierno, gestión de datos, estándares de información, comunicación, fortalecimiento de capacidades, innovación y financiero. Según el marco mencionado, el primero se desarrolla en las siguientes líneas de acción: instrumentos de reglamentación, estructura organizacional, plan estratégico/plan de acción y, propuesta de valor (United Nations, 2019).

Diversos diagnósticos, como el elaborado por el Banco Mundial, han evidenciado la necesidad de mejorar la gobernanza de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE), razón por la cual el fortalecimiento de la ICDE se ha vinculado a políticas públicas sobre catastro y administración de tierras (The World Bank, 2019), como el Conpes 3958 de 2019 y el Conpes 4007 de 2020. En tal sentido, se propone la formulación de indicadores que midan el desempeño de la ICDE, al servicio de la administración de tierras, en lo referente al componente de gobierno, en los ámbitos político, económico y social.

Metodología

Se inició con el reconocimiento de los indicadores formulados en los estudios existentes en el contexto internacional, a partir de lo cual se llevó a cabo la propuesta, diseño, selección y validación de indicadores, basados en normatividades o documentos técnicos relacionados con la temática de administración de tierras. Esta propuesta inicial de indicadores estuvo sujeta a diseño para ser expresados como claves de desempeño, tras lo cual se aplicaron metodologías

de selección para obtener un conjunto mínimo, se validaron teorías y técnicas, con atención en metodologías consultadas y en observaciones del equipo ICDE.

La segunda fase de la metodología comprende la elaboración de dos modelos: uno multicriterio y multiactor (MAMCA, por su sigla en inglés), que se ajustó a los intereses de cinco actores de la administración de tierras; y otro de gestión *balance scorecard*, para lo cual se ajustaron sus perspectivas al componente de gobierno de la ICDE.

Finalmente, se aplicó en un momento el modelo de análisis MAMCA a los cinco actores, de acuerdo con sus criterios y con los indicadores de los ámbitos político, social y económico. Asimismo, se implementaron los indicadores resultantes al modelo multidimensional *balance scorecard* ajustado al componente de gobierno de la ICDE.

Resultados

Se estudiaron diversas normativas y documentos técnicos relacionados con la ICDE y la administración de tierras, principalmente la política pública *Estrategia para el fortalecimiento de la gobernanza en el sistema de administración del territorio*, en cuanto al fortalecimiento de la estandarización e interoperabilidad de datos, y estrategias de difusión y uso de la información ([Departamento Nacional de Planeación \[DNP\], 2020](#)); la política de catastro multipropósito, sobre el suministro e integración de datos, gobernanza del catastro y creación de capacidades ([DNP, 2019a](#)), y otras como la política de transformación digital ([DNP, 2019b](#)) y su plan de transformación digital ([Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones \[MinTIC\], 2020](#)). También sirvieron de fundamento documentos como el *Marco de Referencia Geoespacial* (MRG) de la ICDE, publicado en junio de 2021; el informe del Grupo Banco Mundial pa2ra Colombia de 2020 ([World Bank Group, 2020](#)); una propuesta de diseño de una IDE autoría de la cooperación internacional ([Swiss Tierras, 2017](#)), y documentos internos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), como su plan de acción en la operación de la ICDE, propuestas del decreto reglamentario para ICDE y reglamentos asociados. Adicionalmente, se analizaron experiencias internacionales y locales, como la de Giff aplicada a Geoconnections; la IDE de Canadá (Giff y Crompvoets, 2008); y la de la Infraestructura de Datos Espaciales del Distrito Capital (IDECA) a la IDE Regional ([Unidad Administrativa Especial Catastro Distrital, 2018](#)).

En el conjunto inicial de indicadores propuestos (49) se implementaron métodos de depuración y diseño, a partir de algunas reglas planteadas por [Parmenter \(2019\)](#) para el diseño de indicadores clave de desempeño (*key performance indicators*, KPI), enfocadas en la medición oportuna, redacción acertada con el objeto a alcanzar y evitar daños o costos elevados ([Parmenter, 2019](#)). Tras la aplicación de estas reglas, se llevó a cabo una reformulación de medidas

y formulación de nuevos indicadores, ejercicio del cual se obtuvo un total de 51 que se relacionan en la tabla 2.

Tabla 2. Propuesta base de indicadores clave de desempeño

Nombre del indicador propuesto
Instrumento reglamentario que declara las instancias de gobernanza publicado.
Número de instrumentos de reglamentación nuevos que den apoyo legal y reconocimiento de seguir desarrollando la ICDE (leyes, decretos, políticas, directivas, resoluciones, acuerdos o compromisos) oficializados y publicados.
Porcentaje de avance en la operación de la gobernanza de la ICDE: lanzamiento del Marco de Referencia Geoespacial (MRG), plenarias I y II, comités intersectoriales.
Porcentaje de avance en la elaboración de procedimientos institucionales IGAC para operación ICDE.
Porcentaje de considerandos del Reglamento para el funcionamiento de mesas de trabajo cumplidos.
Acto administrativo que reglamenta la oficialidad de la información de administración de tierras expuesta por la ICDE elaborado y sometido a revisiones o gestión para su firma y publicación.
Instrumento jurídico que establece el modelo de gobernanza de modelos extendidos finalizado y oficializado.
Instrumento jurídico para la adopción de los datos fundamentales ICDE formulado.
Porcentaje de actores y usuarios que reconocen el coordinador de la ICDE como un líder.
Porcentaje de funciones de la Comisión Intersectorial cumplidas, incluida la celebración de tres sesiones al año.
Porcentaje de funciones de la Secretaría técnica cumplidas.
Porcentaje de funciones de la Coordinación cumplidas.
Porcentaje de funciones de las mesas técnicas cumplidas, incluida la celebración de tres sesiones al año.
Porcentaje de temas discutidos en mesas técnicas que atienden necesidades en intercambio y en trámites de administración de tierras en el Gobierno nacional o local.
Nuevos documentos técnicos relacionados con temas de promoción de interoperabilidad de información de AT discutidos y concluidos en las mesas técnicas.
Nuevos documentos técnicos relacionados con temas de uso de nuevas tecnologías, metodologías y estándares discutidos y concluidos en las mesas técnicas.
Nuevos documentos técnicos relacionados con propuesta de políticas, estrategias, directrices, arreglos institucionales relacionados con administración de tierras discutidos y concluidos en las mesas técnicas.
Porcentaje de actores productores de información partícipes en la ICDE.
Porcentaje de actores usuarios de información partícipes en la ICDE.
Aumento de la tasa de actores del sector público participando en la ICDE.
Aumento de la tasa de actores del sector privado participando en la ICDE.
Aumento de la tasa de actores de la academia participando en la ICDE.
Aumento de la tasa de actores de organismos internacionales participando en la ICDE.
Número de convenios o contratos que vinculen nuevos actores de la ICDE.
Porcentaje de entidades del gobierno de ICDE que aceptan la visión ICDE y la involucran en sus planes de acción.
Mejor comprensión del panorama normativo circundante a través de la formulación de proyectos que atienden a las necesidades del país.
Porcentaje de instrumentos de apoyo necesarios para la implementación del MRG elaborados y publicados en el portal.

Tabla 2. Propuesta base de indicadores clave de desempeño

Nombre del indicador propuesto
Propuesta de adopción del MRG de acuerdo a nivel de desarrollo de la IDE o proyecto geoespacial elaborada.
Número de componentes con definición de niveles de desarrollo para adaptación al MRG.
Hoja de ruta del MRG elaborada, priorizando su aplicación en entidades productoras de DF y de OT finalizada.
Porcentaje de observaciones que, recibidas tras la socialización del MRG, debidamente tratadas y adoptadas o rechazadas con sustento.
Porcentaje de entidades priorizadas en una vigencia que fueron asesoradas en la implementación del MRG.
Porcentaje de componentes priorizados (en entidades priorizadas) que fueron mejorados/madurados.
Porcentaje de avance en formulación del plan estratégico 2022-2025.
Porcentaje de ejecución del plan estratégico 2022-2025.
Porcentaje de ejecución del plan de acción anual.
Porcentaje de avance en la formulación de los lineamientos de la ruta financiera de la ICDE.
Porcentaje de avance en la propuesta de valor de la ICDE.
Porcentaje de avance en determinación de costos sociales de la ICDE.
Porcentaje de recursos de la ICDE financiados por el Gobierno.
Porcentaje de recursos de la ICDE financiados por otros fondos.
Documento con los lineamientos para la construcción de un inventario oficial de objetos territoriales que constituyen derechos, restricciones y responsabilidades.
Número de opciones de mejora resultantes de la aplicación de lineamientos para la construcción del inventario oficial de objetos territoriales, que hayan sido resueltas.
Documento con metodología para la definición de modelos extendidos LADM_COL y la caracterización de los objetos territoriales asociados a derechos, restricciones y responsabilidades.
Número de opciones de mejora resultantes de la aplicación de la metodología de construcción de LADM que hayan sido resueltas.
Documento con lineamientos para ventanilla integrada de consulta y gestión de información sobre la administración del territorio elaborado.
Lineamientos para la disminución de trámites de administración de tierras formulado.
Lineamientos para la disminución de costos para trámites de administración de tierras a nivel municipal formulados.
Lineamientos para la disminución de tiempos para trámites de administración de tierras formulados.
Porcentaje de avance en la elaboración del inventario y priorización de los objetos territoriales que constituyen derechos, restricciones y responsabilidades.
Número de objetos territoriales registrados.
Número de objetos territoriales priorizados para Catastro multipropósito caracterizados para su posterior publicación.

Posteriormente, se seleccionó un conjunto reducido de indicadores, con consideración de un método propuesto por [Franceschini et al. \(2019\)](#) que, con la metodología *independent scoring method*, de [Akao \(1988\)](#), emplea una matriz compuesta por los objetivos de la ICDE o sistema en estudio (en las filas) y los indicadores formulados (en las columnas) para relacionar la importancia absoluta y relativa. [Franceschini et al. \(2019\)](#) proponen una escala ordinal y cardinal

con los valores: “sin relación”, “relación débil”, “relación media” y “relación fuerte”, a partir de los cuales se señaló la importancia o relevancia general de los objetivos ICDE respecto a su gobierno en la administración de tierras (tabla 3).

Tabla 3. Selección de indicadores. Método de puntuación independiente

Objetivo ICDE	Importancia	Indica dor 1	Indica dor 2	Indica dor 3	...	Indica dor 49	Indica dor 50	Indica dor 51
1. Propender por el fin superior de fortalecer la relación de los ciudadanos con el Estado, a partir de la adecuada atención y provisión de servicios geoespaciales, en busca de la optimización en el uso de los recursos.	3							
2. Estimular la cooperación e investigación con otras IDE, con el fin de ampliar el nivel de conocimiento y accesibilidad de la información geográfica.	3							
3. Promover el desarrollo y construcción de otras IDE en el país.	4							
4. Definir, implementar y operar un esquema de gobernanza que garantice la integración, interoperabilidad y sostenibilidad de recursos geoespaciales.	5							
5. Permitir la generación de valor estratégico a partir de la ejecución de acciones orientadas a responder a las necesidades del Gobierno y la sociedad.	5							
6. Desarrollar y promover el cumplimiento de lineamientos (políticas y estándares) en torno a la gestión de la información geográfica, que permitan asegurar su calidad, actualidad y disponibilidad (de IG).	4							
7. Promover el desarrollo de una cultura geográfica nacional orientada a maximizar el uso y aprovechamiento de los recursos geoespaciales.	2							

El resultado de la importancia absoluta para cada uno de los 51 indicadores consolidados hasta este punto del trabajo se enseña en la tabla 4.

Tabla 4. Importancia absoluta de cada indicador

Código del indicador	Importancia relativa (%)	Código del indicador	Importancia relativa (%)	Código del indicador	Importancia relativa (%)
1	3,79	18	1,08	35	5,62
2	2,54	19	1,08	36	1,44
3	1,68	20	1,20	37	1,15
4	1,70	21	1,20	38	1,13
5	2,18	22	1,20	39	1,08
6	1,87	23	1,20	40	1,08
7	2,28	24	1,15	41	2,02
8	1,82	25	2,30	42	1,08
9	1,30	26	1,15	43	2,33
10	2,59	27	1,85	44	1,08
11	2,59	28	0,96	45	2,35
12	1,58	29	1,94	46	2,09
13	2,50	30	1,22	47	2,02
14	2,06	31	1,39	48	1,63
15	1,56	32	1,39	49	2,28
16	1,56	33	5,62	50	2,14
17	2,16	34	5,62	51	2,14

Debido a que la mayoría de los indicadores se relacionan con el ámbito político, se aplicó el umbral de selección únicamente a los pertenecientes a dicho ámbito, y se conservaron aquellos que representaban las temáticas económica y social.

Se obtuvieron 39 indicadores; en la tabla 5 se señala su número, según el ámbito al que aplica y a la línea de acción del componente de gobierno al que corresponde.

Para finalizar la propuesta de indicadores, se realizaron validaciones teóricas propuestas por Franceschini *et al.* (2019), que vigilan la redundancia, consecuencia, exhaustividad, simplicidad, el nivel de detalle y reportes al corto plazo. De igual forma, se efectuaron validaciones técnicas por parte del equipo ICDE, las cuales permitieron retirar y modificar indicadores; al final, este ejercicio arrojó un total de 37, asociados a los ámbitos político (tabla 6), social (tabla 7) y económico (tabla 8).

Tabla 5. Relación del número de indicadores resultantes de la selección

Ámbito	Número	Área de desempeño/línea IGIF
Político	25	Instrumentos de reglamentación. Modelo de gobernanza. Estrategia de cambio/MRG. Plan de acción/Plan estratégico ICDE. Gobierno de datos.
Económico	5	Propuesta de valor. Gobierno de datos.
Social	9	Modelo de gobernanza. Gobierno de datos.

Tabla 6. Resultado de indicadores propuestos del ámbito político

Nombre indicador	Área de desempeño/línea de gobierno ICDE
Porcentaje de avance en formulación del plan estratégico 2022-2025.	Plan de acción/Plan estratégico ICDE.
Porcentaje de ejecución del Plan estratégico 2022-2025	Plan de acción/Plan estratégico ICDE.
Porcentaje de ejecución del plan de acción anual.	Plan de acción/Plan estratégico ICDE.
Instrumento reglamentario que declara las instancias de gobernanza publicado.	Instrumentos de reglamentación.
Porcentaje de funciones de la Comisión Intersectorial cumplidas, incluida la celebración de tres sesiones al año.	Modelo de gobernanza.
Número de instrumentos de reglamentación nuevos que den apoyo legal y reconocimiento de seguir desarrollando la ICDE (leyes, decretos, políticas, directivas, resoluciones, acuerdos o compromisos) oficializados y publicados.	Instrumentos de reglamentación que declaren las instancias de nivel decisorio, coordinación y operativo.
Porcentaje de funciones de las mesas técnicas cumplidas, incluida la celebración de tres sesiones al año.	Modelo de gobernanza.
Documento con lineamientos para ventanilla integrada de consulta y gestión de información sobre la administración del territorio elaborado.	Gobierno de datos.
Documento con metodología para la definición de modelos extendidos LADM_COL y la caracterización de los objetos territoriales asociados a derechos, restricciones y responsabilidades.	Gobierno de datos.
Instrumento jurídico que establece el modelo de gobernanza de modelos extendidos finalizado y oficializado.	Instrumentos de reglamentación.
Lineamientos para la disminución de trámites de administración de tierras formulado.	Gobierno de datos.

Porcentaje de avance en la elaboración del inventario y priorización de los objetos territoriales que constituyen derechos, restricciones y responsabilidades.	Gobierno de datos.
Porcentaje de temas discutidos en mesas técnicas que atienden necesidades en intercambio y en trámites de administración de tierras en el Gobierno nacional o local.	Modelo de gobernanza.
Documento con los lineamientos para la construcción de un inventario oficial de objetos territoriales que constituyen derechos, restricciones y responsabilidades.	Gobierno de datos.
Número de objetos territoriales registrados.	Gobierno de datos.
Hoja de ruta del Marco de Referencia Geoespacial (MRG) elaborada, priorizando su aplicación en entidades productoras de DF y de OT finalizada.	Estrategia de cambio/MRG.
Porcentaje de instrumentos de apoyo necesarios para la implementación del MRG elaborados y publicados en el portal.	Estrategia de cambio/MRG.
Número de objetos territoriales priorizados para CM caracterizados para su posterior publicación.	Gobierno de datos.
Instrumento jurídico para la adopción de los datos fundamentales ICDE formulado.	Instrumentos de reglamentación.
Porcentaje de avance en la elaboración de procedimientos institucionales IGAC para operación ICDE.	Modelo de gobernanza.
Porcentaje de funciones de la Coordinación cumplidas.	Modelo de gobernanza.
Número de opciones de mejora resultantes de la aplicación de lineamientos para la construcción del inventario oficial de objetos territoriales, que hayan sido resueltas.	Gobierno de datos.
Número de opciones de mejora resultantes de la aplicación de la metodología de construcción de LADM que hayan sido resueltas.	Gobierno de datos.

A continuación, la segunda fase comprende la elaboración y aplicación de dos modelos: uno multicriterio y multiactor, con los indicadores propuestos inicialmente, y otro de gestión, ajustado a la ICDE con los indicadores resultantes. El primer modelo se basó en la metodología *multi-actor multi-criteria analysis* (MAMCA), dirigida a los tomadores de decisiones en un proceso en el que se proporciona información y análisis sobre los impactos de un proyecto o iniciativa (Geudens *et al.*, 2009), en relación con los objetivos de los actores involucrados. Se desarrolla en dos fases: (a) analítica, que recopila de toda la información necesaria, y (b) análisis real y explotación (Macharis y Crompvoets, 2014).

Los grupos de interés relevantes para incorporar sus puntos de vista en el estudio se determinaron de acuerdo con los actores identificados en el sistema de administración de tierras:

- Gobierno central socio de la administración de tierras.
- Gobierno central interesado en la administración de tierras.

- Gobierno local interesado en la administración de tierras.
- Academia/Investigación.
- Privado.

La metodología para obtener y modelar las opiniones de las partes interesadas acerca de los criterios o indicadores formulados se basó en ponderaciones o asignación de pesos. Para ello se empleó el método del proceso de jerarquía analítica (*analytic hierarchy process, AHP*) (Saaty, 1980, 1988). Esta técnica utiliza comparaciones por pares para generar una clasificación de los diferentes criterios/indicadores. Para su desarrollo se invitó a un representante de cada grupo de interesados y se evaluaron los indicadores, a partir de los intereses de cada actor y del objetivo de este trabajo.

Tabla 7. Resultado de indicadores propuestos del ámbito social

Nombre indicador	Área de desempeño/línea de gobierno ICDE
Porcentaje de entidades del gobierno de ICDE que aceptan la visión ICDE y la involucran en sus planes de acción.	Modelo de gobernanza.
Lineamientos para la disminución de tiempos para trámites de administración de tierras formulados.	Gobierno de datos.
Porcentaje de actores y usuarios que reconocen el coordinador de la ICDE como un líder.	Modelo de gobernanza.
Aumento de la tasa de actores del sector público participando en la ICDE.	Modelo de gobernanza.
Aumento de la tasa de actores del sector privado participando en la ICDE.	Modelo de gobernanza.
Aumento de la tasa de actores de la academia participando en la ICDE.	Modelo de gobernanza.
Aumento de la tasa de actores de organismos internacionales participando en la ICDE.	Modelo de gobernanza.
Porcentaje de actores productores de información partícipes en la ICDE.	Modelo de gobernanza.
Porcentaje de actores usuarios de información partícipes en la ICDE.	Modelo de gobernanza.

Tabla 8. Resultado de indicadores propuestos del ámbito económico

Nombre indicador	Área de desempeño/línea de gobierno ICDE
Lineamientos para la disminución de costos para trámites de administración de tierras a nivel municipal formulados.	Gobierno de datos.
Porcentaje de avance en la formulación de los lineamientos de la ruta financiera de la ICDE.	Propuesta de valor.
Porcentaje de avance en la propuesta de valor de la ICDE.	Propuesta de valor.
Porcentaje de crecimiento del presupuesto de la ICDE.	Propuesta de valor.
Porcentaje de incremento de fondos diferentes al del gobierno.	Propuesta de valor.

Se resaltan algunos resultados del MAMCA, y de la Agencia Nacional de Tierras, con algunos indicadores del ámbito político que se ajustan a sus intereses (figura 1); las impresiones del sector ambiente para algunas medidas de interés del ámbito económico (figura 2), y del departamento de Cundinamarca en el ámbito social (figura 3).

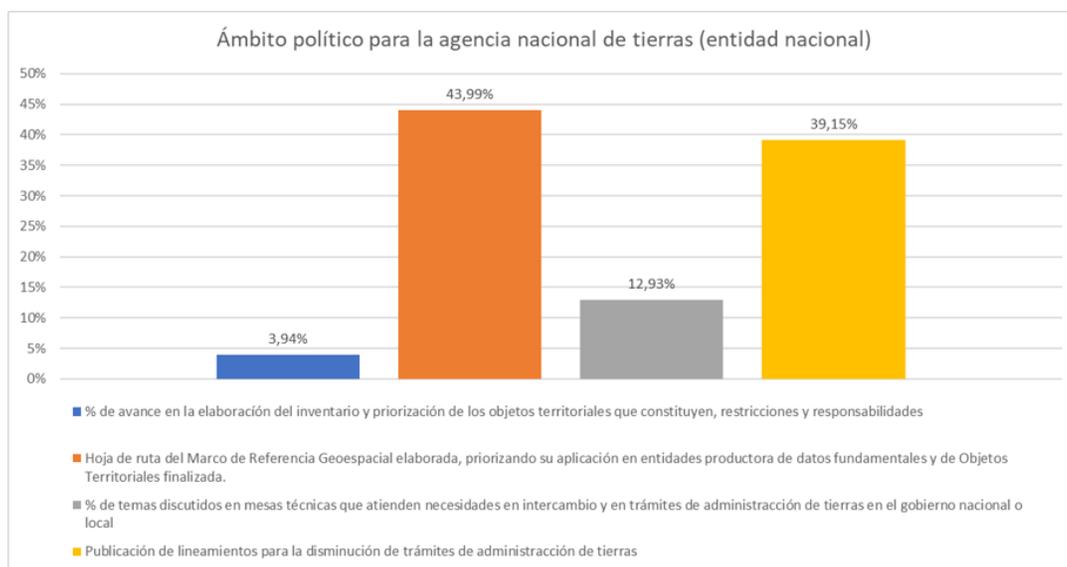


Figura 1. Resultados MAMCA, Agencia Nacional de Tierras, ámbito político

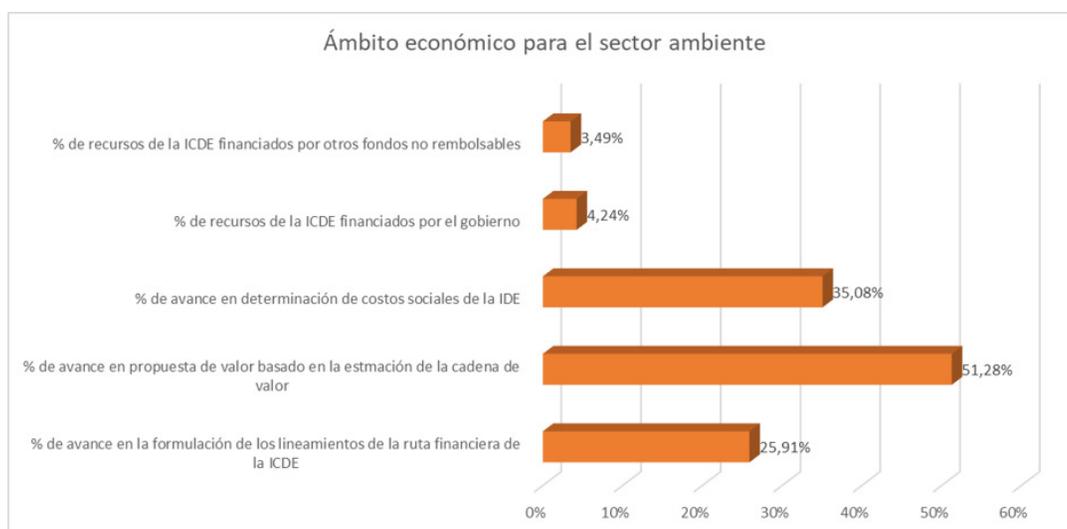


Figura 2. Resultados MAMCA, sector ambiente, ámbito económico



Figura 3. Resultados MAMCA, del departamento de Cundinamarca desde el ámbito social

El segundo modelo aplicado fue *balance scorecard*, conocido como un marco multidimensional que utiliza medidas para describir estrategias de una organización, aplicable a diferentes disciplinas, y para medir el desempeño estratégico organizacional (Toomanian *et al.*, 2011). El modelo también constituye sistemas de medición de desempeño y gestión que guían a organizaciones en la transformación de su visión y estrategia (Sánchez *et al.*, 2023). Bajo este enfoque, la estrategia organizacional se divide en cuatro perspectivas: beneficio y economía, cliente, proceso interno y aprendizaje y crecimiento. Según Kaplan y Norton (2000):

Strategy maps show how an organization plans to convert its various assets into desired outcomes. Companies can use the template here to develop their own strategy maps, which are based on the balanced scorecard. At far left, from bottom to top, the template shows how employees need certain knowledge, skills, and systems (learning and growth perspective) to innovate and build the right strategic capabilities and efficiencies (internal process perspective) so that they can deliver specific value to the market (customer perspective), which will lead to higher shareholder value (financial perspective)]. [Los mapas estratégicos muestran cómo una organización planea convertir sus diversos activos en los resultados deseados. Las empresas pueden utilizar la plantilla para desarrollar sus propios mapas estratégicos, que se basan en el *balance scorecard*. En el extremo izquierdo, de abajo hacia arriba, la plantilla muestra cómo los empleados necesitan ciertos conocimientos, habilidades y sistemas (perspectiva de aprendizaje y crecimiento) para innovar y desarrollar las capacidades y eficiencias estratégicas adecuadas (perspectiva de proceso interno) para que puedan ofrecer un valor específico al mercado (perspecti-

va del cliente), lo que conducirá a un mayor valor para los accionistas (perspectiva financiera)]. (p. 169)

Para la evaluación de desempeño del gobierno de la ICDE, mediante *balance scorecard*, se recurre al conjunto de indicadores propuesto y requiere información adicional de ellos, que se encuentra en la caracterización que acompaña como anexo a este trabajo. Es decir, requiere la consulta de las fuentes de información que deben ser recurrentes, fáciles de recopilar, fiables y no deben significar una carga o gran costo para el IGAC o la institución involucrada en la medición. Las fuentes, en su mayoría, están constituidas por los informes de ejecución del plan de acción de la ICDE, los informes de ejecución de plan estratégico ICDE, informes de plan de acción ICDE, informes de ejecución del Conpes 4007 (DNP, 2020) y una encuesta de percepción anual. Esta encuesta debe ser anonimizada y dispuesta a través de medios web oficiales de la ICDE o su secretaría técnica.

Debido a que la ejecución de la política de administración de tierras se encuentra en una fase inicial y que la iniciativa ICDE está siendo objetivo de una fase inicial de redireccionamiento, y en una etapa temprana de implementación, no ha sido posible contar con resultados que den cuenta del cumplimiento de estos indicadores por un periodo prudente. Es de aclarar que conforme se desarrolló este trabajo, se estaban formulando actividades o propuestas.

En la práctica, la aplicación del *balance scorecard* en el componente de gobierno de la ICDE obedece al reconocimiento de sus perspectivas en su operación de la siguiente forma:

- *Proceso interno*. La perspectiva de proceso interno es muy importante al medir la implementación de la IDE. Por esta razón, el planteamiento de metas depende del estado del nivel de implementación de la IDE requerido. Se tienen en cuenta aspectos como estructura organizativa, regulaciones, procesos institucionales, arreglos institucionales, producción de datos y servicios, estandarización, control de calidad, aseguramiento de la calidad, interoperabilidad, entorno de colaboración y de intercambio de datos, tratamiento a barreras que inhiben el intercambio, disponibilidad y uso. En la tabla 9 se relacionan los indicadores asociados a esta perspectiva.

Tabla 9. Modelo balance scorecard para procesos internos

Indicador	Ámbito
Porcentaje de ejecución del plan estratégico 2022-2025.	Político.
Porcentaje de ejecución del plan de acción anual.	Político.
Instrumento reglamentario, publicado, que declara las instancias de gobernanza.	Político.
Porcentaje de funciones de la Comisión Intersectorial cumplidas, incluida la celebración de tres sesiones al año.	Político.

Número de instrumentos de reglamentación nuevos, oficializados y publicados, que den apoyo legal y reconocimiento de seguir desarrollando la ICDE (leyes, decretos, políticas, directivas, resoluciones, acuerdos o compromisos).	Político.
Porcentaje de funciones de las mesas técnicas cumplidas, incluida la celebración de tres sesiones al año.	Político.
Documento con lineamientos, elaborado, para ventanilla integrada de consulta y gestión de información sobre la administración del territorio.	Político.
Instrumento jurídico, finalizado y oficializado, que establece el modelo de gobernanza de modelos extendidos.	Político.
Lineamientos formulados para la disminución de trámites de administración de tierras.	Político.
Lineamientos formulados para la disminución de costos para trámites de administración de tierras a nivel municipal	Económico.
Lineamientos formulados para la disminución de tiempos para trámites de administración de tierras.	Social.
Porcentaje de avance en la elaboración del inventario y priorización de los objetos territoriales que constituyen derechos, restricciones y responsabilidades.	Político.
Porcentaje de temas discutidos en mesas técnicas que atienden necesidades en intercambio y en trámites de administración de tierras en el gobierno nacional o local.	Político.
Documento con los lineamientos para la construcción de un inventario oficial de objetos territoriales que constituyen derechos, restricciones y responsabilidades.	Político.
Número de objetos territoriales registrados.	Político.
Hoja de ruta del Marco de Referencia Geoespacial (MRG) elaborada, priorizando su aplicación en entidades productoras de DF y de OT finalizada.	Político.
Porcentaje de instrumentos de apoyo necesarios para la implementación del MRG elaborados y publicados en el portal.	Político.
Número de objetos territoriales priorizados para CM caracterizados para su posterior publicación.	Político.
Instrumento jurídico formulado para la adopción de los datos fundamentales ICDE.	Político.
Porcentaje de avance en la elaboración de procedimientos institucionales IGAC para operación ICDE.	Político.
Porcentaje de funciones de la Coordinación cumplidas.	Político.

- *Clientes/usuarios*. En las IDE, el cliente está conformado por los usuarios de datos y servicios geoespaciales, entendido como organizaciones públicas, privadas, académicas y la ciudadanía. Se consideran aspectos como el reconocimiento de las necesidades y la retroalimentación de los clientes. El aspecto más importante para reconocer en esta perspectiva, para evaluar la IDE, es la satisfacción del cliente, así como el uso de los datos y servicios que se ofrecen. Como se mencionó anteriormente, los indicadores propuestos en este estudio corresponden a una evaluación *ex ante* del entorno político actual de administración de tierras, por esta razón, como se evidencia en la tabla 10, solo se relacionaron aspectos dirigidos a evaluar de forma general la caracterización de los clientes (por su composición en la Infraestructura), así como su apoyo y su opinión ante la coordinación

de la ICDE.

Tabla 10. Modelo balance scorecard para clientes/usuarios

Indicador	Ámbito
Porcentaje de actores y usuarios que reconocen el coordinador de la ICDE como un líder.	Social.
Aumento de la tasa de actores del sector público participando en la ICDE.	Social.
Aumento de la tasa de actores del sector privado participando en la ICDE.	Social.
Aumento de la tasa de actores de la academia participando en la ICDE.	Social.
Aumento de la tasa de actores de organismos internacionales participando en la ICDE.	Social.
Porcentaje de actores productores de información partícipes en la ICDE.	Social.

- *Beneficio y economía.* El propósito principal de una IDE es beneficiar al Estado y la sociedad con el uso y conocimiento de los recursos geoespaciales y sus beneficios pueden manifestarse en términos económicos. El ámbito financiero de una IDE tiene por reto determinar el valor de su operación, la información, los ingresos totales del mercado de la IDE y sus beneficios. Este ha sido un tema complejo y desafiante no solo a nivel nacional sino internacional. Así mismo, esta perspectiva tiene por objetivo identificar el subsidio o financiación de la IDE por parte del Gobierno u otros entes gubernamentales y no gubernamentales. En este estudio se contemplan indicadores que buscan identificar la distribución u origen de su financiación y propuesta de valor de la ICDE, medir la formulación de actividades que buscan lograr dichos objetivos. En la tabla 11 se listan los indicadores propuestos que responden a esta perspectiva.

Tabla 11. Modelo balance scorecard de beneficio y economía

Indicador	Ámbito
Porcentaje de avance en la formulación de los lineamientos de la ruta financiera de la ICDE.	Económico.
Porcentaje de avance en la propuesta de valor de la ICDE.	Económico.
Porcentaje de crecimiento del presupuesto de la ICDE.	Económico.
Porcentaje de incremento de fondos diferentes al del Gobierno.	Económico.

- *Aprendizaje y crecimiento.* Consiste en el desarrollo de capacidades individuales (personas). Esta perspectiva reconoce la importancia de que los gerentes sean conscientes de las necesidades y beneficios de una IDE exitosa, y del rol de las capacidades creadas en los actores. En este estudio, al carecer de proyecciones de actividades de formación y capacitaciones, se tuvo en cuenta una medida importante del empoderamiento de los actores, a través de su participación en la formulación del plan estratégico de la ICDE y la de aquellos actores del gobierno ICDE que aceptan la visión de la Infraestructura y la invo-

lucran en sus planes de acción y procesos. Adicionalmente, como se enseña en la tabla 12, se vinculó la medición de la generación y seguimiento a documentos que buscan crear capacidades en la comunidad en aspecto técnicos.

Tabla 12. Modelo balance scorecard para aprendizaje y crecimiento

Indicador	Ámbito
Porcentaje de avance en formulación del plan estratégico 2022-2025.	Político
Documento con metodología para la definición de modelos extendidos LADM_COL y la caracterización de los objetos territoriales asociados a derechos, restricciones y responsabilidades.	Político
Porcentaje de entidades del gobierno de ICDE que aceptan la visión ICDE y la involucran en sus planes de acción.	Social
Número de opciones de mejora, resultantes de la aplicación de lineamientos para la construcción del inventario oficial de objetos territoriales, que hayan sido resueltas.	Político
Número de opciones de mejora, resultantes de la aplicación de la metodología de construcción de LADM, que hayan sido resueltas	Político

Para el momento de la medición del cumplimiento de estos indicadores, aún no se ha finalizado la primera vigencia de cumplimiento de las disposiciones de la política de administración de tierras ni de otras disposiciones de la ICDE, dado que se encuentran en una etapa inicial de implementación.

Conclusiones

Las experiencias existentes en evaluación de desempeño de IDE a nivel internacional tienen pocos casos de medición del componente de gobierno u organizacional, y debido a la reciente formulación de los lineamientos de Naciones Unidas y su comité de expertos en gestión de información geoespacial, no han sido objeto de medición. Sin embargo, los resultados de este trabajo son producto de metodologías internacionales aplicadas a diversos proyectos de SI, pero solo en algunos pocos casos IDE, como Suiza y uno formulado en Colombia para la IDE Regional. De estos, ninguno evaluó el componente de gobierno bajo el *Marco de integración de información geoespacial* de Naciones Unidas por las razones y mencionadas. Debido a que las políticas y lineamientos que se tuvieron en cuenta en este estudio están en su fase inicial de implementación, se logró diseñar un modelo para la medición del desempeño del gobierno de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE) aplicada a la administración de tierras, a través de la formulación de indicadores de eficacia con una evaluación *ex ante*. Adicionalmente, se cuenta con algunos indicadores que pueden medir algún beneficio posterior de la aplicación de dichas políticas.

Del número total de indicadores resultantes (37), el 62 % corresponde a aspectos políticos; 24 %, a sociales, y solo un 14 %, a económicos. Los indicadores de índole política están compuestos en su mayoría por asuntos del establecimiento del modelo de gobernanza y por lineamientos de gobierno de datos, que buscan establecer las bases para el intercambio de información útil para la administración de tierras. Estos aspectos, a pesar de ser objeto de una evaluación *ex ante*, son de gran importancia, ya que el aseguramiento de su correcto cumplimiento, darán guía para el fortalecimiento de la ICDE y se hace necesaria.

Por otro lado, el seguimiento de los resultados de la aplicación de las medidas propuestas requiere de la acción conjunta de varias entidades como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP). Esto ampliará la comprensión y desarrollo de la ICDE, tanto en dichas entidades directamente relacionadas con la aplicación de las políticas de catastro multipropósito y de administración de tierras, como en sus beneficiarios, entendidos como organizaciones y ciudadanía en general.

Por último, el modelo también facilitará al formulador de políticas y entidades responsables de su ejecución realizar el seguimiento anual a las actividades de la política de administración de tierras, concernientes a dicha IDE, por cuatro años. Tras finalizar dicho periodo, se podrán modificar los indicadores por unos de eficiencia y efectividad, expresándolos de forma que midan el impacto en el usuario de dicha política (entidades y ciudadanía).

La propuesta de indicadores de medición de desempeño podrá ser actualizada, no solo en la aplicación del modelo, sino en la reformulación o ajuste de indicadores. Esta reformulación de indicadores podrá incluir:

- Implementación y seguimiento del MRG: porcentaje de entidades priorizadas en una vigencia que fueron asesoradas en la implementación del MRG.
- Impacto del MRG: porcentaje de entidades ICDE que han acogido los lineamientos del MRG.
- Procedimientos institucionales del IGAC mejorados.
- Ejecución del MRG: componentes priorizados (en entidades priorizadas) en una asesoría de MRG que fueron mejorados/madurados.
- Nuevos casos IDE relacionados con Catastro multipropósito: porcentaje de gestores catastrales que operan IDE.
- Eficiencia en la toma de decisiones de la Comisión (resultados).

- Nuevos documentos técnicos relacionados con promoción de interoperabilidad de información de AT discutidos y concluidos en las mesas técnicas.
- Nuevos documentos técnicos relacionados con el uso de nuevas tecnologías, metodologías y estándares discutidos y concluidos en las mesas técnicas.
- Alineación estratégica de la ICDE sobre normatividad relacionada con territorio, para una mejor comprensión del panorama normativo circundante a través de la formulación de proyectos que atienden a las necesidades del país.

Se resalta que los aspectos económicos deben continuar siendo monitoreados y sus productos deben ser completamente ejecutados y asociados a la planeación estratégica.

En cuanto a la evaluación de desempeño de otros componentes, se podrán tener en cuenta la satisfacción de los usuarios; la calidad de los datos; el reconocimiento de las necesidades y la retroalimentación de los usuarios; los procesos de gestión de datos mejorados; el rendimiento del repositorio de datos maestro; la frecuencia de aportes al repositorio de datos maestro; el impacto en los servicios ciudadanos en los municipios y ciudadanía; uso de datos y servicios; la frecuencia de actualización; la reducción de tiempos en los trámites; el tiempo de respuesta de la plataforma.

Referencias

- Akao, Y. (1988). *Quality function deployment: integrating customer requirements into product design*. Productivity Press.
- Craglia, M. y Campagna, M. (2010). Advanced regional SDIs in Europe: Comparative cost-benefit evaluation and impact assessment perspectives. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 5, 145-167.
- Crompvoets, J., Bregt, A. Rajabifard, A. y Williamson, I. (2004). Assessing the worldwide developments of national spatial data clearinghouses. *International Journal of Geographical Information Science*, 18(7), 665-689.
- Crompvoets, J., Rajabifard, A., Van Loenen, B. y Delgado Fernández, T. (2008). Future directions for Spatial Data Infrastructure assessment. En J. Crompvoets, A. Rajabifard, B. van Loenen y T. Delgado Fernández (eds.), *A multi-view framework to assess Spatial Data Infrastructures* (pp. 385-397). The University of Melbourne. <https://eng.unimelb.edu.au/csdi/publications/multi-view-framework>

- Delgado, T., Lance, K., Buck, M. y Onsrud, H. (16-21 de abril de 2005). Assessing an SDI readiness index. [Sesión de congreso]. FIG Working Week 2005 and GSDI-8: From Pharaohs to Geoinformatics. El Cairo, Egipto. https://fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/cairo/tech_programme.htm
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2019a). *Conpes 3958. Estrategia para la implementación de la política pública de catastro multipropósito*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3958.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (8 de noviembre de 2019b). *Conpes 3975. Política nacional para la transformación digital e inteligencia artificial*. https://mintic.gov.co/portal/715/articles-107147_recurso_1.pdf
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (26 de octubre de 2020). *Conpes 4007. Estrategia para el fortalecimiento de la gobernanza en el sistema de administración del territorio*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/4007.pdf>
- Farbey, B., Land, F. y Targett, D. (1999). Evaluating investments in IT: Findings and a framework. En L. P. Willcocks y S. Lester (eds.), *Beyond the IT productivity paradox* (pp. 183-215). Wiley Series in Information Systems.
- Franceschini, F., Galetto, M. y Maisano, D. (2019). *Designing performance measurement systems: Theory and practice of key performance indicators*. Springer. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-01192-5>
- Georgiadou, Y., Rodriguez-Pabón, O. y Lance, K. T. (2006). Spatial data infrastructure (SDI) and E-governance: A quest for appropriate evaluation approaches. *URISA Journal*, 18(2), 43-55.
- Geudens, T., Macharis, C., Cromptvoets, J. y Plastria, F. (2009). Assessing spatial data infrastructure policy strategies using the multi-actor multi-criteria analysis. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 4, 265-297. <https://doi.org/10.2902/1725-0463.2009.04.art14>
- Giff, G. (2005). *Conceptual funding models for Spatial Data Infrastructure implementation*. [Tesis doctoral]. Library and Archives Canada, Bibliothèque et Archives Canada. <https://bac-lac.on.worldcat.org/oclc/430650995>
- Giff, G. (2008). A framework for designing performance indicators for Spatial Data Infrastructure assessment. En J. Cromptvoets, A. Rajabifard, B. van Loenen y T. Delgado Fernández (eds), *A multi-view framework to assess Spatial Data Infrastructures* (pp. 211-234). The University of Melbourne. <https://eng.unimelb.edu.au/csdl/publications/multi-view-framework>

- Giff, G. y Coleman, D. J. (2003). Financing SDI development: Examining alternative funding models. En I. Williamson, A. Rajabifard y M. Feeney (eds.), *Developing Spatial Data Infrastructures: From concept to reality* (pp. 211-233). Taylor & Francis.
- Giff, G. A. y Cromptoets, J. (2008). Performance indicators a tool to support spatial data infrastructure assessment. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(5), 365-376. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.08.001>
- Gobierno del Estado de España. (2018). Real Decreto-ley 2. Por el que se modifica el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, y por el que se incorporan al ordenamiento jurídico español la Directiva 2014/26/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, y la Directiva (UE) 2017/1564 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de septiembre de 2017. *Boletín Oficial del Estado*, (91), 38590-38644. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-5059>
- Grus, L., Castelein, W., Cromptoets, J., Overduin, T., Loenen, B., Van, Groenestijn, A., Van, Rajabifard, A. y Bregt, A. K. (2011). An assessment view to evaluate whether Spatial Data Infrastructures meet their goals. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(3), 217-229. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.09.004>
- Halsing, D., Theissen, K. y Bernknopf, R. (2006). *A cost-benefit analysis of The National Map*. (circular 1271) U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, <http://pubs.usgs.gov/circ/2004/1271/>
- Hamilton, S. y Chervany, N. L. (1981). Evaluating information system effectiveness - Part I: Comparing evaluation approaches. *MIS Quarterly*, 5(3). 55-69. <https://www.jstor.org/stable/249291>
- Heffron, F. A. (1989). *Organization theory and public organizations: the political connection*. Prentice Hall.
- Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales. (10 de junio de 2021). *Marco de Referencia Geoespacial*. <https://www.icde.gov.co/marcos/marco-de-referencia-geoespacial>
- Kaplan, R. S. y Norton, D. P. (2000). Having trouble with your strategy? Then map it. *Harvard Business Review*, 78(5), 167-176.
- Kok, B. y Van Loenen, B. (2005). How to assess the success of National Spatial Data Infrastructures? *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(6), 699-717. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2004.02.001>

- Kuhn, W., Basedow, S., Brox, C., Riedemann, C., Rossol, H., Senkler, K. y Zens, K. (15 de diciembre de 2000). *Reference model 3.0 draft, Geospatial Data Infrastructure (GDI) North Rhine-Westfalia*. Working document. Institut für Geoinformatik. http://redgeomatica.rediris.es/metadatos/publica/Reference_GDI_NRW.pdf
- Lance, K. T., Georgiadou, Y. y Bregt, A. (2006). Understanding how and why practitioners evaluate SDI performance. *International Journal of Spatial Data Infrastructure Research*, 1, 65-104.
- Macharis, C. y Crompvoets, J. (2014). A stakeholder-based assessment framework applied to evaluate development scenarios for the spatial data infrastructure for Flanders. *Computers, Environment and Urban Systems*, 46, 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.04.001>
- Masser I. (2003) International comparison. En M. Craglia, A. Annoni, M. Klopfer, C. Corbin, G. Pichler y P. Smits (eds.), *Geographic information in the wider Europe* (pp. 147-172) GINIE deliverable 6.5.1.
- MetroGIS (diciembre de 2004). *MetroGIS 2004 Performance Measurement Report* (annual performance measurement results). <https://www.fgdc.gov/policyandplanning/future-directions/action-plans/metrogis-performance-measurement-report-2004.pdf>
- Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (MinTIC). (2020). *Marco de la transformación digital para el Estado colombiano*. https://gobiernodigital.mintic.gov.co/692/articles-179145_Marco_Transformacion_Digital.pdf
- Murphy, T. (2002). *Achieving business value from technology: A practical guide for today's executive*. Wiley.
- Nedović-Budić, Z., Pinto, J. K. y Budhathoki, N. R. (2008). SDI effectiveness from the user perspective. En J. Crompvoets, A. Rajabifard, B. van Loenen y T. Delgado Fernández (eds.), *A multi-view framework to assess Spatial Data Infrastructures* (pp. 273-303). The University of Melbourne. <https://eng.unimelb.edu.au/csdl/publications/multi-view-framework>
- Onsrud, H. J. (17-19 de noviembre de 1998,). *Survey of national and regional spatial data infrastructures activities around the globe* [Conferencia]. GSDI 3 Conference, Canberra, Australia.
- Parmenter, D. (2019). *Key performance indicators: Developing, implementing and using winning KPIs*. John Wiley & Sons.
- Pérez, D. R., Ballari, D. y Vilches-Blázquez, L. M. (2015). Participación y dinamicidad en las infraestructuras de datos espaciales: una propuesta de indicadores para medir su impacto en la sociedad. *Revista Cartográfica*, (91), 175-191. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i91.458>

- Rodríguez Pabón, O. (2005). *Cadre théorique pour l'évaluation des infrastructures d'information géospatiale* [Tesis de doctorado] Université Laval. <https://bac-lac.on.worldcat.org/oclc/1032891063>
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T. L. (1988). *Multicriteria decision making. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. RWS Publications.
- Sánchez, D. F., Acevedo, M. A. y Orjuela, J. A. (2023). Evaluando los operadores logísticos. Retos y tendencias. *Tecnura*, 27(75), 207-237. <https://doi.org/10.14483/22487638.17624>
- Stuedler, D., Rajabifard, A. y Williamson, I. (2008). Evaluation and performance indicators to assess Spatial Data Infrastructure initiatives. En J. Crompvoets, A. Rajabifard, B. van Loenen y T. Delgado Fernández (eds.), *A multi-view framework to assess Spatial Data infrastructures* (pp. 193-210). The University of Melbourne. <https://eng.unimelb.edu.au/csdlia/publications/multi-view-framework>
- Swiss Tierras. (2017). *Diseño conceptual y funcional de la Infraestructura de Datos Espaciales para la Administración del Territorio IDE-AT*. <https://www.swisstierrascolombia.com/Temas%20de%20interes/IDE/Icde.pdf>
- The World Bank. (2019, 21 febrero). *Colombia - Multipurpose Cadastre Project (English). (Project appraisal document 2347)*. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/378461551367139801/colombia-multipurpose-cadastre-project>
- Toomanian, A., Mansourian, A., Harrie, L., Rydén, A.(2011). Using balanced scorecard for evaluation of spatial data infrastructures: A Swedish case study in accordance with INSPIRE. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 6, 311–343. <https://doi.org/10.2902/1725-0463.2011.06.art14>
- Unidad Administrativa Especial Catastro Distrital. (2018). *Plan estratégico 2016-2020. Proyecto Infraestructura de Datos Espaciales Regional*. <https://www.catastrobogota.gov.co/sites/default/files/archivos/planeacion/PLAN%20ESTRAT%C3%89GICO%202016%202020%20UAECD%20Actualizaci%C3%B3n%20v3.pdf>
- United Nations. (2018). *Integrated geospatial information framework. A strategic guide to develop and strengthen national geospatial information management*. <https://ggim.un.org/meetings/ggim-committee/8th-session/documents/part%201-igif-overarching-strategic-framework-24july2018.pdf>

- United Nations. (2019). *Strategic pathway 1. Governance and institutions*. <https://ggim.un.org/UN-IGIF/documents/SP1%20-%20Governance%20and%20Institutions%2013Dec2019%20GLOBAL%20CONSULTATION.pdf>
- Van Loenen, B. y Van Rij, E. (2008). Assessment of Spatial Data Infrastructures from an organisational perspective. En J. Crompvoets, A. Rajabifard, B. van Loenen y T. Delgado Fernández (eds.), *A multi-view framework to assess Spatial Data Infrastructures* (pp. 173-192). The University of Melbourne. <https://eng.unimelb.edu.au/csdlia/publications/multi-view-framework>
- Vandenbroucke, D. (2005). *Spatial Data Infrastructures in Europe: State of Play, Spring 2005*. (Summary report by the Spatial Applications Division) K.U. Leuven.
- Vandenbroucke, D., Dessers, E., Crompvoets, J., Bregt, A. K. y Van Orshoven, J. (2013). A methodology to assess the performance of spatial data infrastructures in the context of work processes. *Computers, Environment and Urban Systems*, 38, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.12.001>
- Velásquez, T., Puentes, A. y Pérez, Y. (2015). Un enfoque de buenas prácticas de gobierno corporativo de TI. *Tecnura*, 19. 159-169. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/10383/11739>
- Weiss, L. S. (21-23 de enero de 1998). *Report of the National Spatial Data Infrastructure*. [Report of Workshop]: Measures of Progress Workshop, Kansas City, Estados Unidos. <https://www.fgdc.gov/resources/whitepapers-reports/sponsored-reports/>
- World Bank Group. (2020). *Comparing business regulation in 190 economies. Economy profile of Colombia*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/354271574774909465/pdf/Doing-Business-2020-Comparing-Business-Regulation-in-190-Economies-Economy-Profile-of-Colombia.pdf>
- Zwirowicz-Rutkowska, A. (2017). A multi-criteria method for assessment of spatial data infrastructure effectiveness. *Earth Science Informatics*, 10(3), 369-382. <https://doi.org/10.1007/s12145-017-0292-8>



Concentración de PM_{2.5} y su relación con el flujo vehicular y las condiciones meteorológicas del norte de Ocaña (Colombia)

PM_{2.5} concentration and its relationship with vehicular flow and meteorological conditions in northern Ocaña, Colombia

Alexander Armesto Arenas ¹ y Julio Eduardo Cañón Barriga ²

Fecha de Recepción: 7 de marzo de 2022

Fecha de Aceptación: 16 de octubre de 2024

Cómo citar: Armesto Arenas A. y Cañón Barriga J.E. (2024). Concentración de PM_{2.5} y su relación con el flujo vehicular y las condiciones meteorológicas del norte de Ocaña (Colombia). *Tecnura*, 28(80), 39-59. <https://doi.org/10.14483/22487638.19165>

Resumen

Objetivo: En la zona norte de Ocaña existe una preocupación por la emisión de PM_{2.5} ocasionado por los automóviles, y se requiere evaluar su relación con el flujo vehicular y las condiciones meteorológicas.

Metodología: Se hicieron mediciones horarias de PM_{2.5} desde el 27 de enero de 2021 hasta el 9 de abril de 2021, por medio de un equipo electrónico para este propósito (Honeywell HPMA115S0), aforo manual de vehículos y estaciones meteorológicas portátiles. El estudio de las variables se apoyó en análisis de correlación de Pearson, métrica de error, el modelo internacional de emisiones (IVE, por su sigla en inglés) y el modelo Envi-met3.1.

Resultados: Los tractocamiones presentan la mayor tasa de emisión (4,9 g/vehículo), y por cantidad, las motocicletas generan mayores emisiones. Debido a una posible inversión térmica, entre las 22:00 y 04:00 horas, el PM_{2.5} fue 102 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y entre las 11:00 y 14:00, fue de 9,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, debido al viento. A 24 horas, se alcanzó un promedio de concentración de PM_{2.5} superior a la norma (37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Así mismo, la concentración de PM_{2.5} obtuvo correlaciones significativas con la temperatura (-0,517), humedad relativa (0,492), velocidad del viento (-0,487) y vehículos (-0,497). En cuanto a la dispersión del PM_{2.5}, este se diluye de nororiente a suroccidente (>33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Conclusiones: Los factores climáticos y 40 778 vehículos/día que circulan por la vía nacional de la zona norte de Ocaña son significativamente influyentes en la variación del PM_{2.5}, cuyo promedio de concentraciones en 24 horas puede superar la norma (37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Financiamiento: Este proyecto contó con recursos propios, y de las universidades Francisco de Paula Santander Ocaña, y de Antioquia.

Palabras clave: contaminación del aire, clima, infraestructura de transporte, transporte urbano, transporte por carretera.

¹Magister en Gestión y Auditoría Ambiental, Ingeniero Ambiental. Docente Catedrático, Universidad Francisco de Paula Santander  Ocaña, Colombia. Email: aarmestoa@ufpso.edu.co

²PhD Hidrología, Ingeniero Civil. Docente titular, Universidad de Antioquia , Medellín, Colombia. Email: julio.canon@udea.edu.co

Abstract

Objective: In the northern area of Ocaña there is a concern about PM2.5 emissions caused by vehicles. For this reason, we evaluate the relationship of PM2.5 concentrations with vehicle flows and meteorological conditions.

Methodology: Measurements were performed since 27/01/2021 to 09/04/2021, using electronic equipment for the measurement of PM2.5 (Honeywell HPMA115S0), manual counting of vehicles and portable weather stations. The study of the variables was supported by Pearson correlation analysis, error metrics, the international emissions model (IVE) and the Envi-met3.1 model.

Results: Tractor-trucks have the highest emission rate (4,9 g/vehicle), but in terms of quantity, motorcycles generate the highest emissions. Due to a possible thermal inversion, between 22:00 and 04:00 hours the PM2.5 was $102\mu\text{g}/\text{m}^3$ and, due to the wind, between 11:00 and 14:00 hours it showed $9,8\mu\text{g}/\text{m}^3$. At 24 hours, the average PM2.5 concentration was higher than the norm ($37\mu\text{g}/\text{m}^3$). Likewise, PM2.5 concentration obtained significant correlations with temperature (-0,517), relative humidity (0,492), wind speed (-0,487) and vehicles (-0,497). As for the dispersion of PM2.5, it is diluted from northeast to southwest of the area ($>33\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Conclusions: Meteorological factors and 40 778 vehicles/day circulating on the national road north of Ocaña are significantly influential in the variation of PM2.5, which 24-hour average concentrations can exceed the norm ($37\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Financing: Own resources and resources from Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña and Universidad de Antioquia.

Keywords: Air pollution, climate, road transport, transport infrastructure, urban transport.

Introducción

En el mundo, existen diversos tipos de fuentes de emisión de PM2.5 (Chen *et al.*, 2019), entre las que las fuentes móviles son muy relevantes (Vu *et al.*, 2019). Investigaciones demuestran que el PM2.5 emitido por los vehículos alcanza a representar el 40 % del total de contaminación atmosférica (Arhami *et al.*, 2018), sin importar que los componentes químicos son de alto riesgo para la salud respiratoria y condiciones ambientales (Cuty y Mejía, 2019; Chung *et al.*, 2020).

Los vehículos emiten material particulado por el roce entre la llanta, el pavimento, el polvo adherido al chasis y sus neumáticos (Pachón *et al.*, 2020). No obstante, el PM2.5 lo emiten especialmente a nivel de exhosto por combustión del motor (Fang *et al.*, 2021). Este contaminante puede ser calculado en masa por kilómetro recorrido o masa por combustible consumido (Ntziachristos y Samaras, 2019), según el tamaño del vehículo (Hao *et al.*, 2021) y el tipo de combustible (Perry y Trompette, 2021). Una de las formas de valorar el nivel de peligrosidad consiste en medir los niveles de inmisión en términos de concentración (Feng *et al.*, 2021), teniendo en cuenta los elementos climáticos (Yi Cheng *et al.*, 2021). Así mismo, existen algoritmos apropiados para explorar cómo se dispersa (Jain *et al.*, 2021), como también para estimar los niveles de emisión (Yin *et al.*, 2017). Además, otras investigaciones determinan factores que indirectamente pueden tener efecto sobre el PM2.5, como las paradas de autobuses, la alta movilidad vehicular, etc. (Serafín, 2019; Mahesh, 2021).

En Colombia, el tráfico vehicular es de gran preocupación (Silva, 2020) y los estudios acerca de PM2.5 se destacan en las grandes ciudades (Duarte *et al.*, 2021). El Ministerio de Medio Ambiente (2010) reconoce que, en 46 áreas, incluyendo municipios entre 50 000 y 150 000 habitantes no se tiene implementado el seguimiento y medición de PM2.5 (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2021). La ciudad de Ocaña está dentro de esas localidades, a pesar de que las autoridades competentes solo han medido el PM10, pero sin oficializar los resultados.

Si bien la zona norte de Ocaña ha sido uno de los puntos de medición, es importante saber que este lugar es atravesado por una vía nacional con alto flujo vehicular, en especial de tráfico pesado (Instituto Nacional de Vías [Invías], s. f.). Por otro lado, la Secretaría de Movilidad y Tránsito informa que en la ciudad de Ocaña ha aumentado el parque automotor, en especial de motocicletas. Los registros también reconocen que esta ciudad se ha vuelto intransitable, debido al aumento del flujo vehicular y a la insuficiente capacidad de sus calles. Así mismo, según la Asociación Nacional de Centros de Diagnóstico Automotor (2020), en Ocaña se evade considerablemente la revisión técnico-mecánica. De acuerdo con lo mencionado, es muy probable que la zona norte esté presentando altos niveles de concentración de PM2.5. De ahí la importancia de conocer la dependencia de este contaminante con el parque automotor, su dispersión, cuáles son las horas críticas y qué influencia tienen las condiciones meteorológicas.

Esta investigación analiza la concentración horaria de PM2.5 en el norte de la ciudad de Ocaña, y su relación con el flujo vehicular de la vía de primer orden que la atraviesa, las emisiones de los vehículos a nivel de exhosto y las condiciones meteorológicas, incluyendo un análisis de la dispersión apoyado en los resultados de los modelos IVE y Envi-met3.1.

Metodología

El estudio se realizó en el norte de la ciudad de Ocaña, situada en el nororiente colombiano a 1202 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.). La zona tiene un área de 1,68 km² y está atravesada por un tramo de vía de primer orden ondulada cuya longitud es de 1,6 km (figura 1). En la parte sur, la vía conecta la zona norte con el resto de Ocaña y permite el desplazamiento a la capital del departamento de Norte de Santander y Venezuela. En el norte, esta vía permite el acceso a cualquier parte del país. En el oriente y occidente, tiene vías terciarias que facilitan la comunicación con la zona rural del municipio. La zona norte de Ocaña se caracteriza por ser la segunda más comercial de la ciudad. Con ausencia de industrias, su actividad económica se ubica a los costados de la vía de primer orden, incluyendo terminales de transporte formales e informales. Los centros religiosos, educativos, parques, canchas, entre otros, se distribuyen por toda el área residencial.

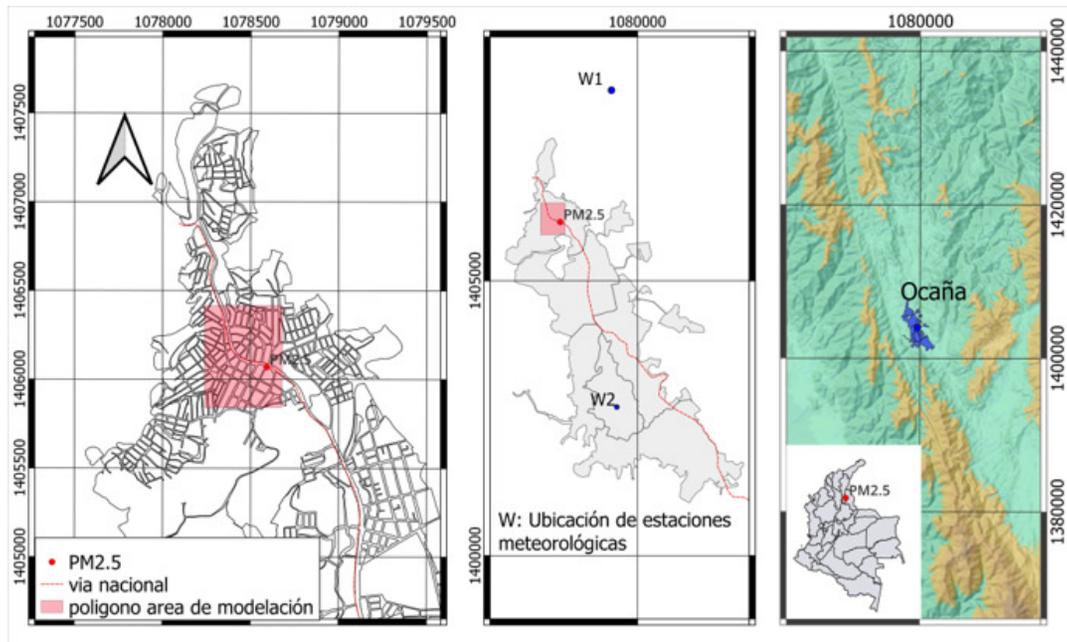


Figura 1. Perfil del tramo de la vía nacional que atraviesa el norte de la ciudad de Ocaña

La investigación fue de tipo cualitativo y cuantitativo. Se escogió la vía de primere orden que atraviesa la zona norte por ser la más transitada. La caracterización del parque automotor se hizo con visitas a parqueaderos, centros de diagnóstico vehicular, talleres de mecánica y con información secundaria facilitada por la Secretaría de Tránsito y Transporte, por el Instituto Nacional de Vías (Invías) y por empresas de transporte. La medición de la concentración de PM_{2.5} se hizo desde el 27 de enero de 2021 hasta el 9 de abril de 2021, con un equipo automático de marca Honeywell HPMA115S0, perteneciente a la empresa Ringeniería y recomendado por diferentes investigaciones (Hong *et al.*, 2021), lo cual fue instalado en la parte más alta de la vía, a una distancia horizontal de 15 m y a una altura de 10 m. La medición abarcó también un aforo vehicular realizado por hora durante cinco días, desde el 11 hasta el 15 de febrero de 2021 con la ayuda de una filmación suministrada por el Centro Comercial Ciudadela Norte. Para la variabilidad de las concentraciones de PM_{2.5} se implementó un análisis de varianza y el modelo de correlación de Pearson, con el fin de hallar el grado de relación con las variables meteorológicas. Los datos meteorológicos fueron obtenidos de estaciones portátiles de la Alcaldía Municipal de Ocaña, de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y del aeropuerto de Ocaña. Para el análisis de patrones de conducción de los vehículos, se dispuso de un GPS de marca Garmin, y de repetidos viajes sobre los vehículos explicados en la tabla 1. Sin embargo, para los tractocamiones y camiones se hicieron persecuciones para estimar los respectivos patrones. Para hallar las diferencias significativas entre los volúmenes de tráfico se aplicó un análisis de varianza.

Tabla 1. Caracterización de los vehículos

Descripción de los vehículos	Grupos	
Motocicletas <100 cc	Motocicletas	Gasolina
100 <Motocicletas <300 cc		
300 <Motocicletas <500 cc		
Vehículos GVWR <2,5 t	Vehículos sedan y taxis	Gasolina Diésel
Vehículos GVWR 2,5 t <GVWR <3,3 t	Camionetas y camperos	
Vehículos GVWR 3,3 t <GVWR <4,5 t	Camionetas, microbuses y busetas	
Vehículos GVWR 4,5 t <GVWR <7 t	Camiones pequeños	
Vehículos 7 t <GVWR <16 t	Camiones medianos	
Vehículos GVWR >16 t	Camiones grandes (Tracto-camiones)	

Modelo de emisiones

Se trabajó con el modelo internacional de emisiones (IVE, por su sigla en inglés), suministrado por el Internacional Sustainable Systems Research Center (ISSRC, s. f.), el cual se basa en la estimación de emisiones por fuentes móviles a partir del comportamiento del vehículo (partida y en ruta), pendiente de la vía, combustible utilizado, condiciones ambientales, distancia de la vía de interés, antigüedad del vehículo y tipos de tecnología para control de emisiones vehiculares.

Para conocer la tecnología del parque automotor se hicieron 810 encuestas, de las cuales, 150 fueron registros de carros particulares, 30 de taxis, 100 de camionetas y camperos, 390 de motocicletas, 30 de camiones pequeños, 50 de camiones medianos y 60 de tractocamiones. El resto de información fue suministrada por los entes públicos mencionados y por las empresas de transporte, para un total de 4190 datos de vehículos analizados. Sin embargo, hubo limitaciones en cuanto a la definición de la tecnología del parque automotor. Al respecto, parte de los datos se estimaron a partir del modelo del automóvil y la normativa colombiana, puesto que los lugares destinados para la revisión técnico-mecánica no suministraron información. Así mismo, parte de los propietarios encuestados no tenían buen conocimiento acerca de la tecnología de sus vehículos y no se contó con una persona experta en mecánica automotriz.

Posteriormente, para calcular la distribución de emisiones por vehículo se multiplicó el factor de emisión (en términos de gramos/vehículo) por la cantidad de vehículos/hora que circula por la vía nacional que atraviesa la zona norte.

Modelo de dispersión

El modelo Envi-met 3.1 es un *software* gratuito utilizado en diversas investigaciones sobre emisiones atmosféricas y condiciones climáticas (Huttner, 2012; Ruí *et al.*, 2019; Mobarhan y Yeganeh, 2019; Yola, 2022). En nuestro estudio se aplicó este modelo sobre el área atravesada por el tramo vial con mayor estancamiento vehicular (0,19 km²) (figura 1). De este modo, primero se delimitó el área de estudio por medio de grillas (163 grillas en el eje *x* y 220 grillas en el eje *y*), cada grilla con alto de 2,45 m y 2,27 m de ancho. Posteriormente, sobre el plano de grillas se editó la infraestructura física del lugar (edificios, vías y zonas verdes), teniendo en cuenta sus características (tipo de pavimento, tipo de áreas verdes). En esta misma superficie de grillas se trazó la trayectoria de las fuentes móviles y se determinó la hora del día que se quiso modelar y la cantidad de emisión calculada en el modelo IVE. En este caso, se aplicó el modelo para cada hora de cuatro días consecutivos y se representó gráficamente la dispersión de concentración de PM2.5 de la hora con mayor emisión. Adicionalmente, para determinar la similitud entre el modelo y las mediciones reales, se halló el error absoluto medio (MAPE, por su sigla en inglés) y la correlación de Pearson, teniendo en cuenta las variables mostradas en la tabla 2. El MAPE está dentro de las métricas estadísticas utilizadas para medir el rendimiento del modelo en diferentes tipos de estudios (Abiodun *et al.*, 2019).

El comportamiento de variabilidad de la concentración de PM2.5 mostrado en el modelo fue comparado con la medición real de PM2.5 en la fecha en que se implementó el modelo (11 de febrero de 2021-15 de febrero de 2021) como también con otras fechas donde ocurrieron bajas concentraciones (25 de marzo de 2021 y 27 de marzo de 2021) y altas concentraciones (6 de abril de 2021 a 9 de abril de 2021).

Es necesario resaltar que, durante el tiempo en que se hicieron las mediciones, en la región y en especial, en la zona de estudio, no se presentaron eventos de tipo social u orden público que pudieran afectar los respectivos registros.

Resultados

Los resultados indican que sobre la vía nacional que atraviesa la zona norte de Ocaña se alcanza un flujo vehicular de hasta 40 778 vehículos/día. El conteo de los cinco días mostró un flujo de 93 442 vehículos de norte a sur y 92 712 vehículos de sur a norte. El domingo tuvo

Tabla 2. Variables dependientes e independientes consideradas en el modelo

Variables dependientes	Variables independientes	Unidad de medida
Concentración de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Humedad relativa	%
	Temperatura	$^{\circ}\text{C}$
	Velocidad del viento	km/h
	Dirección del viento	Grados
	Emisiones	g/h

Nota: todas las variables fueron analizadas en términos de cantidad por hora.

una reducción de hasta 10 290 vehículos (figuras 2a, 2b). Del total de vehículos, la motocicleta y motocarga representan el 68 % (figura 2d), y del total de estos dos tipos de transporte, la motocarga significó el 0,66 %. Los carros y taxis representaron un 18 %; las camionetas y jeeps, un 7 %; los microbuses, un 3 %; los camiones pequeños, un 2 %; y los camiones medianos en conjunto con los tractocamiones, un 2 %. Entre las 18:00 y 17:00 horas del lunes se alcanzó el mayor flujo vehicular (2841 automóviles/hora).

La cantidad de vehículos que fluye en ambos sentidos es similar para las todas categorías, excepto para los tractocamiones que, de sur a norte, superaron en 256 vehículos/día al tránsito de norte a sur. No obstante, los resultados muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los volúmenes de tránsito de las diferentes categorías vehiculares.

En el periodo del día comprendido entre las 07:00 y las 20:00 horas, los vehículos presentan constante estancamiento, una velocidad promedio de 23 km/h en ambos sentidos y una velocidad máxima de 40 km/h (figuras 3a, 3b). Por tanto, cualquier vehículo tarda entre 4 y 6 minutos en recorrer toda la vía. Al respecto, como lo hacen en grandes ciudades (Ibraeva *et al.*, 2021), en Ocaña se han proyectado variantes viales que no se han materializado (figura 3c); sin embargo, lo propuesto podría aumentar la expansión demográfica (Culma y García, 2022) y en efecto aumentar las concentraciones de PM2.5 por aumento de movilidad (Benavides y Leño, 2018).

Las motocicletas que tienen la tecnología de dos ciclos y cuatro ciclos *-full injection* (FI)– representan el menor porcentaje, y el mayor porcentaje las de cuatro ciclos con carburador (tabla 3). En su mayoría, el resto de los vehículos tiene sistema de control de emisiones. A pesar de que los camiones son los que producen la mayor tasa de emisión de material particulado (tabla 4), son las motocicletas las que, por su cantidad, producen las mayores emisiones durante el día, mientras que la menor cantidad es de los microbuses.

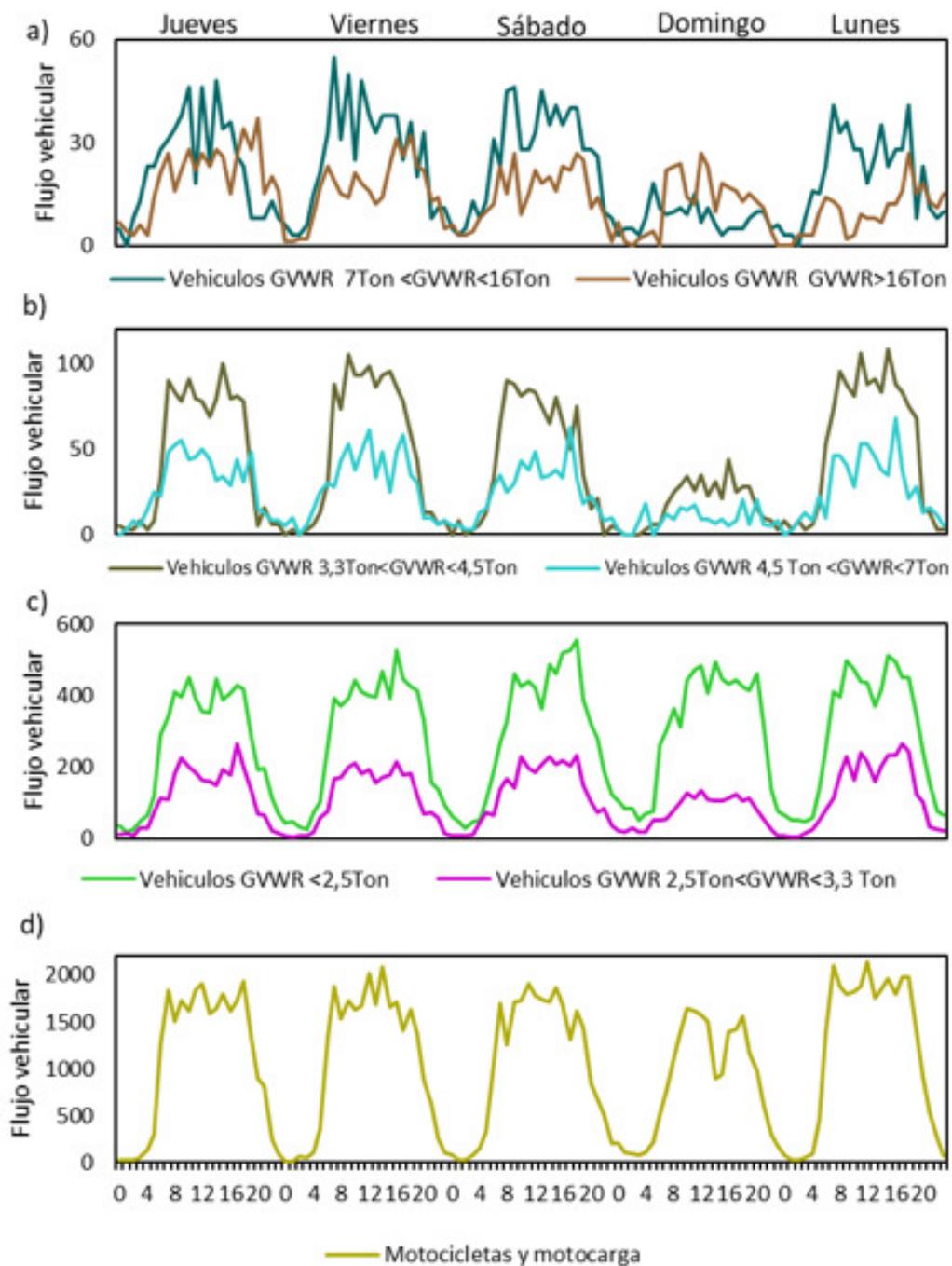


Figura 2. Mediciones del flujo vehicular en los cinco días de muestreo

Concentración de PM2.5 y su relación con el flujo vehicular y las condiciones meteorológicas del norte de Ocaña (Colombia)

Armesto Arenas A. y Cañón Barriga J.E.

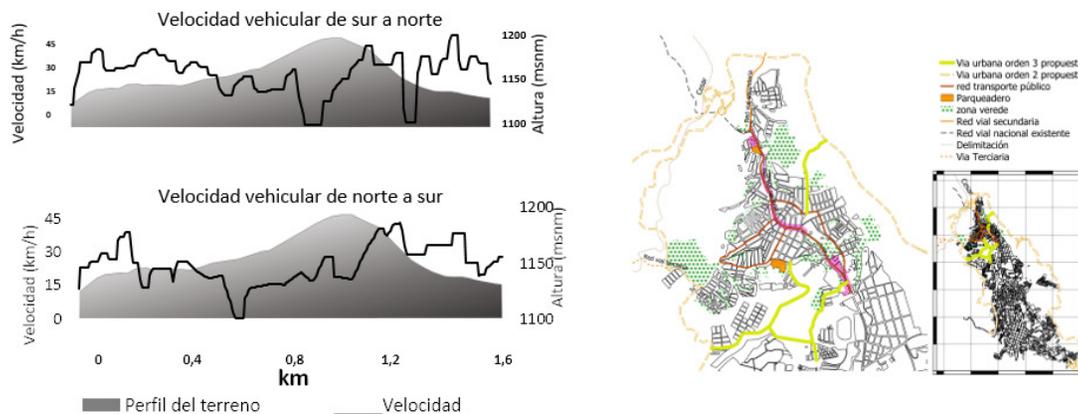


Figura 3. Velocidad de vehículos que transitan por la vía de la zona norte de Ocaña y propuestas de mejoramiento

Nota: c) elaborada a partir de [Alcaldía Municipal de Ocaña \(2015\)](#).

Tabla 3. Tecnología de los vehículos analizados

Tipo de vehículos	Combustible	Tamaño	Control combustible	Control exhosto	Edad	Fracción cantidad de vehículos (%)
Motocicletas	Gasolina	lt	2-cycle	Ninguno	0-25 K km	1
		lt	4-cycle, carb	Ninguno	0-25 K km	3
		lt	4-cycle, carb	Ninguno	26-50 K km	4
		med	4-cycle, carb	Ninguno	0-25 K km	24
		med	4-cycle, carb	Ninguno	26-50 K km	28
		med	4-cycle, carb	Ninguno	>50 K km	16
		lt	4-cycle, FI	Catalizador	0-25 K km	3
		lt	4-cycle, FI	Catalizador	26-50 K km	4
		med	4-cycle, FI	Catalizador	0-25 K km	16
		med	4-cycle, FI	Catalizador	26-50 K km	1

Carros particulares GVWR <2,5Ton	Gasolina	lt	Multi-Pt FI	Catalizador	80-161 K km	31
		lt	Multi-Pt FI	Catalizador	>161 K km	52
		lt	Multi-Pt FI	Catalizador	<79 K km	17
Taxis GVWR <2,5Ton	Gasolina	lt	Multi-Pt FI	Catalizador	>161 K km	100
2,5 t <GVWR <3,3 t	Gasolina	med	Carb	Ninguno	>161 K km	4
	Gasolina	med	FI	Catalizador	<79 K km	16
	Diésel	med	Dir-Inj	Catalizador	80-161 K km	36
	Gasolina	med	FI	Catalizador	>161 K km	45
3.3 t <GVWR <4,5 t	Diésel	med	FI	Euro II	>161 K km	100
4,5 t <GVWR <7 t	Diésel	lt	FI	Euro IV	>161 K km	20
		lt	FI	Euro II	80-161 K km	80
7 t <GVWR <16 t	Diésel	Me	Dir-inj	Ninguno	>161 K km	100
GVWR >16 t	Diésel	Hv	FI	Euro II	>161 K km	100

Tabla 4. Factores de emisión calculados

Tipo de vehículo	Fe (g/*veh)
Motocicletas	0,21
Vehículos GVWR <2,5 t	0,0101
Vehículos 2,5 t <GVWR <3,3 t	0,11
Vehículos GVWR 3,3 t <GVWR <4,5 t	1,1
Vehículos 4,5 t <GVWR <7 t	0,49
Vehículos 7 t <GVWR <16	3,6
Vehículos GVWR >16 t	4,9

El total de emisiones de los cinco días de análisis fue de 52 292,78 g, de los cuales las motocicletas representaron el 41 %; los camiones medianos y tractocamiones, el 28 %; las camionetas y camperos, el 19 %; colectivos, el 8 %; taxis y carros sedan, 2 %; y camiones pequeños, el 2 %. Los días jueves y viernes mostraron tasas de emisión de 16 383 g/día y 16 124 g/día; el sábado,

domingo y lunes, 15 902 g/día, 10 132 g/día, 15 599 g/día, respectivamente. El lunes a las 18:00 horas se tuvo la emisión más elevada, con un valor de 822,3 g. En general, entre las 06:00 y las 20:00 horas, la zona norte de Ocaña tiene emisiones vehiculares de PM2.5 superiores a 7000 g (figura 4).

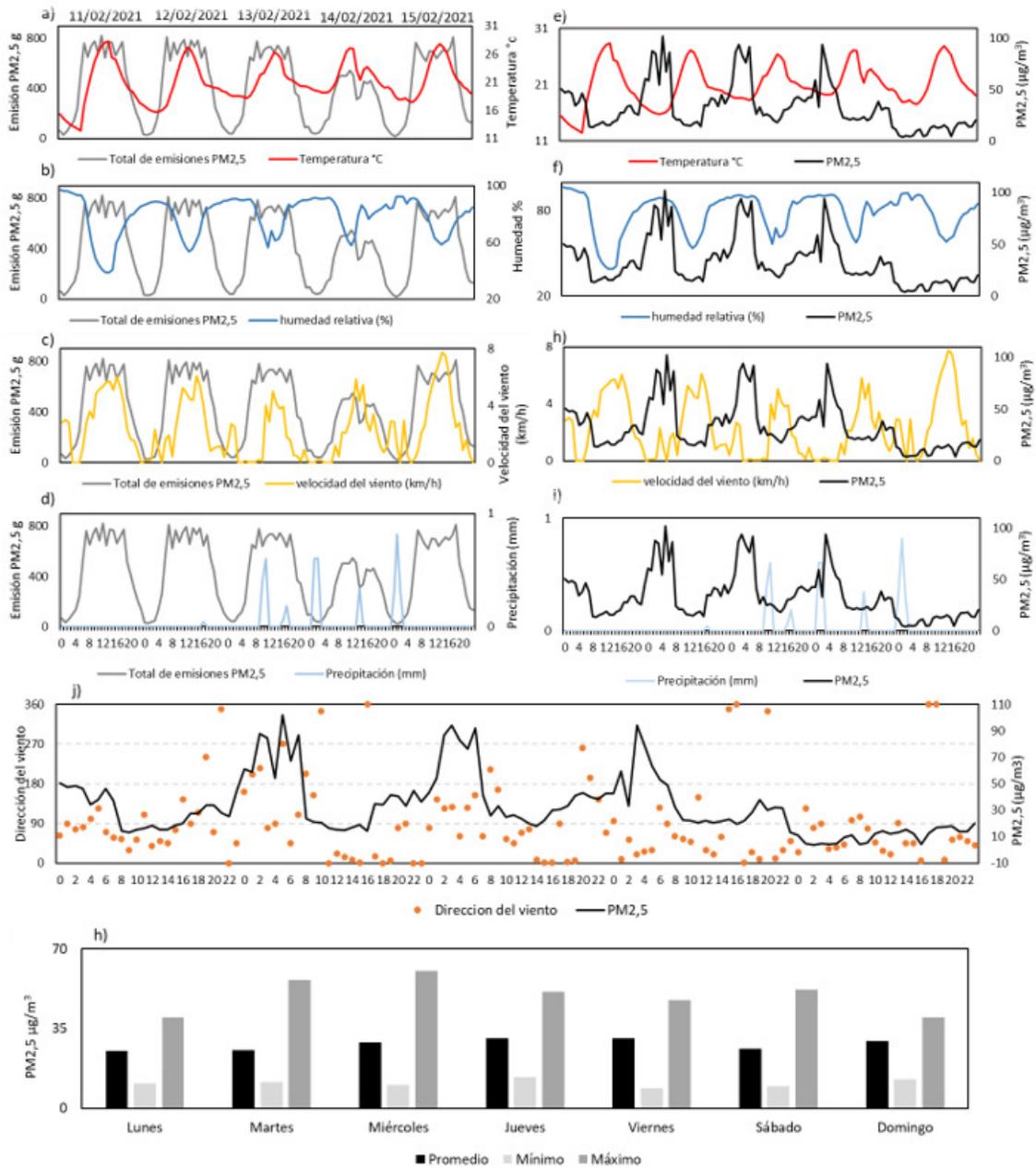


Figura 4. PM2.5, factores climáticos y emisión vehicular en la zona norte de Ocaña (Colombia)

Por otro lado, la concentración de PM2.5 mostró los mínimos valores con niveles máximos de emisión de PM2.5, debido a que la velocidad del viento fue mayor en comparación con las demás horas, como se observa en las figuras 4c y 4h. Al respecto, la figura 4j señala que el viento fuerte proveniente del norte presenta mayor capacidad de dilución de PM2.5, contrario a los vientos más débiles provenientes del sur, este u oeste, que en efecto propician un ambiente óptimo para que se eleven las concentraciones de PM2.5, en especial en horas de la madrugada. Según Liu *et al.* (2020), las direcciones del viento describen diferentes velocidades que ayudan a determinar los momentos en que se controlen de manera efectiva los aumentos de concentración de PM2.5. Por otro lado, la figura 4d muestra que la lluvia produce una disminución de las emisiones, debido a que incide en la reducción de la movilidad vehicular, como lo muestra la figura 2, y como también lo corroboran Becker *et al.* (2022), lo cual se explica porque, en general, en las urbes el tráfico vehicular decrece en los momentos de lluvia. Igualmente, de acuerdo con la figura 4h, la concentración del material particulado disminuye cuando hay mayor intensidad de lluvia. Según Zhou *et al.* (2020), esto ocurre por el lavado atmosférico que provoca el respectivo factor meteorológico. Por otro lado, en este estudio se observó que, para de los días en que se hizo el cálculo de emisiones, los viernes y sábados tuvieron concentraciones de PM2.5 superiores a la norma ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - 24 horas), con valores de 43,00 y $44,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, y con una dilución predominante de noreste a suroeste (figura 4j). Sin embargo, no se puede afirmar que cada día se comporta igual en la siguiente semana. Al respecto, la figura 4h muestra que, en las diez mediciones efectuadas a cada uno de los días de la semana, se observan diferencias significativas entre las semanas evaluadas. No obstante, sí se puede decir que entre los días de la semana (lunes a domingo) no hay diferencia significativa.

En el modelo de dispersión aplicado, se tuvo en cuenta una humedad relativa de 74,17 %, temperatura $22,75^\circ\text{C}$, velocidad del viento de 2,47 km/h con dirección 10 grados noreste y una variación de altura de 0,8m, 2m y 8m sobre la vía. Al respecto, se contempla que, a baja altura la velocidad del viento disminuye y simultáneamente la concentración de PM2.5 aumenta y para alturas superiores, aumentan las velocidades del viento y disminuye la concentración del contaminante (figura 5). Igualmente, se observa que las concentraciones de PM2.5 se elevan en partes donde las edificaciones interrumpen el flujo de partículas. Este comportamiento también es corroborado por otros estudios (Buccolieri *et al.*, 2018). Por otro lado, la dilución del PM2.5 se dirige hacia los barrios situados en el occidente de la vía estudiada con concentraciones de $67,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superior a la norma nacional ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Según Carrion *et al.* (2019) este valor puede ser igual dentro de las casas.

En los cinco días continuos, el PM2.5 muestra una correlación significativa con la temperatura (-0,517), humedad relativa (0,492), velocidad del viento (-0,487) y vehículos (-0,497). Ahora bien, sin tener en cuenta el día con mayor lluvia (lunes), se muestra un aumento en el grado de

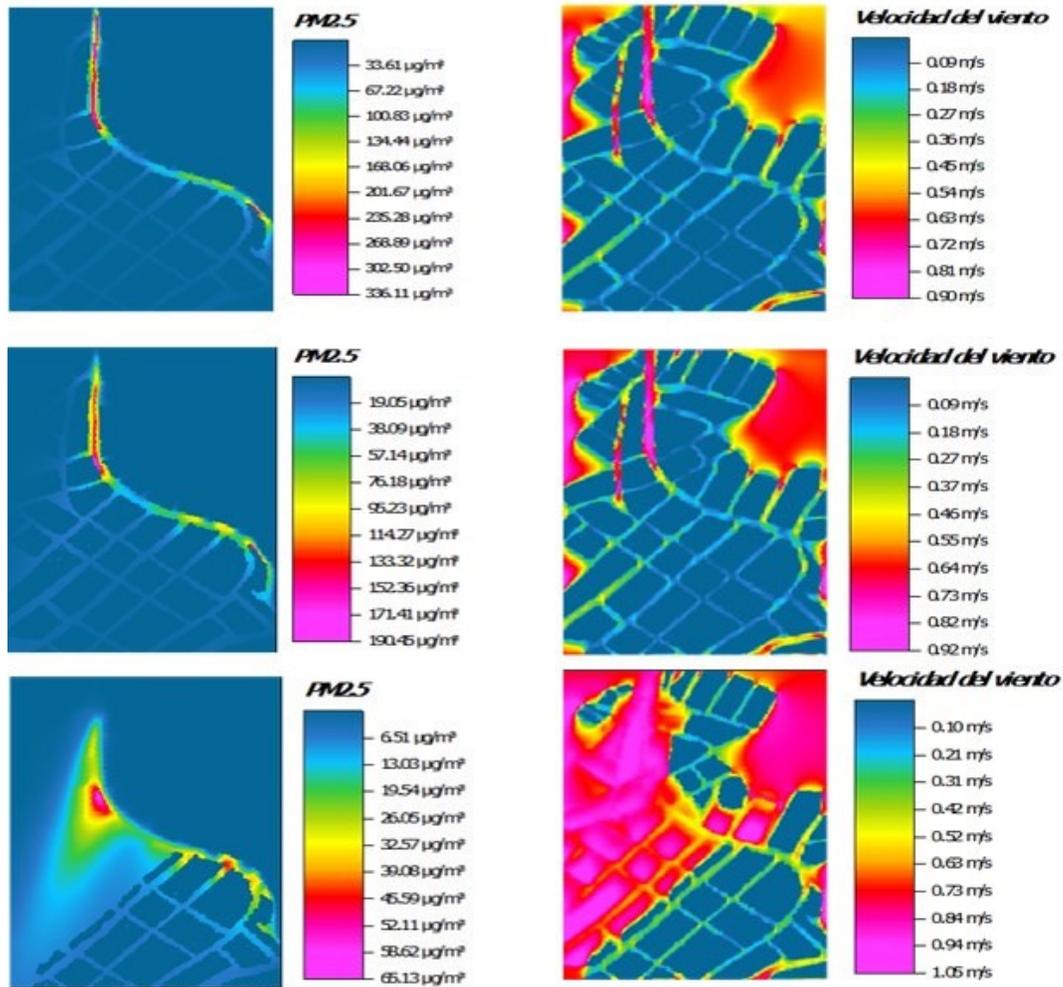


Figura 5. Modelo de dispersión de PM2.5 en Envi-met para la hora de mayor emisión

correlación entre las variables mencionadas, con valores de 0,64, 0,63, -0,60 y -0,63, respectivamente. No obstante, para un análisis de correlación de todas las mediciones de PM2.5, excepto para datos sin registros meteorológicos (50 datos válidos), se observó que las correlaciones disminuyeron, con valores de 0,090, 0,27, -0,43 y 0,3.

las correlaciones disminuyeron, con valores de 0,090, 0,27, -0,43 y 0,3. De los anteriores factores climáticos mencionados, la temperatura describe eventos en la atmósfera que pueden ocasionar altas concentraciones de PM2.5, una de ellas es la inversión térmica. De acuerdo con lo explicado por [Hu et al. \(2021\)](#) y [Kakareka y Salivonchik \(2020\)](#), la inversión térmica provoca que el contaminante se acumule cerca de la superficie y suele ocurrir en horas de la madrugada

y con bajas velocidades del viento. Según [Mateos et al. \(2019\)](#), estos episodios atmosféricos son muy comunes en valles rodeados de altas montañas. Al respecto, lo explicado en la figura 1 demuestra que la zona norte de la ciudad de Ocaña es propicia para estos sucesos atmosféricos y, según lo observado en las figuras 6b, 6d y 6e, es notorio que la inversión térmica ocurre en horas de la madrugada. En esto, la figura 6a y el modelo Envi-met (figura 6d) demuestran que, cuando existen altas velocidades del viento y no ocurre la inversión térmica, se reduce significativamente la concentración de PM2.5. Del modelo mencionado se resalta que existen diferencias significativas con las mediciones realizadas, con un coeficiente de correlación significativo de 0,5 ($p < 0,05$) y un MAPE del 35 % entre el valor real y el pronosticado. Este grado de error es mayormente debido a las elevadas concentraciones de PM2.5 por causa de la in-

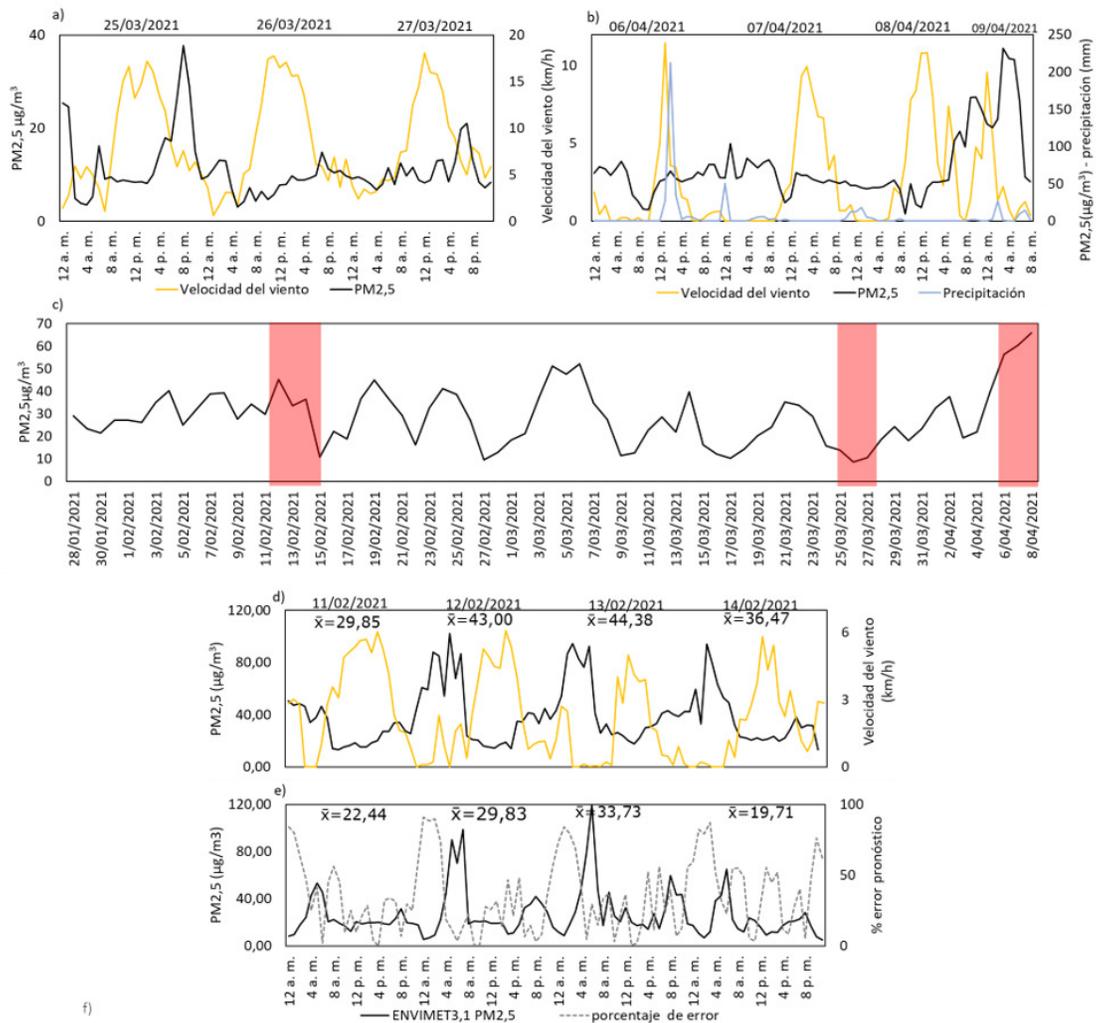


Figura 6. a), b), c), d) Concentraciones de PM2.5 medidas. e) Modeladas con Envi-met

versión de temperatura, especialmente en horas de la madrugada que, en efecto, el modelo no tiene en cuenta. Al respecto, haciendo el mismo análisis en horas diurnas (07:00-19:00), no se encontraron diferencias significativas e, incluso, se obtuvo un MAPE de 25,65 % y un índice de correlación de 0,7838. No obstante, el modelo sí permitió detallar de forma horaria el grado de concentración de PM2.5 que se alcanza cuando ocurren estos eventos atmosféricos.

También se evidencia que, en momentos de baja lluvia y disminución de la velocidad del viento, la concentración de PM2.5 se eleva y se prolonga durante uno o varios días consecutivos, tal como se observa en la figura 6b, lo cual demuestra que, según lo explicado por Wagner y Brandley (2020), la inversión térmica en la zona de estudio se da igualmente en horas diurnas y en momentos de lluvia.

Según datos suministrados por la NASA (s. f.), en la zona donde se encuentra ubicada Ocaña, se presentan dos épocas lluviosas: una entre marzo y abril, y otra más intensa y prolongada entre agosto y noviembre. Por tanto, las suposiciones establecidas de inversión térmica en la madrugada en el modelo y los valores observados para la zona de estudio son representativas de la dinámica de dispersión de PM2.5, y constituyen un avance para entender el posible impacto de esas concentraciones dentro de los barrios residenciales.

Conclusiones

Los vehículos que circulan por la vía nacional que atraviesa la zona norte de Ocaña son la principal fuente de emisión de material particulado PM2.5, especialmente las motocicletas. Sin embargo, la concentración de PM2.5 en la zona no depende solo del grado de las emisiones, sino también de factores meteorológicos que regulan las concentraciones de PM2.5 como el viento, la lluvia y la inversión térmica. Estos hacen que las concentraciones de PM2.5 (promedios en 24 horas) tengan una significativa variación a pesar de que las emisiones vehiculares totales diarias son semejantes.

Los resultados del modelo Envi-met permiten concluir que la infraestructura urbana localizada en los costados de la vía interrumpe la dispersión del PM2.5, lo que en efecto provoca una elevación considerable de la concentración del respectivo contaminante ($PM_{2.5} > 100 \mu g/m^3$) y, en consecuencia, genera un mayor impacto en la salud de la población flotante. Así mismo, permite evidenciar altas concentraciones desde la vía que atraviesa la zona norte hasta las áreas residenciales donde más se dispersa, teniendo en cuenta que, por filtración y acción acumulativa, han de esperarse altas concentraciones de PM2.5 dentro de las casas y, en efecto, los más afectados sean los habitantes de los barrios cercanos a la vía.

Si bien el modelo mencionado no tiene en cuenta eventos como la inversión térmica, la diferencia entre las mediciones modeladas y las reales lleva a concluir que dicha inversión tiene un impacto ambiental adverso significativo en la elevación de las concentraciones de PM2.5 en la zona norte de la ciudad de Ocaña.

Este estudio ejemplifica la situación del impacto adverso de la concentración de material particulado emitido por fuentes móviles en vías principales de ciudades intermedias de Colombia que, aunado a condiciones locales de humedad relativa, precipitación y velocidad del viento, pueden estar alcanzando niveles de contaminación preocupantes para la salud pública de sus habitantes en sectores localizados dentro de los barrios, de manera similar a lo que ocurre en las grandes ciudades de Colombia. Por esta razón, se recomienda que las administraciones locales de las ciudades intermedias aúnen esfuerzos con universidades y centros de investigación para medir y monitorear puntos críticos de contaminación en sus municipios.

Financiamiento

Este proyecto contó con recursos propios, y de las universidades Francisco de Paula Santander Ocaña, y de Antioquia.

Agradecimiento

Agradecemos a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, por su recurso humano y la disponibilidad de equipos e infraestructura; a la Universidad de Antioquia y su programa de Maestría en Gestión Ambiental, por su recurso humano; al Centro Comercial Ciudadela Norte, por el suministro de videos para el aforo vehicular, a la empresa Ringeniería, por el préstamo de equipos, y a la entidad bancaria Crediservir, por permitir los espacios para la instalación de equipos.

Referencias

- Abiodun, O. I., Jantan, A., Omolara, A. E., Dada, K. V., Umar, A. M., Linus, O. U., Kazaure, A. A, Gana, U. y Kiru, M. U. (2019). Comprehensive review of artificial neural network applications to pattern recognition. *IEEE Access*, 7, 158820-158846.
- Alcaldía Municipal de Ocaña (2015). *PBOT 2015 - Cartografía Urbana - Mapa Sistema Vial*. <https://www.ocana-nortedesantander.gov.co/planes/pbot-2015--cartografia-urbana--mapa-sistema-vial>

- Arhami, M., ZareShahne, M., Hosseini, V., Roufigar Haghghat, N., Lai, A. y Schauer, A. (2018). Seasonal trends in the composition and sources of PM2.5 and carbonaceous aerosol in Tehran, Iran. *Environmental Pollution*, 239, 69-81.
- Asociación Nacional de Centros de Diagnóstico Automotor (enero-septiembre de 2020). *Cifras de revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes en Colombia*. Boletín estadístico. <https://www.aso-cda.org/wp-content/uploads/2020/10/BOLETIN-CIFRAS-ENE-SEP-2020.pdf>
- Becker, N., Rust, H. W. y Ulbrich, U. (2022). Modeling hourly weather-related road traffic variations for different vehicle types in Germany. *European Transport Research Review*, 14(1), 16.
- Benavides, T. y Leño, A. (2018). Rol del estado en los procesos de urbanización periférica de las ciudades colombianas. *Margen*, 88, 1-9. http://www.margen.org/suscri/margen88/leano_88.pdf
- Buccolieri, R., Jeanjean, A. P., Gatto, E. y Leigh, R. J. (2018). The impact of trees on street ventilation, NOx and PM2.5 concentrations across heights in Marylebone Rd street canyon, central London. *Sustainable Cities and Society*, 41, 227-241.
- Carrion, M. A., Kang, C. M., Gaffin, J. M., Hauptman, M., Phipatanakul, W., Koutrakis, P. y Gold, D. R. (2019). Classroom indoor PM2.5 sources and exposures in inner-city schools. *Environment International*, 131, 104968. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018324140>
- Chen, S., Zhang, X., Lin, J., Huang, J., Huang, J., Zhao, D., ... Xie, Y. Q. (2019). Fugitive road dust PM2.5 emissions and their potential health impacts. *Environmental Science & Technology*, 53(14), 8455-8465. doi:<https://doi.org/10.1021/acs.est.9b00666>
- Chung Lin, Y., Ching Li, Y., Amesho, K., Shangdiar, S., Chih Chou, F. y Cheng Cheng, P. (2020). Chemical characterization of PM2.5 emissions and atmospheric metallic element concentrations in PM2.5 emitted from mobile source gasoline-fueled vehicles. *Science of the Total Environment*, 739, 139942. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139942>
- Culma-Tamara, M. F. y García-Ubaque, C. A. (2022). Multitemporal analysis of urban expansion in the municipality of Madrid, Cundinamarca, between 1977 and 2020. *Tecnura*, 26(73), 7-7.
- Cuty Clemente, E. R. y Mejía Regalado, A. D. (2019). Influencia del biodiésel de aceite de fritura usado, sobre las emisiones: índice de opacidad. *Tecnura*, 23(59), 60-67.

- Duarte, A., Schneider, I., Artaxo, P. y Olivera, M. (2021). Spatiotemporal assessment of particulate matter (PM10 and PM2.5) and ozone in a Caribbean urban coastal city. *Geoscience Frontiers*, 13(1), 101168. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101168>
- Fang, S., Zhan, C., Hu, J., Yanfeng, X., Meng, Q., Yu, X., Wang, H., Wang, P., Zhang, R., y Gao, P. (2021). Temporal variations of PM2.5-bound platinum group elements in outdoor and indoor environments close to areas with traffic congestion. *Atmospheric Environment*, 246, 118109. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118109>
- Feng Z. Y., Gao, J., Jian Cai, Y., Jing Wang, J. y Pan, J. (2021). Real-time tracing VOCs, O3 and PM2.5 emission sources with vehicle-mounted proton transfer reaction mass spectrometry combined differential absorption lidar. *Atmospheric Pollution Research*, 12, 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.01.008>
- Hao, Y., Deng, S., Qui, Z., Lu, Z., Song, H. y Yang, N. (2021). Chemical characterization of PM2.5 emitted from China IV and China V light-duty vehicles in China. *Science of the Total Environment*, 783, 147101 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147101>
- Hong, G. H., Le, T. C., Tu, J. W., Wang, C., Chang, S. C., Yu, J. Y., ... Tsai, C. J. (2021). Long-term evaluation and calibration of three types of low-cost PM2.5 sensors at different air quality monitoring stations. *Journal of Aerosol Science*, 157, 105829. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2021.105829>
- Hu, J., Zhao, T., Liu, J., Cao, L. X., Wang, C., Zhao, X., Gao, Z., Shu, Z. y Li, Y. (2021). Nocturnal surface radiation cooling modulated by cloud cover change reinforces PM2.5 accumulation: Observational study of heavy air pollution in the Sichuan Basin, Southwest China. *Science of the Total Environmental*, 794, 148624. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148624>
- Huttner S. (2012). *Further development and application of the 3D microclimate simulation ENVI-met* [Tesis de doctoral]. Johannes Gutenberg-Universität Mainz. <https://openscience.uni-mainz.de/handle/20.500.12030/2024>
- Ibraeva, A., Wee, B. V., Correia, G. H. y Antunes, A. P. (2021). Longitudinal macro-analysis of car-use changes resulting from a TOD-type project: The case of Metro do Porto (Portugal). *Journal of Transport Geography*, 92, 103036. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103036>
- NASA. (s. f.). *The POWER project*. <https://power.larc.nasa.gov/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2021). *Informe del estado de la calidad del aire en Colombia. 2019*. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023898/InformeCalidadAire_2019.pdf

- Instituto Nacional de Vías [Invías]. (s. f.). *Galería de volúmenes de tránsito*. <https://hermes.invias.gov.co/volumenes/>
- Internacional Sustainable Systems Research Center (ISSRC). (s. f.). *Internacional vehicle emissions model*. <http://www.issrc.org/>
- Jain, S., Presto, A. y Zimmerman, N. (2021). Spatial modeling of daily PM2.5, NO2, and CO concentrations measured by a low-cost sensor network: Comparison of linear, machine learning, and hybrid land use models. *Environmental Science Tenchnology*, 55(13), 8631-8641. <https://doi.org/10.1021/acs.es>
- Kakareka, S. y Salivonchyk, S. (2020). Assessment of atmospheric pollutant dispersion from mobile sources in Antarctica: A case study of Vecherny Oasis. *Polar Geography*, 43(4), 280-294.
- Liu, Z., Shen, L., Yan, C., Du, J., Li, Y. y Zhao, H. (2020). Analysis of the influence of precipitation and wind on PM2. 5 and PM10 in the Atmosphere. *Advances in Meteorology*, (1), 1-13.
- Mahesh, S. (2021). Exposure to fine particulate matter (PM2.5) and noise at bus stops in Chennai, India. *Journal of Transport & Health*, 22, 101105. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101105>
- Mateos, A. C., Amarillo, A. C., Tavera Busso, I. y Carreras, H. A. (2019). Influence of meteorological variables and forest fires events on air quality in an urban area (Córdoba, Argentina). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 77, 171-179.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2010). *Manual de diseño de sistemas de vigilancia de calidad del aire*. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Diseno.pdf
- Mobarhan, M. y Yeganeh, M. (2019). Analyzing the influence of different streets and physical enclosures in reducing the amount of suspended particles in pedestrian streets. *American Journal of Research*, 120, 120-128.
- Ntziachristos, L. y Samaras, Z. (2019). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019*. Europa Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i/view>
- Pachon, J., Vanegas, S., Saavedra, C., Amato, F., Silva, L. F. O, Blanco, K., Chaparro, R. y Casas, O. M. (2020). Evaluation of factors influencing road dust loadings in a Latin American urban center. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 71, 268-280. <https://doi.org/10.1080/10962247.2020.1806946>

- Perry, D. y Trompette, W. (2021). The rise of non-tailpipe motor vehicle emissions in a Southern hemisphere city. *Air Quality and Climate Change*, 55(1), 44-45. <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.799503548907636>
- Ruí, L., Buccolieri, R., Gao, Z., Gatto, E. y Ding, W. (2019). Study of the effect of green quantity and structure on thermal comfort and air quality in an urban-like residential district by ENVI-met modelling. *Building Simulation*, 12, 183-194. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12273-018-0498-9>
- Secretaría de Movilidad y Tránsito de Ocaña. (2010). *Formulación del plan maestro de movilidad del municipio de Ocaña*. https://ocananortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/ocananortedesantander/content/files/000069/3450_plan_de_movilidad.pdf
- Serafín González, S. L. (2019). Externalidades de las emisiones del transporte público en Tepic, México: cambio climático y sustentabilidad. *Tecnura*, 23(62), 34-44.
- Silva, A. D. (2020). Políticas globales para las ciudades en movimiento: el papel de los think tanks en la proliferación de sistemas de transporte rápido de autobuses en América Latina y el mundo. *Política y Sociedad*, 39(1), 70-90.
- Vu, D., Patrick, R., Berte, T., Yanga, J., Cocker, D., Durbin, T., ... Awuku, A. (2019). Using a new Mobile Atmospheric Chamber (MACH) to investigate the formation of secondary aerosols from mobile sources: The case of gasoline direct injection vehicles. *Journal of Aerosol Science*, 133, 1-11. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2019.03.009>
- Wagner, D. R. y Brandley, D. C. (2020). Exercise in thermal inversions: PM2.5 air pollution effects on pulmonary function and aerobic performance. *Wilderness & Environmental Medicine*, 31(1), 16-22.
- Yi Cheng, F., Yung Feng, C., Min Yang, Z., Hua Hsu, C., Wa Chan, K., Ying Lee, C. y Chin Chang, S. (2021). Evaluation of real-time PM2.5 forecasts with the WRF-CMAQ modeling system and weather-pattern-dependent bias-adjusted PM2.5 forecasts in Taiwan. *Atmospheric Environment*, 244, 117909.
- Yin, X., Huang, Z., Zheng, J., Yuan, Z., Zhu, W., Huang, X. y Chen, D. (2017). Source contributions to PM2.5 in Guangdong province, China by numerical modeling: Results and implications. *Atmospheric Research*, 186, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.11.007>
- Yola, L. (2022). Influence of urban canyon direction on long wave radiation pattern in a tropical context. En E. M. Nia, I. Farshchi, L. Yola y M. Awang (eds.), *Sustainable development approaches: Selected Papers of AUA and ICSGS 2021* (pp. 143-151). Springer International Publishing.

Zhou, Y., Yue, Y., Bai, Y. y Zhang, L. (2020). Effects of rainfall on PM2.5 and PM10 in the middle reaches of the Yangtze river. *Advances in Meteorology*, (1), 1-10.



Aplicación de los modelos de inventario en la cadena de suministros

Application of inventory models in the supply chain

Humberto Guerrero Salas ¹

Fecha de Recepción: 26 de julio de 2023

Fecha de Aceptación: 16 de octubre de 2024

Cómo citar: Guerrero Salas H. (2024). Aplicación de los modelos de inventario en la cadena de suministros. *Tecnura*, 28(80), 60-82. <https://doi.org/10.14483/22487638.19292>

Resumen

Contexto: En forma global, el presente artículo trata de la aplicación, de forma combinada, de los modelos de inventario de producción y compra en la operación de la cadena de abastecimientos o suministros, de tal forma que se obtenga un costo total mínimo.

Método: Se realiza una revisión bibliográfica de la formulación de los modelos de inventarios de producción y de compra sin déficit; para luego generar la aplicación aunada de dichos modelos a la estructura general de la cadena de suministros.

Resultados: Se realiza la aplicación de los modelos de inventarios de forma combinada en la cadena de suministros para obtener un costo total mínimo en la gestión entre el productor y el distribuidor. Esto queda demostrado con la comparación de los costos de forma individual y los costos globales de la propuesta.

Conclusiones: La única conclusión que se emana de este documento es el hecho de realizar procesos de optimización de forma integral en toda la cadena de suministros; ya que cuando se optimizan las partes de forma aislada, aunque se generan soluciones optimas, en la mayoría de los casos no son eficientes para el sistema total.

Palabras clave: cadena de suministros, logística, modelos de inventarios.

Abstract

Context: Combine the production and purchase inventory models in the operation of the supply or supply chain in such a way that a minimum total cost is obtained.

Method: This paper presents the formulation of the models of production and purchase inventories without deficit; coupled with the overall structure of the supply chain.

Results: All the calculations of the application of the inventory models are made to obtain a minimum total cost in the management between the producer and the distributor.

¹Ingeniero industrial, especialista en Gerencia de Producción, magíster en Ingeniería Industrial. Docente de planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia^{ROR}. Email: hguerreros@udistrital.edu.co

Conclusions: The only conclusion that emanates from this document is without a doubt the fact of carrying out optimization processes in an integral way throughout the supply chain; since when the optimization of the parts is carried out in isolation, although optimal solutions are generated, in most cases they are not efficient for the total system.

Keywords: supply chain, logistics, inventory models.

Introducción

Para todo tipo de empresa, sin importar su objeto o razón social, se establece que su objetivo es incrementar las utilidades y, a su vez, minimizar el costo total de la gestión; esto último a través de los modelos de inventarios. Esto da lugar al presente documento; ya que en los libros o textos la optimización de los inventarios se trata de forma independiente en cada modelo, sin tener en cuenta constituyen un contexto global denominado *cadena de suministros*.

Inicialmente, se elabora una revisión del estado del arte, dividida en tres temas: logística, administración de la cadena de suministros y gestión de inventarios. Luego, se implementan los modelos de inventarios en la cadena de suministros para un fabricante (modelo de producción sin déficit) que debe atender las necesidades de un operador logístico (modelo de compra sin déficit) y las de demanda de tres clientes. Por último, se expone la conclusión de los beneficios de la aplicación.

Fundamento teórico

El marco conceptual tiene su inicio con el desarrollo de la logística desde sus primeros años, la cual surge para consolidar las decisiones operativas de los altos mandos militares, primordialmente en Inglaterra, en la década de 1940 (Carranza, 2005). Allí, se realizan las primeras gestiones de su aplicación, las cuales están muy de la mano con la investigación de operaciones; y cuya estrategia fundamental consistía en evitar avances y ataques de los enemigos. Así, se inicia el perfeccionamiento mediante la conformación de equipos multidisciplinarios. Luego, se realiza un pequeño acercamiento de lo que es la administración y gestión de la cadena de suministros, para aterrizar en los modelos de inventarios; que es el fin último planteado en este documento.

Logística

Deficiencias de la logística

A través del avance y utilización de la logística, se persigue minimizar la comisión de errores, ya que el tiempo es relevante. Entre los errores más cometidos en este aspecto se pueden

mencionar los siguientes (Legis, 2009): no informar a tiempo al operador logístico que el despacho de la mercancía llegó al puerto; enviar las mercancías a otros destinos; demoras del contenedor en el puerto; almacenamientos de grandes cantidades en sitios indebidos; inexactitud de los inventarios de la mercancía almacenada, y falta de planeación (Guerrero Salas, 2022).

Para la minimización de estos errores y generar una estrategia competitiva, se deben formular claramente los objetivos y los objetivos, para así determinar flujos y tiempos de las cadenas de distribución. También, hay que tener pleno conocimiento de las normas y planes de capacitación y unas tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) que operen de conformidad con la organización.

Algunos de los interrogantes que debe solucionar una buena gestión logística son: ¿cuándo, dónde y cómo se debe realizar ampliación de las instalaciones: almacenes, equipos, plantas, etc.?; ¿cuál es el programa óptimo de abastecimiento de materiales y materias primas, fabricación y distribución?; ¿qué cantidad de operadores de distribución se requieren?; ¿cuánto cuesta elevar los niveles de atención al cliente?; ¿cuánto inventario necesito para abastecer a los clientes?

La respuesta a estos cuestionamientos está en la gestión y el mejoramiento de las funciones logísticas de las empresas, ya que durante todo el proceso debe existir un control del costo total de las actividades de la empresa. Según Mauleón (2006), se pueden nombrar los siguientes: el costo generado por el inventario que incluye el costo del dinero invertido y su costo oportunidad o financiero; además de agregar la obsolescencia, perdidas por daños y seguros, el costo de bodegaje o mantenimiento (Guerrero, 2017), costos de ordenamiento de pedidos, los costos generados por el transporte, el costo de preparación y embalaje y los costos incurridos por todo el sistema de entrega al cliente final. Además, hay que tener muy en claro que en muchas industrias se trabaja con el costo total por naturaleza; mientras que el operador logístico trabaja con costos unitarios por operaciones (Mauleon, 2006).

Diseño de un operador logístico

Un operador logístico se define como:

aquella organización que diseña, organiza, gestiona y controla los procesos de una o varias etapas de la cadena de suministro como lo es el aprovisionamiento, transporte, almacenaje, distribución, e incluso algunas actividades del proceso de producción, utilizando para ello infraestructuras físicas, tecnológicas y sistemas de información, propios o ajenos. El operador logístico responde ante sus clientes de los servicios suministrados y acordados, y es un interlocutor directo. (Mira, 2006, p. 25)

Entonces, un operador logístico se debe analizar como una red total, integrada por puntos de convergencia denominados *nodos*, o *eventos específicos*, que se interrelacionan. Cada nodo viene a representar las áreas específicas de la empresa como almacenes, plantas de fabricación, centros de venta y las conexiones entre estas que representan transportes a través de los cuales se genera el flujo de los materiales, información o productos. Además, integrada a esta red se deben mencionar todos los actores externos que corresponden a los consumidores y sitios de entrega de productos.

Después de recibir materiales auxiliares y materias primas, el producto es fabricado en diferentes plantas de producción y enviado en diferentes medios de transporte a operadores logísticos o almacenes temporales, en los que, por diferentes medios de transporte, es entregado a los consumidores o sitios de venta. Dentro de este diseño se encuentra implícito el flujo de información referente a necesidades de los clientes, pedidos a proveedores, estadísticas, información de inventario, tiempos de entrega y procesos de contabilidad, entre otros aspectos.

Cuando se ejecuta una gestión asertiva en el diseño de la estructura logística, se pueden obtener los siguientes beneficios: disminución de los costos de distribución, minimización de costos por manejo de inventario, generados por una gestión adecuada de inventarios, y la aplicación de modelos de optimización (Guerrero, 2017) y niveles óptimos de producto terminado en los centros de venta.

Gestión de la cadena de suministros

El concepto de *gestión de la cadena de abastecimiento* tiene que ver con asegurar la optimización integral de todas las tareas involucradas en las actividades de aprovisionamiento, almacenamiento, producción, organización, planificación, operación e información, mediante una concepción transversal de todos los procesos. Para Collier y Evans (2007), “la administración de la cadena de suministros (SCM) es la administración de todas las actividades que facilitan el cumplimiento de la orden realizada por un cliente de un bien manufacturado con objeto de lograr que el cliente quede satisfecho a un costo razonable” (p. 358).

Este concepto no es nuevo en las tareas logísticas tradicionales, más bien consiste en una modificación del alcance y cobertura del radio de acción de todas las actividades logísticas; la cual integra las cadenas de proveedores y clientes, más las organizaciones de servicios logísticos que intervienen en la cadena logística primaria (Mora, 2008).

Se puede concluir que la gran diferencia con el manejo logístico tradicional es que las funciones de proveedores y clientes se involucran como parte de la administración de la cadena.

Entonces, las empresas deben iniciar un enfoque de administración integral, lo cual es dirigir el enfoque tradicional de todas las funciones concentrándolas en el acertado cumplimiento de los procesos. Durante las décadas anteriores, se volvió cada vez más evidente que las funciones, realizadas con éxito de forma simple, no necesariamente se combinaron para obtener el costo más bajo (Bowersox, 2007). Por consiguiente, esta administración global o integral se centra en el costo de proceso total más mínimo posible.

También, la administración de la cadena de suministros, como logística integral, es la gestión coordinada de todas las actividades operativas de la empresa; por tanto, es necesaria una visión holística del sistema, es decir, asumir el conjunto de procesos como un todo (Soret, 2019). Además, tras evaluar propuestas de otros autores, se percibe que la dirección de la cadena de suministros es solo otro nombre para la dirección integrada de la logística de los negocios (Long, 2012), y que con el paso del tiempo se ha incrementado la amplia cobertura en la administración de todos los suministros.

Para el logro de la administración efectiva de la cadena de suministros se recomienda contar con una red de proveedores eficiente, una red de productores con condiciones de calidad uniformes y una red de distribuidores idónea, aunada a una red de clientes que trabajen en pro de mejorar la calidad, condiciones y características de los productos.

Además, una cadena de abastecimiento o suministro está formada por aquellas partes involucradas, directa o indirectamente, en la satisfacción de las necesidades de un cliente. Por tanto, la cadena de suministro involucra no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a los transportadores, almacenes, vendedores al detalle e incluso al cliente final (Chopra y Meindl, 2015). A continuación, se definen algunos tópicos específicos sobre la administración de la cadena de suministros.

Gestión de aprovisionamiento

Tiene que ver con la adquisición y recepción de materiales y materias primas, que son entregados por los proveedores; se establece la cantidad necesaria, con los requisitos de calidad acordados, en la fecha comprometida y al mejor precio que debe ser adquirida, transportada, manipulada y entregada a la empresa por un sistema de proveedores. Vale la pena mencionar que “el abastecimiento es la fuente de suministro de los bienes de producción que han de integrarse al proceso de composición del bien o servicio, el cual depende de manera intrínseca de las características del bien que se va a producir” (Ballou, 2004, p. 55). Para lograr la estrategia óptima del aprovisionamiento se debe contar con una red de proveedores que garantice condi-

ciones de cuidado al medio ambiente, condiciones de calidad de las materias primas, materiales auxiliares, y plazos de entrega y responsabilidad social.

Gestión de producción

Consiste en la capacidad de producción y de información necesaria en las formas establecidas por el proceso de fabricación, en la cantidad requerida, con la calidad acordada, en el momento estipulado para la generación de los bienes o servicios.

Gestión de distribución

Contempla todas las actividades concernientes al canal de información entre la empresa y sus clientes, de manera que se optimice la capacidad de producción de la compañía para competir con tiempos de cumplimiento, servicios y productos, calidad, costos, flexibilidad y credibilidad.

Transporte

Su gestión óptima debe incluir la selección de los medios de transporte, la cantidad a enviar y el diseño o establecimiento de rutas adecuadas, así como su programación. Debe estar influida por la distancia de los almacenes a los clientes y a las plantas de producción, lo cual, a su vez, determina la correcta ubicación de los almacenes.

Los niveles de satisfacción de los clientes, la ubicación de las instalaciones, el inventario y el transporte de los productos son las principales áreas de la programación y planeación, debido al impacto que estas decisiones tienen sobre las utilidades de la empresa, el flujo de caja y las inversiones futuras. Cada área de decisión se interrelaciona y la estrategia de transporte debe planearse al menos con cierta consideración de equilibrio. (Ballou, 2004, p. 72).

También,

el objetivo principal de una cadena de suministro es proporcionar a los clientes una respuesta exacta y rápida a sus pedidos al costo más bajo posible. Esto requiere una red de instalaciones estratégicamente ubicadas. Así, las decisiones de ubicación tienen un efecto profundo en el desempeño de la cadena de suministro y en la ventaja competitiva de una empresa. (Collier y Evans, 2007, p. 47)

Con base en lo enunciado, un plan logístico adecuado depende enormemente del método de aprovisionamiento que se emplee para los materiales, materias primas y suministros que se compran; así como del transporte entre las plantas y los almacenes, y de los almacenes al consumidor final. El objetivo de esta aplicación es determinar los transportes óptimos a asignar

de modo que se reduzcan los costos de transporte y las distancias a recorrer entre puntos del canal logístico.

Distribución física

Para referirse a la definición de distribución física, primero hay que mencionar que es muy difícil para cualquier empresa realizar todo el control de la cadena de abastecimientos, desde la consecución de las materias primas y materiales auxiliares hasta la entrega del producto al consumidor final. Por lo general, el control administrativo acaba con la entrega física del producto y en las rutas físicas de distribución. Entonces, se distinguen claramente dos canales: el canal físico de suministro y el canal físico de distribución; este último hace énfasis en la distribución física:

Canal físico de suministros se refiere a la brecha de tiempo y espacio entre las fuentes inmediatas de material de una empresa y sus puntos de procesamiento. De manera similar, canal físico de distribución se refiere a la brecha de tiempo y espacio entre los puntos de procesamiento de una empresa y sus clientes. (Ballou, 2004, p. 7)

Ahora, según Castellanos Ramírez (2019), la distribución física de mercancías es el conjunto de operaciones necesarias para el desplazamiento de los productos preparados como carga, desde el lugar de producción o manufactura en el país de exportación hasta el local del importador en el país de destino, bajo los conceptos de *óptima calidad*, *costo razonable* y *entrega justo a tiempo*. Según el mismo autor, se trata de “transportar el producto adecuado en la cantidad requerida al lugar acordado y al menor costo total para satisfacer las necesidades del consumidor en el mercado internacional justo a tiempo (JAT) y con la calidad total (CT)” (Castellanos Ramírez, 2019, p. 12). Además, la distribución clausura el conjunto de estructuras al suministrar los mecanismos de empalme entre el abastecimiento y la manufactura; es decir, que la gestión de los procesos logísticos en su estructura tiene el comportamiento de cíclicos e interdependientes.

Servicio al cliente

Tal como lo menciona Ballou (2004), el servicio al cliente es el proceso de cumplir a cabalidad con el pedido de un cliente. Esto incluye recibir el pedido (ya sea manual o electrónicamente), administrar el pago, recolectar y empacar los productos, enviar el paquete, entregarlo y proporcionar el servicio al cliente para el usuario final; así como manejar de la mejor manera la devolución de los productos. El servicio al cliente, *grosso modo*, parte de una orden o colocación de la venta, seguida de la información pertinente del pedido al departamento de producción, evaluación del proceso en que se encuentra el pedido dentro de la compañía (rastreo y localización), y embalaje y programación para la entrega. Además, como lo manifiestan Lamb et al.

(2011), la mayoría de las empresas reconocen que es necesario desarrollar medidas únicas para su estrategia, propuestas de valor y un mercado objetivo.

Sistema de información

El sistema de información para la administración de la red logística tiene que ver con la recolección y manipulación de los datos de una empresa, tendientes a ayudar a la mejor toma de decisiones (tanto estratégicas como operativas) en todos sus departamentos, y primordialmente facilitar todo tipo de operaciones del negocio o empresa.

El sistema logístico de información se debe dividir en dos partes (Ballou, 2004): el de información interna y el de información externa. En el primero se maneja la información de las finanzas, *marketing*, logística, manufactura y compras; en el externo se involucran los clientes, proveedores, transportadores y socios de la cadena de suministros.

Además, se debe tener en cuenta la información del sistema de control de pedidos que involucra la disponibilidad de inventarios, productos asignados a algunos clientes y cumplimiento, sistema de gestión de almacenes, el cual debe involucrar el manejo de inventarios, selección de pedidos, rutas de los operadores y estimación de disponibilidad de producto; y el sistema de gestión de transportes desde donde se consolida el pedido, se seleccionan los modos, quejas, monitoreo, pago de la factura y auditoría de la factura del transporte.

Coordinación en la cadena de suministros

Una buena coordinación entre producción, mercadeo, compras y todas las demás instancias no debe enfatizarse en exceso. A menudo las interrelaciones entre estas se presentan a un nivel que la optimización de una actividad de forma individual puede implicar un perjuicio de una o de muchas de las otras actividades realizadas. En relación con la optimización de cada subsistema independiente de una red logística se observa que su nivel de desarrollo es muy alto, en cuanto a los operativos y teóricos tratados, los cuales pueden aplicarse en el contexto de las organizaciones; además, una buena gerencia en la cadena de suministros puede no solo disminuir los costos, sino también obtener un incremento en las ventas.

Gestión de inventarios

En la cadena de abastecimiento o suministro, la gestión de inventarios tiene que ver con la determinación de las cantidades óptimas necesarias que garanticen el flujo físico equilibrado a lo largo de los procesos de transformación, aprovisionamiento y distribución, para lo cual se atienden las condiciones generadas por la variabilidad e incertidumbre de un sistema dinámico y que garantice la máxima satisfacción del cliente. En este sentido, existen diversos modelos de

inventarios (Guerrero, 2017); dependiendo del tipo de artículo y tipo de demanda, entre otras características.

Además, la administración de los inventarios son técnicas usadas para ayudar a los gerentes a determinar cuándo deben reabastecerse los actuales inventarios y cuánto deben ordenarse (Mathur y Solow, 2009).

Inventario

Consiste en una cantidad de bienes o materiales mantenidos durante un tiempo en un estado inactivo en espera de su uso o un conjunto de bienes que se almacenan para posteriormente venderlos o utilizarlos (Martin et al., 2005). Con base en esto se puede afirmar que los inventarios son productos o bienes que se mantienen en estado de ocio hasta el momento en que se les requiera.

Funciones básicas de los inventarios

La función básica de los inventarios es la de satisfacer una demanda o requerimiento de un cliente en un momento determinado. El cliente puede ser un consumidor o una etapa de un proceso de producción. Entre estas funciones básicas hay que tener en cuenta que debe protegerse el desarrollo continuo de producción, ya que una falta de algún artículo generaría una parada de la planta; lo que puede resultar costoso para la organización.

Costos causados en un modelo de inventarios

En términos generales, los costos involucrados en un modelo de inventarios son los siguientes:

- *Costo de mantenimiento.* Se genera en el momento que se da bodegaje, arriendo o almacenamiento de un determinado artículo o producto; y dentro de él pueden involucrarse el costo del dinero invertido o lucro cesante, el de arrendamiento o almacenaje, los salarios del personal de vigilancia, entre otros.
- *Costo de penalización.* Se produce cuando cliente pide un servicio o producto, y la empresa no lo tiene; en otras palabras, es el costo asociado a la pérdida de oportunidad por la no satisfacción de las necesidades del cliente.
- *Costo fijo o por ordenar.* Se establece cuando se saca una orden de producción o de compra. Se llama fijo, porque no depende de la cantidad pedida o fabricada.

- *Costo variable*. Corresponde al de cada unidad producida (cuando el artículo es fabricado en una planta de producción) o sencillamente el costo de cada producto (cuando el artículo es comprado).

Clasificación de los modelos de inventarios

Los modelos de inventarios tienen una clasificación general que depende del tipo de demanda que presente el artículo o producto evaluado. Si el artículo tiene demanda determinística, entonces el modelo de inventarios es determinístico; mientras que, si presenta una demanda probabilística, el modelo de inventarios es probabilístico o estocástico. Generalmente, se considera que un artículo tiene demanda determinística únicamente cuando se trabaja bajo pedido.

Luego de que un producto es clasificado en un modelo de inventarios, ya sea determinístico o estocástico, viene la clasificación específica que depende de características especiales y de manejo del producto (Prawda, 1994), entre las cuales se pueden mencionar las siguientes: tipo de reposición, cantidad de productos, cantidad de periodos, con o sin déficit, etc. A continuación, se describen los dos modelos básicos que se van a aplicar en el presente documento. Para una mayor profundidad en diferentes modelos de inventario, puede consultarse a Guerrero (2017).

Modelo de producción sin déficit

Este modelo de inventarios determinísticos supone que la demanda se conoce con anterioridad; por tanto, ocurre a un ritmo constante, la capacidad de producción es conocida y también ocurre a una tasa constante, la capacidad de producción debe ser mayor a la tasa de demanda; los costos variables, de mantenimiento y fijos deben ser conocidos y constantes; y por último, no se permite demanda diferida.

La estructura del modelo se inicia con cero unidades en almacenaje, se coloca una orden de producción en ese momento y esta se completa en t_1 unidades de tiempo; en este tiempo se produce a razón de k unidades por unidad de tiempo, y se consume a razón de r unidades por unidad de tiempo, y al final de dicho tiempo quedan S (inventario máximo) unidades en el almacén. En el momento en que se llega al nivel de inventario máximo, se suspende la producción, y durante un tiempo de t_2 unidades de tiempo solo se satisface la demanda, es por eso que al final de este tiempo se encuentra nuevamente en el nivel nulo de inventario. Entonces, se coloca una nueva orden de producción. Esto se realiza tantas veces como sea necesario para completar el pedido total del cliente. En la figura 1 se ilustra la estructura de un ciclo del inventario para dicho modelo.

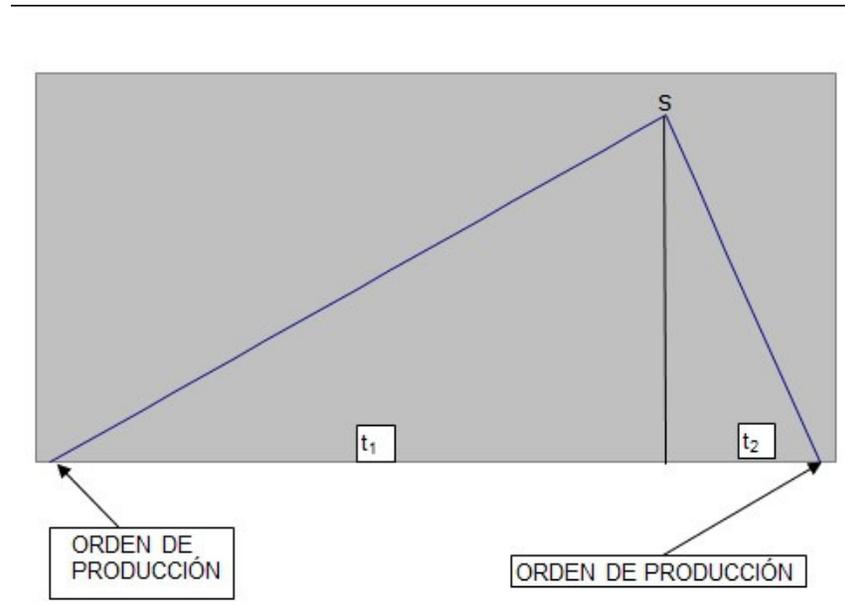


Figura 1. Estructura general del modelo de producción sin déficit

Las fórmulas correspondientes a este modelo se describen y se explican de la siguiente manera: inicialmente se realiza una orden de producción por Q unidades (ecuación 4) las cuales se producen en una cantidad de t_1 unidades de tiempo (ecuación 1), tiempo en el cual se llega al inventario máximo o superávit (ecuación 3). Este superávit se consume en exactamente t_2 unidades de tiempo (ecuación 2):

$$t_1 = \frac{rt_2}{k - r} \quad (1)$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{2C_o(1 - r/k)}{rC_m}} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{2rC_o(1 - r/k)}{C_m}} \quad (3)$$

$$Q = \sqrt{\frac{2rC_o}{C_m(1 - r/k)}} \quad (4)$$

Según la estrategia óptima, el costo total promedio (en este caso el de mantenimiento más el costo por ordenar) por unidad de tiempo se calcula con base en la ecuación 5, y el costo total (incluye el variable) se calcula empleando la ecuación 6:

$$Ct = \sqrt{2rC_mC_o(1 - r/k)} \quad (5)$$

$$CT = Ct + Cv(r) \quad (6)$$

$$N = \frac{R}{Q} \quad (7)$$

Este mismo costo total promedio por unidad de tiempo puede calcularse sumándole el costo por ordenar al resultado que arroja la ecuación 9. El resultado de esta fórmula se divide la cantidad de unidades de tiempo de ciclo (ecuación 10). Para calcular las unidades mantenidas por ciclo se debe emplear la ecuación 8:

$$UMC = \frac{(t_1 + t_2)S}{2} \quad (8)$$

Si se desea establecer cuántas veces hay que repetir el ciclo para satisfacer el pedido del cliente (R unidades demandadas en un periodo determinado de tiempo), se debe utilizar la ecuación 7:

$$CMC = \frac{C_m(t_1 + t_2)S}{2} \quad (9)$$

El tiempo del ciclo del inventario para este modelo se calcula sumando los tiempos involucrados. Para este caso, es con la ecuación 10:

$$Tc = t_1 + t_2 \quad (10)$$

Modelo de compra sin déficit

En los modelos de compra existe la suposición de que el artículo no será producido, sino que será adquirido a un proveedor, en cuyo caso la empresa operará como distribuidor de un determinado producto. Este modelo es conocido en algunos textos como el CEP (cantidad económica de pedido), EOQ (*economic order quantity*) o simplemente como el modelo de *dientes de sierra*, como se ilustra en la figura 3.

Para garantizar la funcionalidad del modelo, se supone que la demanda del producto se conoce bajo certeza y ocurre a una tasa constante, los costos variables, el costo de mantenimiento y el costo fijo o por ordenar deben ser constantes y conocidos, no se permite demanda diferida al futuro y todas las unidades que van al almacén se supone que es de forma instantánea.

El modelo supone que se inicia con cero unidades en almacenamiento, que se coloca una orden de compra en ese momento y que dicha cantidad incrementa el inventario automáticamente (se llega de una sola vez al inventario máximo o superávit); luego, el producto se consume de forma constante a razón de r unidades por cada unidad de tiempo, hasta llegar al nivel nulo de inventario (se consume todo el inventario). En ese instante de tiempo se coloca una nueva orden de compra, la cual sube el inventario de nuevo al nivel de superávit. Así se repite el ciclo hasta completar la demanda total del cliente. En la figura 2 se ilustra la estructura básica para este modelo.

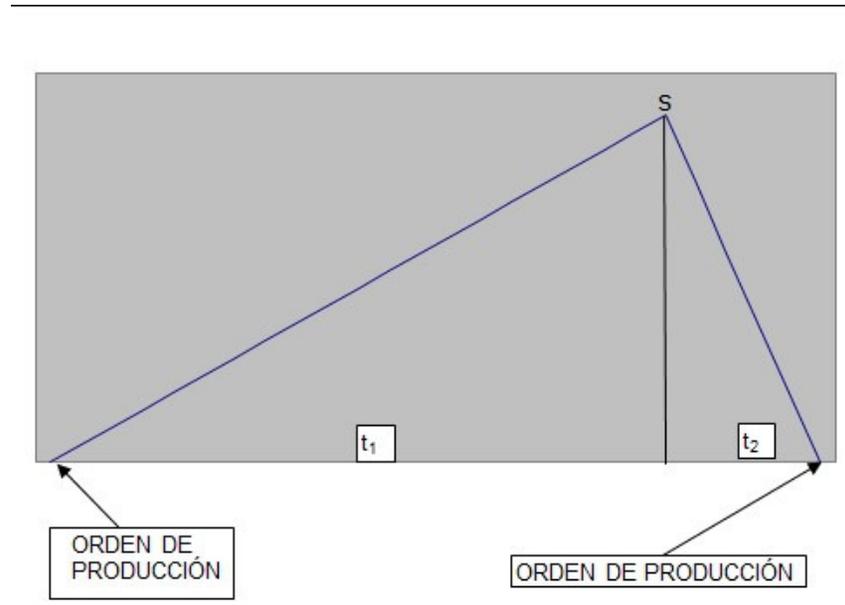


Figura 2. Estructura general del modelo de compra sin déficit

Es este modelo, se realiza un pedido de Q unidades (ecuación 13), las cuales se supone que llegan instantáneamente, por lo cual el inventario llega a el nivel máximo o superávit (ecuación 12). El inventario máximo se consume en exactamente t_2 unidades de tiempo (ecuación 11), y al final de este tiempo se realiza una nueva compra de Q unidades. Esto se repite la cantidad de veces que sea necesaria (número de ciclos calculado con la ecuación 16) hasta completar el pedido total del cliente establecido en R unidades en el periodo establecido:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2C_o}{rC_m}} \quad (11)$$

$$S = \sqrt{\frac{2rC_o}{C_m}} \quad (12)$$

$$Q = \sqrt{\frac{2rC_o}{C_m}} \quad (13)$$

El costo total promedio por unidad de tiempo se calcula con base en la ecuación 14, y el costo total se establece con la ecuación 15:

$$Ct = \sqrt{2rC_mC_o} \quad (14)$$

$$CT = Ct + Cv(r) \quad (15)$$

El número total de unidades que causan costo de mantenimiento en un ciclo del inventario se establecen utilizando la fórmula 16 y el costo de mantenimiento de estas unidades en

almacén mediante la utilización de la fórmula 18.

$$N = \frac{R}{Q} \quad (16)$$

$$UMC = \frac{t_2 S}{2} \quad (17)$$

$$C_{mc} = \frac{C_m t_2 S}{2} \quad (18)$$

Para el modelo de compra con déficit, el tiempo de un ciclo del inventario es exactamente el tiempo 2 (t_2). Esto se puede observar en la ecuación 19:

$$T_C = t_2 \quad (19)$$

Para calcular el costo total óptimo en cualquier unidad de tiempo, también se puede utilizar la ecuación 20, la cual debe generar el mismo resultado de la ecuación 15:

$$CT = C_v(R) + C_o \left(\frac{R}{Q} \right) + C_m \left(\frac{Q}{2} \right) \quad (20)$$

Aplicación

Estructura general

Para la aplicación de los modelos de inventario en el presente documento, como se observa en la figura 3, la estructura de la propuesta considera un fabricante que debe satisfacer la demanda del operador logístico, y este debe satisfacer la demanda de los tres clientes.

Los clientes

La información estipulada para los clientes es una demanda total de 72 000 unidades por año, los cuales están discriminadas en que el cliente 1 demanda 18 000 unidades en el año; el cliente 2 demanda 28 800 unidades en el año, y el cliente 3 demanda 25 200 unidades en el año. Esto quiere decir que la demanda diaria de cada cliente es de 50, 80 y 70 unidades, respectivamente (se considera un año de 360 días).

El operador logístico

Una vez reconocidas las necesidades de cada cliente, esto se convierte en los pedidos que le realizan al operador logístico, para lo cual se establece una demanda total en el periodo (un año) de 72 000. Esto equivale a una demanda diaria de 200 unidades. Además, se va a suponer que el costo que se genera por guardar una unidad en el almacén es COP 100 por día y que el costo que se causa por colocar una orden de compra o pedido es COP 640 000. También, se

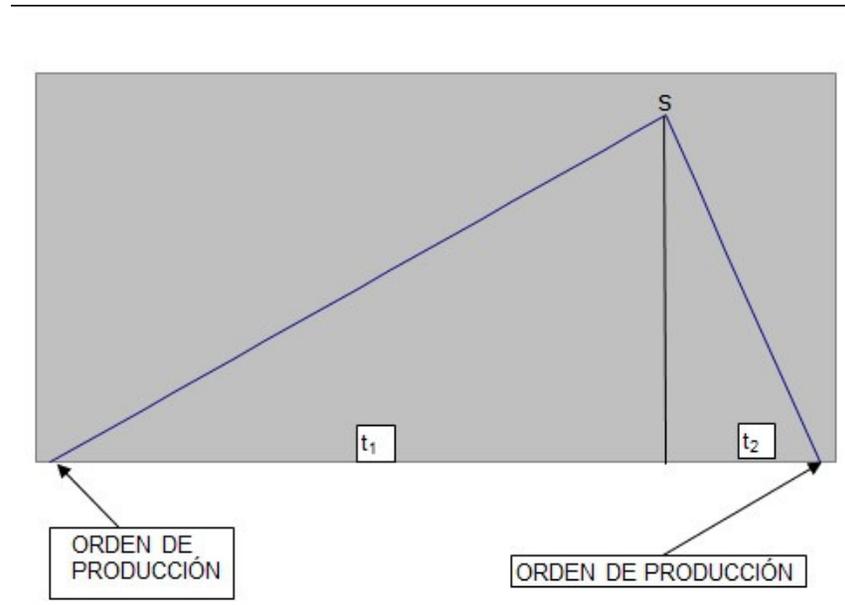


Figura 3. Estructura general de la propuesta

supondrá que el fabricante cobrará COP 750 por cada unidad que le venda o entregue al operador logístico.

Con base en la información suministrada se obtiene lo siguiente:

- Demanda total del período: $R = 72\ 000$ unidades/año.
- Demanda diaria: $r = 200$ unidades/día.
- Costo por ordenar una compra: $C_o = \text{COP } 640.000$.
- Costo de adquisición por unidad: $C_v = \text{COP } 750/\text{unidad}$.
- Costo unitario de mantenimiento: $C_m = \text{COP } 100 \text{ unidad/día}$.

Con base en esta información, se observa que el operador logístico cumple funciones de distribuidor; esto es, le compra producto al fabricante para venderle posteriormente a los tres clientes considerados. Por tanto, para el operador logístico se debe utilizar el modelo de compra sin déficit, descrito en las secciones anteriores.

Mediante la utilización de las ecuaciones 11 a 20 se obtienen los siguientes resultados:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2C_o}{rC_m}} = \sqrt{\frac{2(640\ 000)}{200(100)}} = 8 \text{ días}$$

$$S = \sqrt{\frac{2rC_o}{C_m}} = \sqrt{\frac{2(200)(640\ 000)}{100}} = 1600 \text{ unidades}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2rC_o}{C_m}} = \sqrt{\frac{2(200)(640\ 000)}{100}} = 1.600 \text{ unidades}$$

$$Ct = \sqrt{2rC_mC_o} = \sqrt{2rC_mC_o} = \text{COP } 160\ 000/\text{día}$$

$$CT = Ct + Cv(r) = 160\ 000 + 750(200) = \text{COP } 310.000/\text{día}$$

$$N = \frac{R}{Q} = \frac{72\ 000}{1600} = 45 \text{ ciclos}$$

$$UMC = \frac{t_2S}{2} = \frac{8(1600)}{2} = 6.400 \text{ unidades}$$

$$Cmc = \frac{C_mt_2S}{2} = \frac{100(8)(1600)}{2} = \$640.000 \text{ por ciclo}$$

$$T_c = t_2 = 8 \text{ días}$$

$$CT = C_v(R) + C_o \left(\frac{R}{Q} \right) + C_m \left(\frac{Q}{2} \right)$$

$$CT = 750(200) + 640\ 000 \left(\frac{200}{1600} \right) + 100 \left(\frac{1600}{2} \right) = \text{COP } 310.000/\text{día}$$

De acuerdo con los resultados, el operador logístico debe realizar un pedido de 1600 unidades al productor; lo cual se supone que incrementa el inventario en esa cantidad de forma instantánea (figura 4). Luego el operador logístico espera 8 días en los cuales los clientes consumen a razón de 200 unidades por día (50 unidades del cliente 1; 80 unidades del cliente 2, y 70 unidades del cliente 3). Al finalizar los 8 días, el operador logístico llega al nivel cero de

inventario; por lo cual realiza otro pedido de las mismas 1600 unidades. Esto se debe repetir durante 45 ciclos en el año para cubrir la demanda de 72 000 unidades en el año.

Con base en esta estrategia para el operador logístico, se genera un costo total promedio de COP 160 000 por día, COP 1 280 000 en el ciclo o COP 57 600 000 por año.

Incluyendo lo que el fabricante le cobra al operador logístico por cada unidad (costo variable) el costo total generado es COP 310 000 por día, COP 2 480 000 por ciclo o COP 111 600 000 por año. Se observa que la cantidad de unidades mantenidas en un ciclo son 6400, lo que genera un costo de mantenimiento por ciclo de COP 640 000.

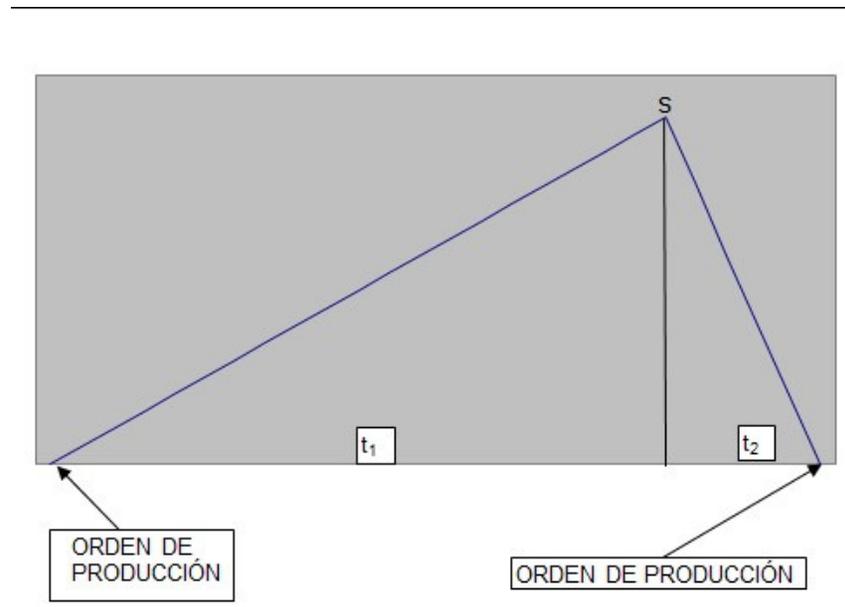


Figura 4. Estructura del modelo de compra sin déficit para el operador logístico

El fabricante

Como el operador logístico requiere de 72 000 unidades en el año, esta se convierte también en la demanda del productor o fabricante. Por consiguiente, la demanda diaria para el fabricante también es de 200 unidades.

La información de costos que se dispone del fabricante es que cuesta COP 150 guardar una unidad en su almacén, generar una orden de producción cuesta COP 2 304 000 y cada unidad producida cuesta COP 520. Además, se sabe que la planta de producción tiene capacidad para producir 500 unidades por día.

Con base en esta información se obtiene lo siguiente:

Demanda total del período:	$R = 72\ 000$ unidades/año.
Demanda diaria:	$r = 200$ unidades/día.
Tasa de producción diaria:	$k = 500$ unidades/día.
Costo por ordenar un lote de producción:	$C_o = \text{COP } 2\ 340\ 000$.
Costo de producción por unidad:	$C_v = \text{COP } 520/\text{unidad}$.
Costo unitario de mantenimiento:	$C_m = \text{COP } 150$ unidad/día.

De acuerdo con esta información, el fabricante debe aplicar un modelo de producción sin déficit. Utilizando las ecuaciones 1 a 10, se obtiene lo siguiente:

$$t_1 = \frac{rt_2}{k-r} = \frac{200(9,60)}{500-200} = 6,40 \text{ días}$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{2C_o(1-r/k)}{rC_m}} = \sqrt{\frac{2(2\ 340\ 000)(1-200/500)}{200(150)}} = 9,60 \text{ días}$$

$$S = \sqrt{\frac{2rC_o(1-r/k)}{C_m}} = \sqrt{\frac{2(200)(2\ 340\ 000)(1-200/500)}{150}} = 1920 \text{ unidades}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2rC_o}{C_m(1-r/k)}} = \sqrt{\frac{2(200)(2\ 340\ 000)}{150(1-200/500)}} = 3200 \text{ unidades}$$

$$Ct = \sqrt{2rC_mC_o(1-r/k)} = \sqrt{2(200)(150)(2\ 340\ 000)(1-200/500)} = \text{COP } 288\ 000/\text{día}$$

$$CT = Ct + Cv(r) = 288\ 000 + 520(200) = \text{COP } 392\ 000/\text{día}$$

$$N = \frac{R}{Q} = \frac{72\ 000}{3200} = 22,5 \text{ ciclos}$$

$$UMC = \frac{(t_1 + t_2)S}{2} = \frac{(6,40 + 9,60)(1920)}{2} = 15\ 360 \text{ unidades}$$

$$CMC = \frac{C_m(t_1 + t_2)S}{2} = \frac{150(6,40 + 9,60)(1920)}{2} = \text{COP } 2\,304\,000/\text{ciclo}$$

$$T_c = t_1 + t_2 = 6,40 + 9,60 = 16 \text{ días}$$

Como se ilustra en la figura 5, el productor debe realizar una orden de producción de 3200 unidades, las cuales se producen en 6,4 días a razón de 500 unidades por día. Se supone que durante este tiempo el productor le está entregando producto al operador logístico a razón de 200 unidades por día. Por esto, el productor por cada día que transcurre debe enviar 300 unidades al almacén, por lo cual al final de dicho tiempo se genera el inventario máximo de 1920 unidades. Transcurridos los 6,4 días, el productor debe suspender la producción y esperar 9,6 días en que el operador logístico le consume a razón de 200 unidades diarias. Al final de este tiempo se coloca una nueva orden de producción del mismo tamaño y repite esto por un total de 22,5 ciclos.

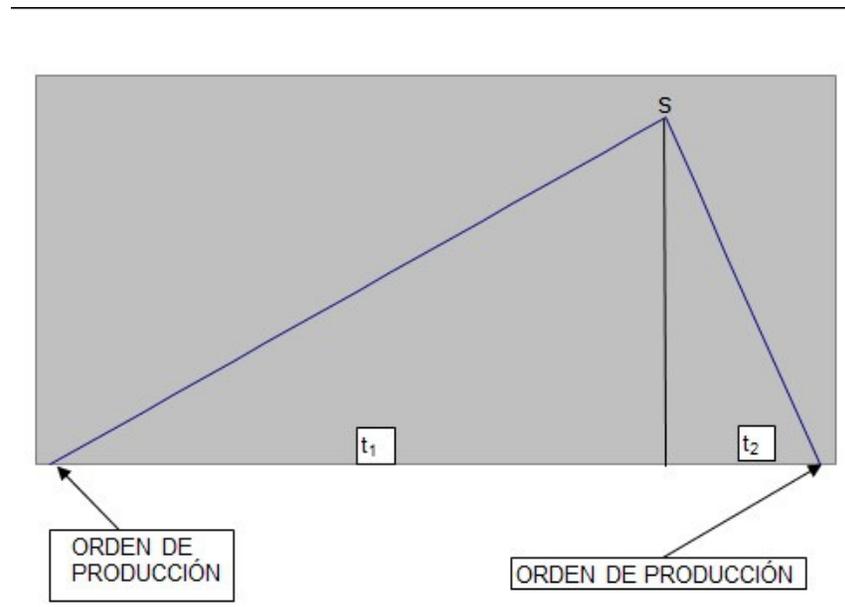


Figura 5. Estructura del modelo de producción sin déficit para el fabricante

Llevar esta estrategia le cuesta al productor un total promedio (incluye el costo de mantenimiento y el fijo) de COP 288 000 por día, COP 4 608 000 por ciclo o lo que es equivalente a COP 103 680 000 por año.

El costo total (incluye el costo de producción de cada unidad) generado asciende a COP 392 000 diarios, COP 6 272 000 por ciclo o COP 141 120 000 por año.

Además, el número calculado de unidades mantenidas en un ciclo de inventario son 15 360; lo que genera un costo total de mantenimiento en el ciclo de COP 2 304 000.

Negociación entre fabricante y operador logístico

En la sección “El operador logístico” se estudió y se generó la situación óptima del operador logístico, sin tener en cuenta las condiciones de los clientes ni las formas de producción y entregas por parte del fabricante; en el apartado “El fabricante” se evaluó la condición óptima de producción e inventarios para el fabricante sin tener en cuenta las condiciones de sus proveedores ni los aspectos de entrega por parte del operador logístico. Esta situación realmente no es así, ya que como se observa en la figura 4, el operador logístico está suponiendo que le llega un pedido de 1600 unidades de parte del fabricante, para suplir la demanda de sus clientes durante 8 días, a razón de 200 unidades por día; mientras que con base en la figura 6, el fabricante produce 500 unidades y de ellas le entrega 200 unidades por día al operador logístico y almacena 300 unidades hasta generar el inventario de 1920 unidades. Además, este inventario también se le entrega al operador logístico a razón de 200 unidades diarias, lo cual supone que el fabricante está entregando a razón de 200 unidades por día al operador logístico durante todo el horizonte de planeación (para este caso es un año).

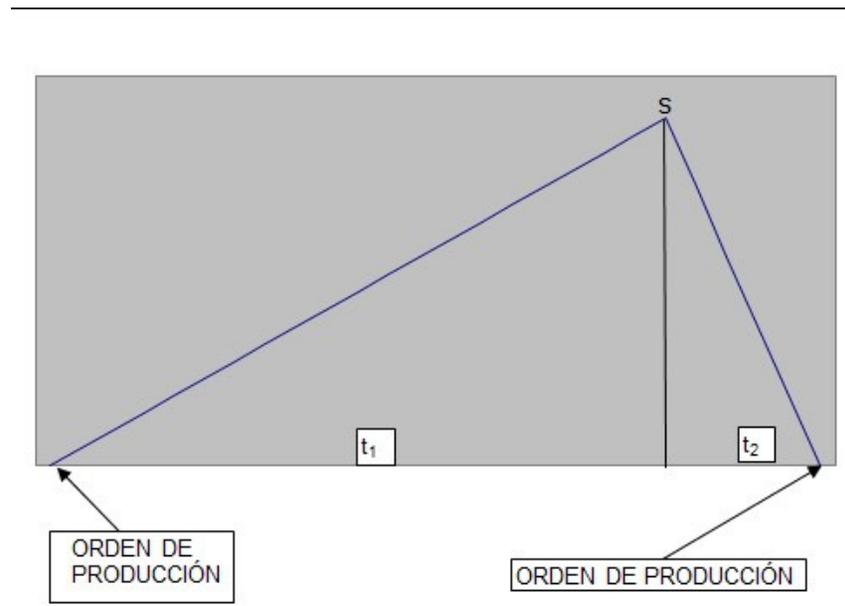


Figura 6. Estructura de la forma de producción y entregas para el fabricante

Todo lo anterior significa que, mínimo, debe haber una negociación de entregas entre el fabricante y el operador logístico, entre los proveedores y el fabricante, y entre el operador logístico y los clientes. En este documento solamente se analiza la situación de entregas entre el fabricante y el operador logístico.

Supóngase que el operador logístico necesita entregas de 1600 unidades cada 8 días (figura 4). Esto indica que el fabricante debe cambiar su estrategia teniendo en cuenta que su producción se registrará con base en lo que indica la figura 6, de la cual se explican los siguientes aspectos:

- La fábrica seguirá produciendo su artículo a razón de 500 unidades por día.
- Sin dañar el lote óptimo de producción, el fabricante seguirá sacando órdenes de producción por 3200 unidades que se terminan en un tiempo de 6,4 días.
- En la figura 6, hay dos tiempos de 3,2 días, pero esto no indica que el lote se produzca en dos tandas, sino que simplemente se acumula el inventario que requiere el operador logístico (lotes de 1600 unidades) y se le envían de forma instantánea. Por esto que en ese mismo instante de tiempo el inventario del fabricante baja a cero (se realiza la primera entrega al operador logístico); pero continúa su producción de la primera orden, la cual se completa cuando acumula nuevamente el inventario de 1600 unidades. El tiempo de fabricación de este lote de 3200 unidades es de 6,4 días, igual que como se indica en la figura 5.
- Cuando se termina de producir la primera orden de producción, el fabricante debe detener la producción y en este instante el inventario nuevamente está en 1600 unidades; pero en ese momento no se le puede entregar al operador logístico, ya que no han pasado los 8 días después de la primera entrega. Por esto, el fabricante debe guardar en inventario a partir de este momento y durante 4,8 días una cantidad de 1600 unidades.
- Pasados estos 4,8 días, ya han pasado exactamente los 8 días establecidos desde la primera entrega, por lo cual se procede a enviar las 1600 unidades al operador logístico. Esto es lo que en la figura 5 se ha denominado *segunda entrega al operador logístico*.
- Luego de esta segunda entrega, el fabricante ha quedado con nivel cero de inventario y debe esperar 4,8 días en esa situación para colocar la siguiente orden de producción de 3200 unidades. A partir de este momento, se repite el ciclo 22,5 veces hasta completar las 72 000 unidades.

El análisis de costos para esta estrategia del fabricante se detalla a continuación:

El cálculo de las unidades mantenidas por ciclo se realiza con base en las áreas de los dos triángulos y el rectángulo donde hay inventario así:

En el triángulo A, se tiene una base de 3,2 y una altura de 1600; lo que genera 2560 unidades mantenidas.

El triángulo B tiene las mismas dimensiones del triángulo A; por tanto, las unidades mantenidas por ciclos son 2560.

El rectángulo C tiene una base 4,8 y una altura de 1600; lo que genera 7680 unidades mantenidas.

Sumando las unidades mantenidas de los tres ítems anteriores, da un total de 12 800 unidades mantenidas en un ciclo.

Obsérvese que el número de ciclos del inventario se mantiene igual que en la situación óptima del fabricante: es un total de 22,5 ciclos.

El costo de mantenimiento por ciclo se establece multiplicando el total de unidades mantenidas por el costo unitario de mantenimiento: $12\ 800 \times \text{COP } 150 = \text{COP } 1\ 920\ 000$.

El costo fijo por ciclo se mantiene en COP 2 304 000.

El costo variable de producción se establece a través de la multiplicación del costo unitario de producción por la cantidad óptima a producir por ciclo: $\text{COP } 520 \times 3200 = \text{COP } 1\ 664\ 000$. Por tanto, la sumatoria de costos totales por ciclo es COP 5 888 000. Este valor incluye los costos de mantenimiento, fijo y de producción.

Multiplicando el costo total por ciclo por la cantidad de ciclos (22,5 ciclos) se obtiene un costo total de COP 132 480 000 por año.

Por último, si se divide el costo total por año por la cantidad de días considerados en el horizonte de planeación (360 días), se genera un costo total de COP 368 000 por día.

Recuérdese que el costo calculado para el fabricante en la sección “El fabricante” dio COP 392 000 por día; lo cual significa que con la estrategia de entregas al operador logístico se obtiene una reducción en el costo de COP 24 000 por día.

Esto se registra en la reducción de las unidades a mantener, las cuales se bajan al no guardar inventario, sino que se realizan entregas instantáneas de 1600 unidades cada 8 días.

Conclusiones

La única conclusión que se emana de este documento es el hecho de realizar procesos de optimización de forma integral en toda la cadena de suministros; ya que cuando se optimizan las partes de forma aislada, aunque se generan soluciones óptimas, en la mayoría de los casos no son eficientes para el sistema total.

Referencias

- Ballou, R. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. Pearson.
- Bowersox, D. (2007). *Administración y logística en la cadena de suministros*. McGraw-Hill.
- Carranza, O. (2005). *Logística. Mejores prácticas en Latinoamérica*. Editorial Thomson.
- Castellanos Ramírez, A. (2019). *Manual de gestión logística del transporte y distribución de mercancías*. Ediciones Uninorte.
- Chopra, S. y Meindl, P. (2015). *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación*. Pearson.
- Collier, D. y Evans, J. (2007). *Administración de operaciones*. Cenage.
- Guerrero, H. (2017). *Inventarios, manejo y control*. ECOE ediciones.
- Guerrero Salas, H. (2022). Ubicación de un operador logístico para varios periodos de un horizonte de planeación mediante programación lineal. *Tecnura*, 26(74), 165-189. <https://doi.org/10.14483/22487638.19290>
- Lamb, C., Hair, J. y Daniel, C. (2011). *Marketing*. (8.ª ed.). Thomson.
- Legis. (dic.-abr. de 2009). *Suplemento de logística*.
- Long, D. (2012). *Logística internacional, administración de la cadena de abastecimiento global*. Limusa Noriega Editores.
- Martin, Q., Santos, M. T. y Paz Santana, Y. (2005). *Investigación operativa*. Pearson.
- Mathur, K. y Solow, D. (2009). *Investigación de operaciones*. Prentice Hall.
- Mauleon, M. (2006). *Logística y costos*. Editorial Díaz de Santos.
- Mira, A. (2006). *Operadores logísticos*. Marge Books.
- Mora, L. (2008). *Gestión logística integral*. ECOE ediciones.
- Prawda, J. (1994). *Métodos y modelos de investigación de operaciones*. (Vol. II. Modelos estocásticos). Editorial Limusa.
- Soret, I. (2019). *Logística y marketing para la distribución comercial*. ESIC.



Bibliometric Analysis of Blockchain Technology in Finance

Análisis bibliométrico sobre la tecnología Blockchain en las finanzas

Raúl José Martelo Gómez ¹, Piedad Mary Martelo Gómez ² y David Antonio Franco Borré ³

Fecha de Recepción: 21 de septiembre de 2022

Fecha de Aceptación: 21 de junio de 2023

Cómo citar: Martelo Gómez R.J., Martelo Gómez P.M. y Franco Borré D.A. Bibliometric Analysis of Blockchain Technology in Finance. *Tecnura*, 28(80), 83-98. <https://doi.org/10.14483/22487638.19165>

Abstract

Context: This research addresses one of the technologies that have been successfully applied in the financial sector: Blockchain. While this technology is not yet widely adopted in finance, an increasing number of proof-of-concept projects are being conducted to get closer to its massive implementation. This highlights the importance of studying Blockchain technology in finance. Therefore, the aim of this research is to conduct a bibliometric study that evaluates the advances in the literature from objective aspects.

Methodology: The present study is classified as quantitative and descriptive because it analyzes the scientific production related to Blockchain technology in finance. Bibliometrics were applied in order to demonstrate the progress of scientific production on Blockchain technology in finance, using data registered in the Scopus database.

Results: Quantitative and qualitative results were obtained in which aspects such as the source, subject area, the number of documents published per year, country, and the most prolific authors were evaluated, in addition to an analysis of word co-occurrence and co-authorship. A total of 596 publications were identified with which a bibliometric analysis was carried out and the free software VOSviewer was used to examine the different maps of co-authorship and word co-occurrence networks.

Conclusions: It is concluded that publications are scarce compared to other technologies that are part of the digital revolution. However, proof-of-concept projects in various financial services are increasing, making it imperative to continue researching their applications, regulation, and risks. As a result, scientific production is expected to grow.

Keywords: digitization, accounting, bitcoin, transactions, finance, blockchain.

¹Specialist in Networks and Telecommunications; Master in Computer Science. Systems Engineer. Full-time Research Professor of the Systems Engineering Program at the University of Cartagena^{ROR}. Leader of the INGESINFO Research Group. Cartagena de Indias, Colombia. Email: rmartelog1@unicartagena.edu.co

²Odontologist. Independent researcher. Cartagena, Colombia. Email: pmartelog@hotmail.com

³Master in Computer Science. Systems Engineer. Full-time Research Professor of the Systems Engineering Program at the University of Cartagena^{ROR}. Cartagena Colombia. Email: dfrancob@unicartagena.edu.co

Resumen

Contexto: Esta investigación aborda una de las tecnologías que se han aplicado exitosamente en el sector financiero: Blockchain. A pesar de que en la actualidad esta tecnología aún no se utiliza de forma generalizada en el área de finanzas, cada vez son más las pruebas de concepto que se realizan para acercarse a la implementación de forma masiva. Lo anterior evidencia la importancia del estudio de la tecnología Blockchain en las finanzas. En este contexto, esta investigación busca realizar un estudio bibliométrico donde se evalúen los avances de la literatura considerando aspectos objetivos.

Metodología: El presente estudio fue tipificado como cuantitativo y descriptivo por tratarse de un análisis de la producción científica sobre la tecnología Blockchain en las finanzas. Se aplicó bibliometría con el fin de evidenciar el avance de la producción científica sobre la tecnología Blockchain en las finanzas, con datos registrados en la base de datos Scopus.

Resultados: Se obtuvieron resultados de tipo cualitativo y cuantitativo en los cuales se evalúan aspectos como el número de documentos publicados por año, la fuente, área temática, país y autores más prolíficos, además de un análisis de concurrencia de palabras y coautoría. Se hallaron 596 publicaciones con las cuales se hizo un análisis bibliométrico y se utilizó el programa informático VOSviewer para examinar los diferentes mapas de redes de coautoría y de coocurrencia de palabras.

Conclusiones: Se concluye que las publicaciones son escasas en comparación con otras tecnologías que hacen parte de la revolución digital. No obstante, cada día aumentan las pruebas de concepto en varios servicios financieros, haciendo imperativo seguir investigando sobre sus aplicaciones, regulación y riesgos. Como resultado, se espera un incremento en la producción científica sobre el tema.

Palabras clave: digitalización, contabilidad, bitcoin, transacciones, finanzas, Blockchain

Introduction

In the First Industrial Revolution, manual production was supplanted by industrial production. The main technological advance that made this possible was the steam engine (Deane & Solé-Tura, 1977). A century later, during the Second Industrial Revolution, steam was replaced by electricity, resulting in the invention of the internal combustion engine, the incandescent lamp, and the electric telegraph, among others (Domínguez, 2020). In the late 1960s, the Third Industrial Revolution began, and it is ongoing. The most notable milestones included the development of personal computers and renewable energy. New means of communication emerged, and new industries, such as computing and the service-oriented economy, were established. Science and technology underwent significant breakthroughs (Rifkin, 2011).

We are witnessing the Fourth Industrial Revolution, which began at the start of the 21st century. This revolution is characterized by ubiquitous, mobile internet and smaller, more powerful, and increasingly cost-effective sensors (Nedelkoska & Quintini, 2018). Key developments such as Cloud Technology, the Internet of Things, Big Data, Analytics (Suárez & Ladino, 2022), RPA, Blockchain (Muñoz-Romero *et al.*, 2022, Pava *et al.*, 2021), among others, are transforming the business sector (Schwab, 2016). However, not all technologies that are part of the digital re-

volution and are reshaping the global economy have been applied to the financial sector. This research focuses on one such technology—Blockchain—that has been successfully adopted in the financial industry. Blockchain is a decentralized, continuously linked record that stores the accounting ledger of direct cryptocurrency exchanges between users (Karp, 2017).

The applications of Blockchain technology in the financial sector are diverse. For example, in banking, it is used in conjunction with Artificial Intelligence (AI) to facilitate the opening of savings accounts or the issuance of credit cards, as well as to reduce response times for mortgage loans. In the insurance industry, smart contracts make it possible to establish, monitor, and enforce the conditions necessary for transactions to be executed (Deloitte, 2017). Similarly, Blockchain shows great potential for creating accounting systems that manage the secure purchase and sale of shares in financial markets (Bruskin *et al.*, 2017). The applications of Blockchain are varied, and by 2015, discussions about its potential had gained significant popularity, establishing itself as a mainstream technology that is no longer limited to small groups but has also reached the general public. As a result, scientific production on the subject has increased (Iansiti & Lakhani, 2017).

In this sense, the financial sector faces a challenge, as this technology is not yet widely adopted. However, an increasing number of proof-of-concept projects are being conducted, bringing us closer to large-scale implementation (Albort-Morant & Ribeiro-Soriano, 2016). This highlights the importance of studying Blockchain technology in finance, which is why numerous studies on this subject are present in the literature. For instance, Firdaus *et al.* (2019) conducted a bibliometric analysis of Blockchain worldwide and argued that it will continue to be a growing trend in the future. Likewise, Kuzior and Sira (2022) presented a comprehensive bibliometric study of Blockchain. Their research contributes to improving review quality by guiding researchers to the most significant documents and mapping key areas of publications.

Building on previous bibliometric studies, this research aims to further explore the literature on Blockchain technology in finance. The study set out to conduct a bibliometric analysis to assess the progress of the literature from objective perspectives. To achieve this, 596 publications on Blockchain in finance, sourced from the Scopus database, were examined. The study covers the period from 2016, when the first documents on the subject were registered, to 2019. It considers both quantity and quality indicators of the content and analyzes networks of co-authorship and keyword co-occurrence. This study will serve as a guide for understanding the advancement of scientific production on Blockchain.

Methodology

This study was classified as quantitative and descriptive, as it involved an analysis of the scientific production of Blockchain technology in finance. To achieve this objective, bibliometrics were employed, a method that measures the literature by taking into account various aspects ([Castillo *et al.*, 2017](#)). Bibliometrics enables the evaluation and analysis of academic research output in a specific field and contributes to the advancement of science in several ways: it assesses progress, identifies the most reliable sources of scientific publications, highlights key scientific contributors, and establishes the academic bases for the evaluation of new developments, among others ([Cascón-Katchadourian *et al.*, 2020](#)).

In this context, indicators were used to assess the scientific production of the authors, bibliographic references or citations, number of authors, the annual trends in articles published during the indicated period, leading journals, primary disciplines, study types, number of citations per article, co-authorship and keyword co-occurrence. All articles from the Scopus database were selected within the period 2016-2020, following the search algorithm: TITLE-ABS-KEY (Blockchain AND finance) AND PUBYEAR >2015 AND PUBYEAR <2021.

Likewise, VOSViewer software was used to analyze co-authorship, bibliographic coupling, keyword co-occurrence, and citations in bibliometric metadata. Bibliographic coupling was based on the identification of shared references, that is, when the same publication is referenced by two different sources. On the other hand, keyword co-occurrence analysis revealed how the field has evolved over time ([Deng & Xia, 2020](#)). This technique is effective for identifying the most relevant topics in a given domain. In addition, citation analysis made it possible to detect popular topics and research articles that other researchers are working on ([Lai, 2020](#)). The results obtained were presented in the form of a table or network visualization map.

Results

This section describes the obtained results. The general analysis was conducted considering five aspects: the number of documents published per year, authors, sources, country, and subject area. Additionally, an analysis of keyword co-occurrence and co-authorship was performed. The bibliometric analysis resulted in the following: the search equation entered into the Scopus database showed a total of 596 documents between the years 2016-2020. It should be noted that no documents before 2016 on Blockchain in the financial area were found. This is because it is a technology that emerged during the Fourth Industrial Revolution to reduce costs considered unnecessary in transactions and that limited online operations ([Nakamoto, 2008](#)).

As can be seen in Figure 1, 13 documents were found in 2016, 49 in 2017, 120 in 2018, 209 in 2019, and 205 in 2020, for a total of 596 documents. The results indicate a growing number of publications, where 2018 seeing more than double the number of publications compared to 2017. Although 2019 also saw an increase, it did not quite reach double the number of publications from 2018, but it was close. This suggests a growing interest and attention towards this technology in the academic, scientific, or business fields. The significant increase in 2018 compared to the previous year indicates a turning point in the recognition and study of Blockchain. This increase could be related to a greater understanding of the applications and potential of the technology, which in turn stimulated more research and the publication of related documents.

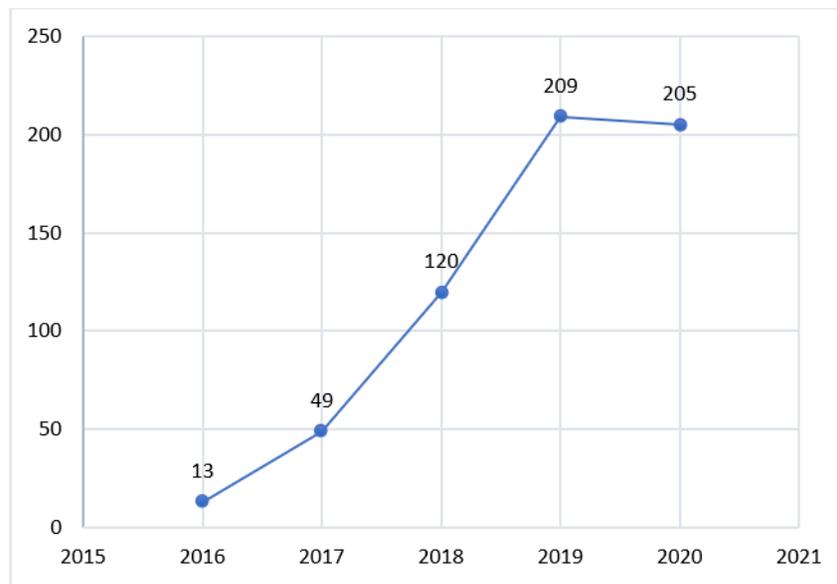


Figure 1. Number of documents per year
Source: Authors based on SCOPUS data

However, publications on Blockchain are scarce compared to other technologies that are part of the digital revolution. This suggests that, although there has been a growth in interest in Blockchain, there is still scope for further research and development compared to other technological areas. According to [Corredor and Díaz \(2018\)](#), this result may stem from the fact that Blockchain applications, both in general and in finance, are still in development due to the potential advancements this technology offers.

As for the authors, the most prominent according to the number of publications include Lee Kuo Chuen, with 5 documents—2 are books and 3 book chapters—and Owen, with 4 publications. Following them, several authors have 3 publications each, as seen in Figure 2.

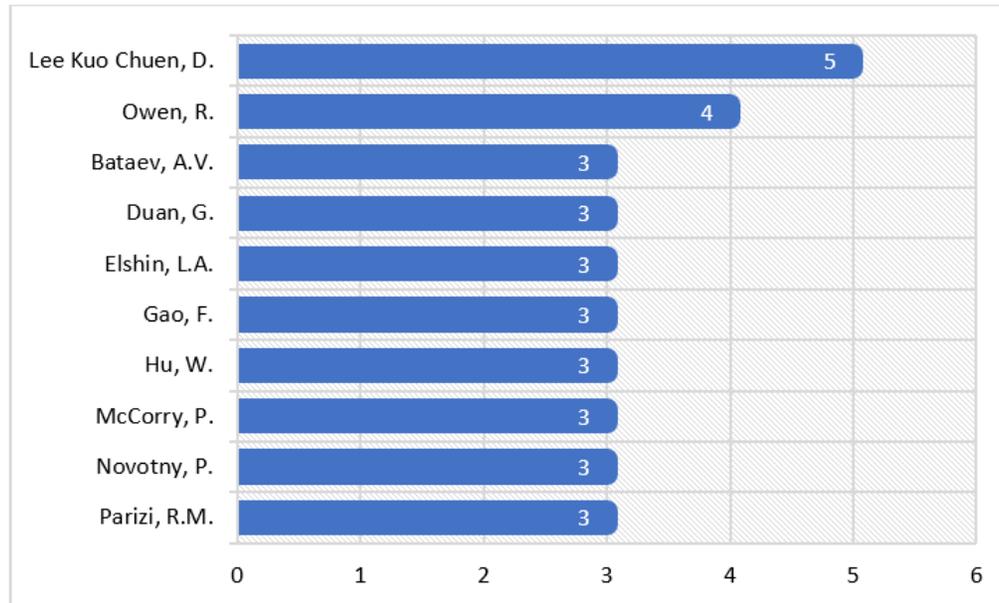


Figure 2. The ten most prolific authors on Blockchain in finance

Source: Authors based on SCOPUS data

On the other hand, the analysis of authorship revealed that, although Lee Kuo has the highest number of published documents on the subject studied, he has fewer citations compared to McCorry, who has the highest number of citations and a higher h-index, as seen in Table 1. The h-index measures the correspondence between the number of documents produced by an author and the number of citations those documents have received; it is a commonly used indicator in bibliometrics (Azanar & Guerrero, 2011). Lee Kuo has a total of 11 published documents, which have been cited 36 times. The author with the highest h-index found in this study is Parizi, with an h-index of 13, followed by McCorry with 9 and Gao with 6, although the latter has not yet received citations for these documents. Parizi has a total of 78 documents and has been cited 432 times, which explains why this author has the highest h-index. This suggests that McCorry and Parizi have a greater impact and recognition in the academic community concerning the subject studied, as reflected in their higher h-indices and the greater number of citations.

Regarding the thematic areas, Computer Science predominates with 29%, followed by Engineering with 14%, and Business, Management, and Accounting with 13%, as shown in Figure 3. This distribution occurs because Blockchain is a technology of the Fourth Industrial Revolution, also known as the Digital Revolution, which is directly related to Computer Science and Engineering.

Table 1. Authors with the highest number of publications

Author	Country	Documents	Quotes	H index
Lee Kuo Chuen, D.	Singapore, United States, and China	5	13	4
Owen, R.	United Kingdom, Ireland	4	10	4
Bataev, A.V.	Russia	3	0	7
Duan, G.	China	3	0	4
Elshin, L.A.	Russia	3	0	5
Gao, F.	China	3	40	6
Hu, W.	China	3	0	3
McCorry, P.	United Kingdom, Netherlands, Austria, and Switzerland	3	107	9
Novotny, P.	United States, Germany, Canada, and Switzerland	3	12	3
Parizi, R.M.	United States, United Kingdom, and India	3	78	13

Source: Authors based on SCOPUS data

These results show that the dominant subject areas in Blockchain-related documents are Computer Science, Engineering and Business, Management, and Accounting. This is consistent with the nature of Blockchain as a technology of the digital revolution that encompasses both technical and business aspects. According to Daniel *et al.* (2017), these areas predominate due to the direct connection between Blockchain and these fields, such as Economics, Econometrics, and Finance, as this technology provides a secure way to exchange various types of goods, transactions, or services.

Regarding the source of publication in Figure 4, five main sources are observed, with Lecture Notes in Computer Science (including its subseries *Lecture Notes in Artificial Intelligence* and *Lecture Notes in Bioinformatics*) publishing 49 documents. This journal, published by Springer Nature, has an SJR index of 0.427. The SJR (SCImago Journal Rank) is an indicator used to assess the quality of scientific publications, based on the number of citations each publication receives (Deusto, 2020).

According to Figure 4 and Table 2, the journal with the highest SJR score was *IEEE Access*. However, the number of publications made, totaling 6, is much lower compared to the next highest-ranked journal in the SJR score. This means that the source that receives the most citations from this group is *IEEE Access*, followed by *Lecture Notes in Computer Science*, including its subseries *Lecture Notes in Artificial Intelligence* and *Lecture Notes in Bioinformatics*.

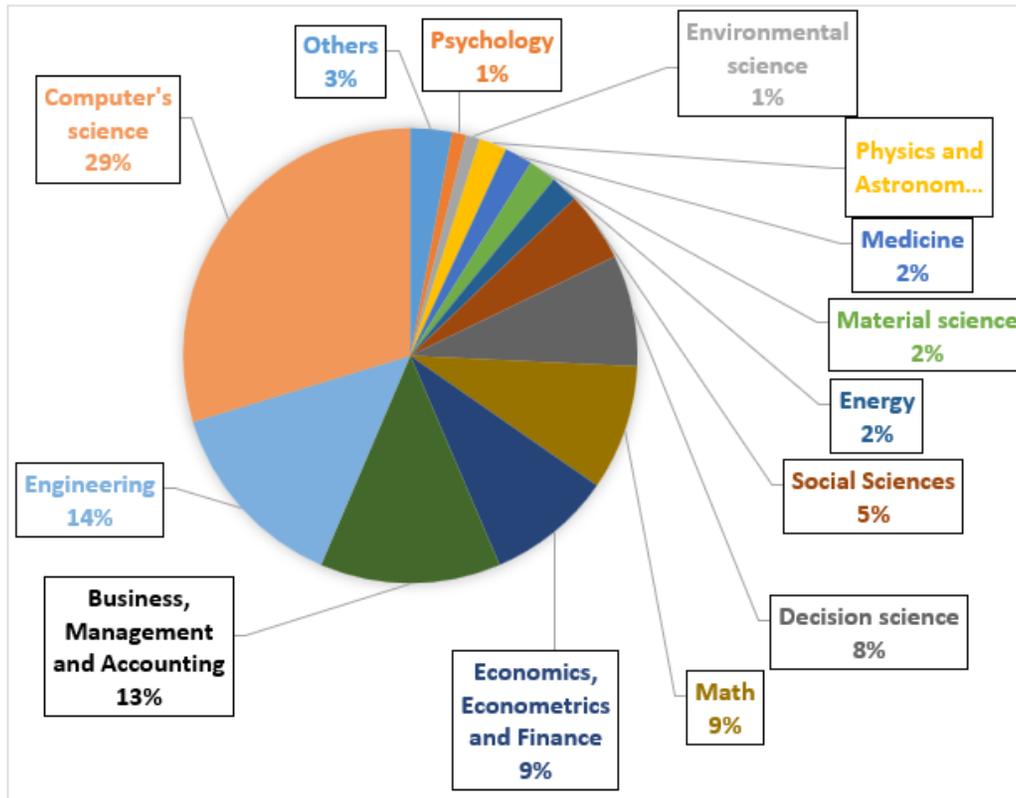


Figure 3. Thematic areas of the documents published on Blockchain in finance

Source: Authors based on SCOPUS data

Regarding the countries that present the highest scientific production on Blockchain in finance, China takes the first position with 140 publications, followed by the United States with 104, the United Kingdom with 59, India with 52, and Russia with 35, as seen in Figure 5 and Table 3.

On the other hand, a co-authorship analysis was conducted using VOSviewer software, which revealed collaboration between some countries, as shown in Figure 6. The scientific collaboration analysis provides clear and objective information that supports decision-making because it allows analyzing the relation that exists between the elements of a given environment (González & Gómez, 2014). In this case, the behavior of collaboration between some countries was observed.

The proximity between the nodes of China, United States, and United Kingdom suggests collaboration between authors from these countries, which helps explain why they have the

Table 2. Specific data of the magazines that publish the most on Blockchain technology in finance

Source	2016	2017	2018	2019	2020	Documents	SJR
Lecture Notes in Computer Science Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics	2	4	8	6	29	49	0,427
ACM International Conference Proceeding Series	-	1	4	10	10	25	0,200
Advances in Intelligent Systems and Computing	-	-	-	3	10	13	0,184
IEEE Access	-	1	1	5	2	9	0,775
Communications in Computer and Information Science	-	-	-	3	3	6	0,188

Source: Authors based on SCOPUS data

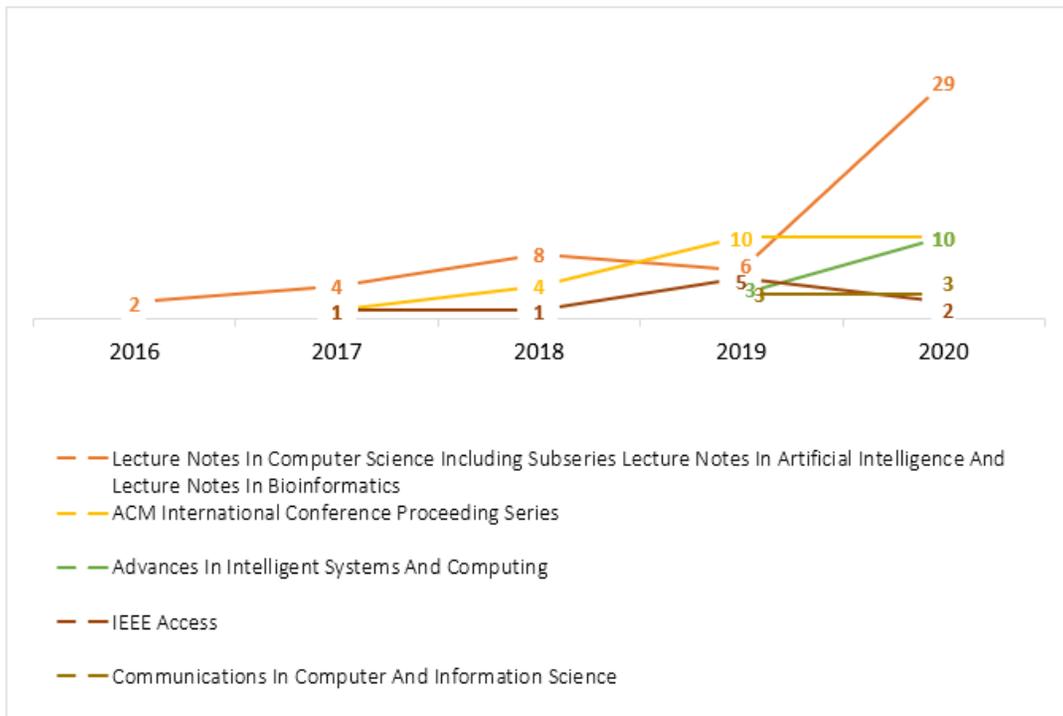


Figure 4. Journals that publish the most about Blockchain technology in finance

Source: Authors based on SCOPUS data

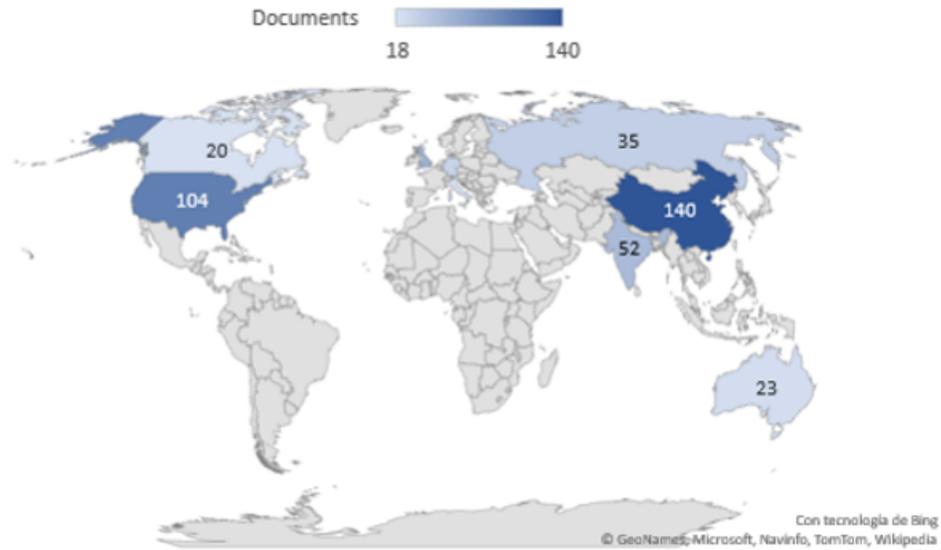


Figure 5. Countries with the largest publications on Blockchain in Finance

Source: Authors based on SCOPUS data

Table 3. Number of documents by countries with the largest publications on Blockchain in Finance

Country	Documents
China	140
United States	104
United Kingdom	59
India	52
Russia	35
Germany	32
Australia	23
Italy	21
Canada	20
Singapore	18

Source: Authors based on SCOPUS data

largest number of publications on the subject of study. This collaboration allows for the determination of elements such as size, structure, and composition of the research groups, which can influence their performance and efficiency (Almero, 2011).

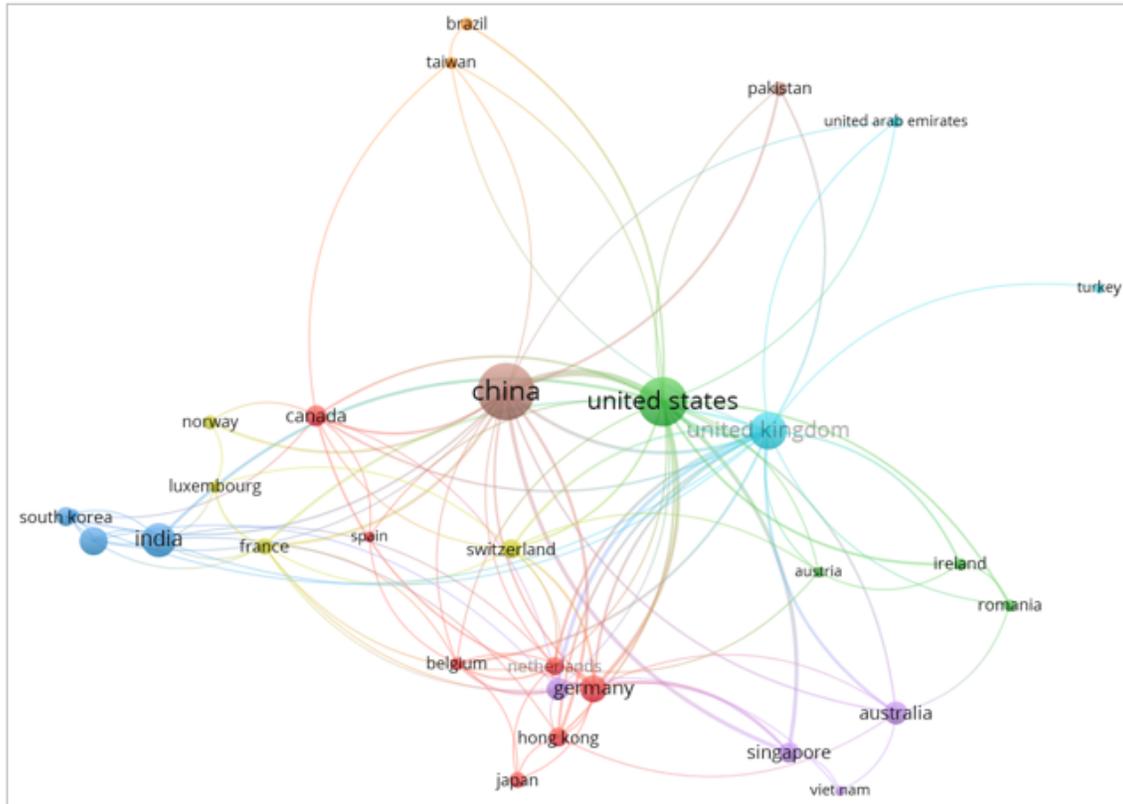


Figure 6. Co-authorship analysis

Source: Authors based on SCOPUS data

On the other hand, the word co-occurrence analysis (Figure 7) revealed that the words “Blockchain” and “Block-chain” are used differently, and therefore, they are located in different clusters. As a result, six clusters were obtained in which the keyword “Blockchain” concentrates the greatest force, followed by “finance”, and “bitcoin.” The latter has a direct relation with “Blockchain” due to the proximity between its nodes, as well as the keywords “Internet of Things,” “cryptography,” and “smart contracts,” as seen in Figure 7. Regarding the clusters of keywords, three groups were formed:

In the first cluster (in red color), the main keywords are grouped, characterized by a high link strength with the subject analyzed in this study. In the second cluster (in navy blue color), the keywords related to Blockchain were grouped, mainly “Bitcoin,” “smart contract,” among others. “Bitcoin” was the central term of this cluster, representing an important relation with “Blockchain.” Conversely, the words “disruptive technology” and “Hyperledger”, showed weak link strength but a strong relation with the other keywords. The third cluster

(in blue) consists of words such as “Block-chain” and “network security,” which are related to the “Internet of Things,” where the strength of this cluster is centered. The fourth cluster (in green) is made up of the words “Block-chain technology,” “supply chains,” “supply chain management,” among others. The fifth cluster (in yellow) groups the words “cryptocurrency,” “financial sectors”, and “financial institution.” Their closeness to the strongest keywords indicates that they are directly related. Finally, the sixth cluster (in violet color) groups together “cryptography,” “smart counters,” “chromium compounds,” which, due to the size of their nodes, have the greatest strength within the cluster.

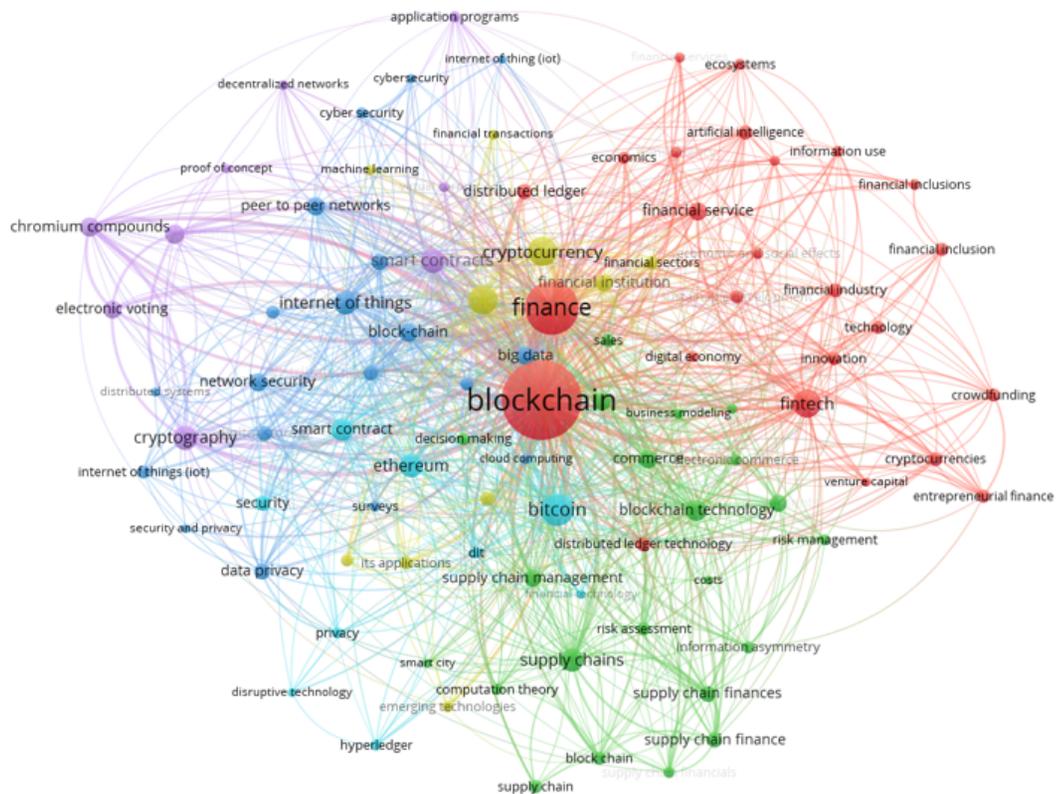


Figure 7. Keyword co-occurrence network map

Source: Authors based on SCOPUS data

Regarding the timeline of the progress of the keywords, the VOSviewer software indicates that the nodes in yellow are the most used recently. According to the results, the keywords related to the subject studied include, among others, supply chain finances, electronic voting, costs, and chromium compounds, as seen in Figure 8.

In terms of subject areas, it is observed that Blockchain in finance is closely related to Computer Science and Engineering. This is because Blockchain is a technology associated with the Digital Age, and its implementation requires strong technical knowledge in these areas. These connections highlight the need for specialized skills to develop, implement, and manage solutions based on this technology.

The collaboration between countries such as China, the United Kingdom, and the United States in research on Blockchain underscores the importance of international cooperation in this field. These countries, as leaders in the production of documents on the subject, are promoting research and knowledge related to Blockchain.

Although the widespread use of the Blockchain in the financial sector has not yet been reached, an increase in proofs of concept is observed in various financial services. This indicates that efforts are being made to explore and take advantage of the potential of this technology in the financial field. As research on its applications, regulation, and risks progresses, it is expected that scientific output will increase and the adoption of Blockchain in the financial sector will expand.

In summary, the need to continue researching and developing the field of Blockchain in the financial environment is emphasized. Although progress has been made, there remain opportunities for further exploration and application in this area. The quality and relevance of the work are essential, and international collaboration is crucial for progress. As challenges are overcome and research advances, further adoption of Blockchain in the financial sector is expected, with the potential to transform the industry.

References

- Albert-Morant, G., & Ribeiro-Soriano, D. (2016). A Bibliometric Analysis of International Impact of Business Incubators. *Journal of Business Research*, 69(5), 1775–1779. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.10.054>
- Almero Canet, A. (2011). *La colaboración interinstitucional en la producción científica española en enfermería: Indicadores bibliométricos y análisis de redes sociales* [Doctoral dissertation, CSIC]. Universidad de Valencia.
- Azanar, J., & Guerrero, E. (2011). Análisis del índice-h y propuesta de un nuevo índice bibliométrico: el índice global. *Revista Clínica Española*, 211(5), 251-256. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rce.2010.11.013>

- Bruskin, S., Brezhneva, A., Dyakonova, L., Kitova, O., Savinova, V., Danko, T., & Sekerin, V. (2017). Business performance management models based on the digital corporation's paradigm. *European Research Studies Journal*, 20(4), 264-274.
- Cascón-Katchadourian, J., Moral-Munoz, J., Liao, H., & Cobo, M. (2020). Análisis bibliométrico de la Revista Española de Documentación Científica desde su inclusión en la Web of Science (2008-2018). *Revista Española de Documentación Científica*, 43(3), 267.
- Castillo, C., Ripoll, V., & Urquidia, A. (2017). Revelaciones voluntarias sobre Responsabilidad Social Corporativa (RSC): Un análisis bibliométrico y sistémico. *Espacios*, 38(26), 15-27.
- Corredor, J., & Díaz, D. (2018). Blockchain y mercados financieros: aspectos generales del impacto regulatorio de la aplicación de la tecnología Blockchain en los mercados de crédito de América Latina. *Derecho PUCP*, 405-439.
- Daniel, J., Sargolzaei, A., Abdelghani, M., Sargolzaei, S., & Amaba, B. (2017). Blockchain technology innovations. *Journal of Advances in Information Technology*, 137-141.
- Deane, P., & Solé-Tura, J. (1977). La primera revolución industrial. Península.
- Deloitte. (2017). *La transformación de las compañías de seguro en la era digital. No escapar al desafío y aprovechar las nuevas posibilidades*. Deloitte. Obtenido de <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uy/Documents/strategy/La%20transformacion%20digital%20de%20los%20seguros.pdf>
- Deng, S., & Xia, S. (2020). Mapping the interdisciplinarity in information behavior research: A quantitative study using diversity measure and co-occurrence analysis. *Scientometrics*, 124(1), 489-513.
- Deusto. (2020). Universidad Deusto. Obtenido de Deusto: <https://biblioguias.biblioteca.deusto.es/c.php?g=515641&p=3525056>
- Domínguez, A. (2020). *La Revolución Industrial: algunos logros de la ingeniería*. Argentina: ANI-Academia Nacional de Ingeniería.
- Firdaus, A., Razak, M., Feizollah, A., Hashem, I., Hazim, M., & Anuar, N. (2019). The rise of "blockchain": bibliometric analysis of blockchain study. *Scientometrics*, 120, 1289-1331.
- González, G., & Gómez, J. (2014). La colaboración científica: principales líneas. *Revista Española de Documentación Científica*, 37(4). doi: <https://doi.org/10.3989/redc.2014.4.1186>
- Iansiti, M., & Lakhani, K. (2017). The Truth About Blockchain. *Harvard Business Review*, 118-127.

- Karp, N. (2017). *Tecnología de cadena de bloques (blockchain): la última disrupción en el sistema financiero*. BBVA.
- Kuzior, A., & Sira, M. (2022). A Bibliometric Analysis of Blockchain Technology Research Using VOSviewer. *Sustainability*, 14(13), 8206.
- Lai, C. (2020). Trends of mobile learning: A review of the top 100 highly cited papers. *British Journal of Educational Technology*, 51(3), 721–742.
- Maya, D. (2019). *Industria 4.0 en el Sector Financiero: Estado Actual y Retos Futuros*. Universidad Nacional de Colombia.
- Muñoz-Romero, J., Giral-Ramírez, D., & Ramírez-Vanegas, C. (2022). Monitoring Algorithm for Electrical Variables Implementing Blockchain and Python. *Tecnura*, 26(71), 16-29. <https://doi.org/10.14483/22487638.18628i>
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: un sistema de dinero en efectivo electrónico peer-to-peer*. Manubot.
- Nedelkoska, L., & Quintini, G. (2018). Automation, Skills Use and Training. *OECD iLibrary*. <https://doi.org/10.1787/1815199X>
- Pava, R., Pérez, J., & Niño, L. (2021). Perspectiva para el uso del modelo P6 de atención en salud bajoun escenario soportado en IoT y blockchain. *Tecnura*, 25(67), 112-130. <https://doi.org/10.14483/22487638.16995>
- Rifkin, J. (2011). *La tercera revolución industrial: Cómo el poder lateral está transformando la energía, la economía y el mundo*. Barcelona: Espasa.
- Schwab, K. (2016). *Die Vierte Industrielle Revolution*. Berlin: Pantheon Verlag.
- Suárez, R., & Ladino, I. (2022). Redes neuronales aplicadas al control estadístico de procesos concartas de control EWMA. *Tecnura*, 27(75), 72-88. <https://doi.org/10.14483/22487638.18623>



Implementación del método de optimización de máquinas de soporte vectorial en R

Implementation of the Support Vector Machine Optimization Method in R

Diego Armando Poveda García ¹, Martha Elva Ramírez Guzmán ², Yolanda Margarita Fernández Ordóñez ³ y Erwin Fabián García López ⁴

Fecha de Recepción: 8 de enero de 2023

Fecha de Aceptación: 16 de octubre de 2024

Cómo citar: Poveda García, D. A., Ramírez Guzmán, M. E., Fernández Ordóñez, Y. M. y García López, E. F. (2024). Implementación del método de optimización de máquinas de soporte vectorial en R. *Tecnura*, 28(80), 99-118. <https://doi.org/10.14483/22487638.20326>

Resumen

Contexto: La optimización de máquinas de soporte vectorial (SVM, por su sigla en inglés) ha sido un tema recurrente en diversos foros y publicaciones relacionadas con la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático. A pesar de su relevancia, existe una notable ausencia de directrices claras para la selección y optimización de los hiperparámetros asociados a las distintas funciones kernel utilizadas en SVM, lo cual puede comprometer la eficacia de estas herramientas en tareas de clasificación y regresión.

Objetivo: Este estudio tiene como objetivo general presentar un método detallado y riguroso para la optimización de los hiperparámetros en SVM, mediante el uso de la librería `e1071` en R. Se busca, así, proporcionar una guía clara para futuros investigadores y practicantes en el campo, que les permita implementar de manera efectiva SVM en sus proyectos.

Metodología: Se emplearon las librerías `e1071` y `scales` en R para estandarizar los datos y ajustar los modelos SVM con diferentes tipos de kernel (lineal, radial, sigmoide y polinomial). Se procedió a la optimización de hiperparámetros mediante la función “`tune`”, con análisis de conjuntos de entrenamiento y prueba para verificar la bondad de ajuste. Se utilizó una metodología detallada para seleccionar los hiperparámetros óptimos de cada kernel, a partir del estudio de la eficacia de la clasificación y la minimización del error.

Resultados: Los resultados destacan la correcta selección y optimización de los hiperparámetros en SVM, y demuestran mejoras significativas en la clasificación al aplicar el método propuesto. Se encontró que la elección de

¹Economista. M. Sc. Estadística. Científico de datos corporativo . Email: dapovedag@unal.edu.co

²Licenciada en Actuaría, M. Sc. Estadística. Ph. D. Statistics. Profesora investigadora titular . Email: martharg@colpos.mx

³Licenciada en Matemáticas. M. Sc. Computación. Ph. D. Computación. Profesora investigadora titular . Email: yfernand@colpos.mx

⁴Administrador de Empresas. Especialista en Administración Financiera. Magíster en Educación. Profesor investigador ocasional . Email: efgarcial@unal.edu.co

hiperparámetros óptimos varía considerablemente entre los diferentes tipos de kernel y que su adecuada optimización contribuye a la precisión del modelo.

Conclusiones: La implementación detallada y el ajuste de los hiperparámetros en SVM son cruciales para maximizar su desempeño. Este artículo proporciona un código optimizado y una metodología clara para su implementación en R, lo cual facilita la tarea de investigadores y analistas en el campo del aprendizaje automático. Se enfatiza la necesidad de considerar la especificidad de cada conjunto de datos y la relevancia de la experiencia en la selección de hiperparámetros. También, se sugiere, para futuras investigaciones, explorar y expandir las fronteras de las SVM en la solución de problemas complejos de clasificación.

Palabras clave: máquina de soporte vectorial, optimización, R, librería e1070, aprendizaje supervisado.

Abstract

Context: The optimization of Support Vector Machines (SVM) has been a recurring theme in various forums and publications related to artificial intelligence and machine learning. Despite its relevance, there is a notable absence of clear guidelines for the selection and optimization of parameters associated with the different kernel functions used in SVMs, which can compromise the effectiveness of these tools in classification and regression tasks. **Objective:** The overall objective of this study is to present a detailed and rigorous method for the optimization of parameters in SVMs, using the e1071 library in R for this purpose. Thus, it seeks to provide a clear guide for future researchers and practitioners in the field, enabling them to effectively implement SVMs in their projects.

Methodology: The e1071 and scales libraries in R were used to standardize the data and adjust the SVM models with different types of kernels (linear, radial, sigmoid, and polynomial). Parameter optimization was carried out using the tune function, analyzing training and test sets to verify the goodness of fit. A detailed methodology was used to select the optimal parameters for each kernel, based on the analysis of classification efficacy and error minimization.

Results: The results highlight the importance of correct parameter selection and optimization in SVMs, showing significant improvements in classification when applying the proposed method. It was found that the choice of optimal parameters varies considerably among the different types of kernels, and their proper optimization contributes to the precision of the model.

Conclusions: Detailed implementation and parameter adjustment in SVMs are crucial to maximizing their performance. This article contributes to the existing literature by providing optimized code and a clear methodology for its implementation in R, facilitating the work of researchers and analysts in the field of machine learning. It emphasizes the need to consider the specificity of each data set and the relevance of experience in parameter selection, inviting future research to explore and expand the boundaries of SVMs in solving complex classification problems.

Keywords: Support Vector Machine, Optimization, R, e1071 library, Supervised Learning.

Introducción

Aprendizaje supervisado

Para entender el aprendizaje supervisado usaremos un ejemplo. Suponga que usted está con un grupo de amigos y juega a adivinar una película con base en mímicas. Usted ve que su equipo ejecuta una serie de movimientos que deberían darle alguna idea de la película que

debe adivinar. Con esa serie de movimientos, usted hace un escrutinio basado en las películas que conoce; aunque la interpretación tiene un grado de incidencia alto, usted podrá acertar con la película, si ya la ha visto, debido a que los movimientos le serán familiares. Básicamente, usted no puede acertar el nombre de la película si no la conoce. Esto es aprendizaje supervisado, “porque el entrenamiento se realizó a partir de datos conocidos o *inputs*, los cuales están etiquetados [...] con la finalidad de obtener un resultado [...] que también es conocido y etiquetado” (Paredes, 2020, p. 10). En esencia, en el aprendizaje supervisado se debe saber cuál es el resultado para determinar las diferencias presentes, dada una clasificación previa.

Entre los métodos de aprendizaje supervisado se pueden considerar las máquinas de soporte vectorial (SVM, por su sigla en inglés).

Máquinas de soporte vectorial

La inteligencia artificial (IA) depende en gran medida de la forma en que se diferencian patrones. Las SVM utilizan las funciones kernel para segmentar los datos y brindar información sobre datos desconocidos, a partir de la información provista por datos conocidos (Méndez, 2003). Un kernel es una “función definida positiva que permite la transformación de los datos” (Rodríguez *et al.*, 2009, p. 172) y se utiliza para transformar datos no lineales y reducir su dimensionalidad para crear una función de separación.

En el contexto de este artículo, interesan los resultados de clasificación binaria (pero no se debe entender que la clasificación binaria es la única posible dentro de las SVM) para los cuales, según Méndez (2003), se deben considerar los siguientes conjuntos de datos:

$X \subset \mathbb{R}^n$, siendo X el conjunto de observaciones de las variables de entrada

$Y = \{-1, 1\}$, Y un conjunto que contiene la variable salida que toma valores binarios

$S = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i)\}$, siendo S el conjunto de entrenamiento, con $x_i, y_i \in X, Y$

Sobre esta última parte se debe resaltar que el tamaño de observaciones del conjunto entrenamiento es estrictamente inferior al conjunto de observaciones presentes en los conjuntos de entrada X y de salida Y . Esto, debido a que es necesario comprobar el grado de precisión del algoritmo con datos que no están incluidos en el aprendizaje para probar la bondad de ajuste, es decir, el porcentaje de error y acierto (Amat, 2017). Este ejercicio se verifica con una partición de los datos denominado *conjunto de prueba*, que indica el acierto basado en una muestra no involucrada en el entrenamiento.

En principio, podemos suponer que la segmentación de los datos es posible a partir de una partición lineal, es decir, una línea recta que divida los datos. En este caso, dado un conjunto

de observaciones X , se define una clasificación Y , y se elige un conjunto S de observaciones y respuesta para entrenar el algoritmo (figura 1).

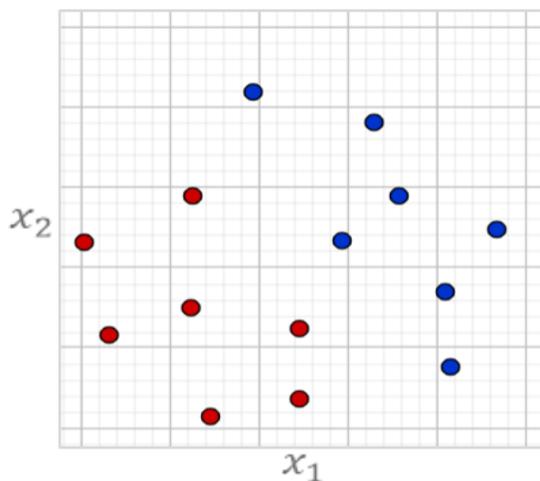


Figura 1. Ordenación de entrenamiento datos clasificados

Nota: elaborada a partir del uso de [Geogebra.org](https://www.geogebra.org).

En este sentido, los datos pueden ser divididos con una recta (figura 2). No obstante, surge el interrogante: ¿cuál de las posibles rectas divisorias es la más adecuada para el conjunto de datos? La respuesta involucra el grado de error determinado y se refiere a la distancia máxima que puede ocurrir entre dos puntos de clasificación diferente sin que se reduzca el acierto de la separación.

Así, el algoritmo de clasificación considera un hiperplano $f(x) = \langle w, x \rangle + b$ (función de una recta) que clasifica correctamente los datos. En este caso, se considera un error la clasificación equivocada de una observación, con lo que la minimización del error sucede cuando se presenta el mayor porcentaje de acierto. Para minimizar el error de clasificación, el algoritmo aplica el método de multiplicadores de Lagrange, en combinación con las condiciones complementarias de Karush-Kuhn-Tucker (KKT). Este proceso asegura que se identifique el hiperplano óptimo que maximiza la distancia entre las clases, y así reduce la clasificación incorrecta de las observaciones. Aunque la demostración y el desarrollo matemático completo de este método exceden el alcance de este artículo, puede ser consultado en obras de referencia como las de Méndez (2003), Betancourt (2005) y Campo (2016). El nombre de soporte vectorial se da debido a que las rectas deben pasar por, al menos, un punto que análogamente será una barrera a partir de la cual se definirá la regla de clasificación para los puntos que contenga dicha barrera; así, la frontera se convierte en un vector que contiene o soporta los datos (figura 3).

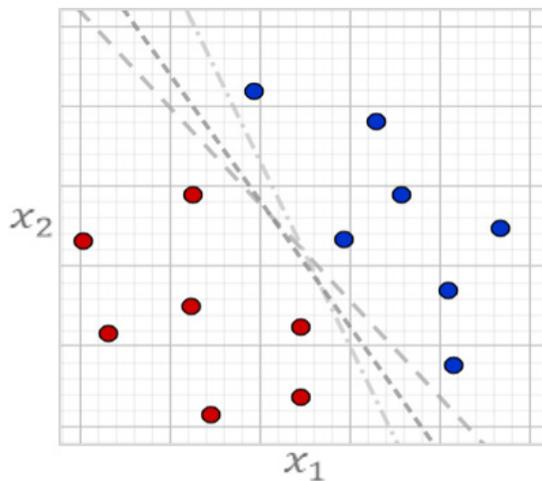


Figura 2. Segmentación de datos clasificados

Nota: elaborada a partir del uso de [Geogebra.org](https://www.geogebra.org).

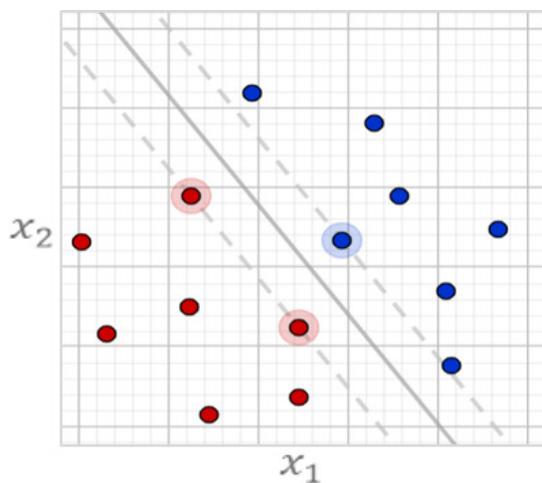


Figura 3. Vectores soporte

Nota: elaborada a partir del uso de [Geogebra.org](https://www.geogebra.org).

El objetivo de las máquinas de soporte vectorial es crear una zona de clasificación en la que cualquier dato nuevo, pueda ser clasificado (figura 4).

Lo anterior ocurre cuando se tiene un kernel tipo lineal, pero también se pueden tener kernel tipo radial (figura 5), sigmoide (figura 6) y polinomial (figura 7), estos responden a las siguientes funciones y hiperparámetros (tabla 1).

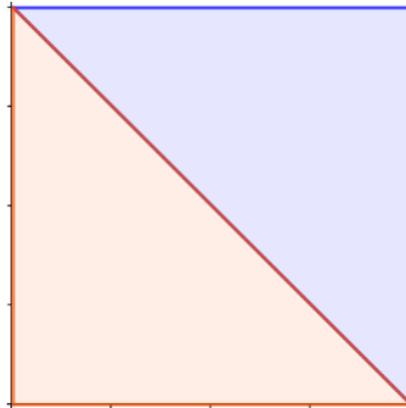


Figura 4. Clasificación por kernel lineal

Nota: elaborada a partir del uso de [Geogebra.org](https://www.geogebra.org).

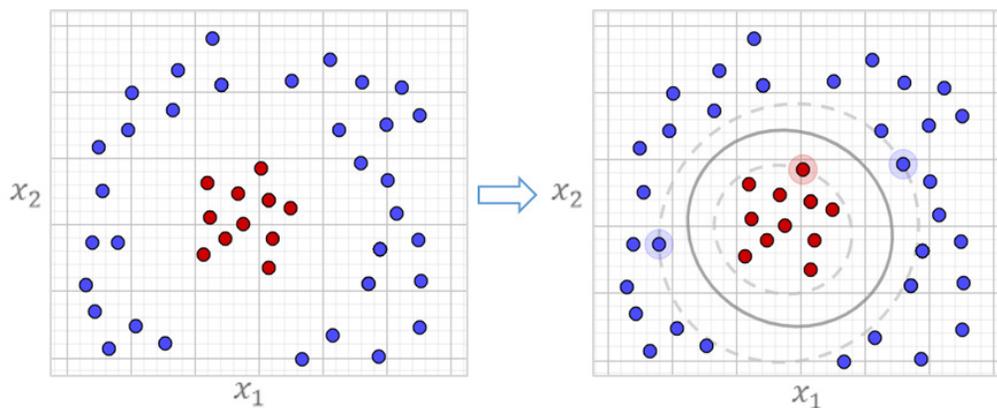


Figura 5. Clasificación por kernel radial

Nota: elaborada a partir del uso de [Geogebra.org](https://www.geogebra.org).

La forma en la que se presenta la función sigmoideal (figura 6) permite ampliar el entendimiento de un kernel. Este, al ser una transformación, toma un conjunto de datos en R^{n-1} y expresa su ordenamiento en R^n , este encuentra patrones al incorporar una nueva dimensión para la clasificación.

Vale la pena señalar que para manipular correctamente los datos frente a un algoritmo SVM, se recomienda trabajar, en primer lugar, con datos estandarizados.

Por consiguiente, el problema abordado en este artículo se refiere a la ausencia de optimización de la totalidad de hiperparámetros asociados a las funciones de los diferentes kernel (véase

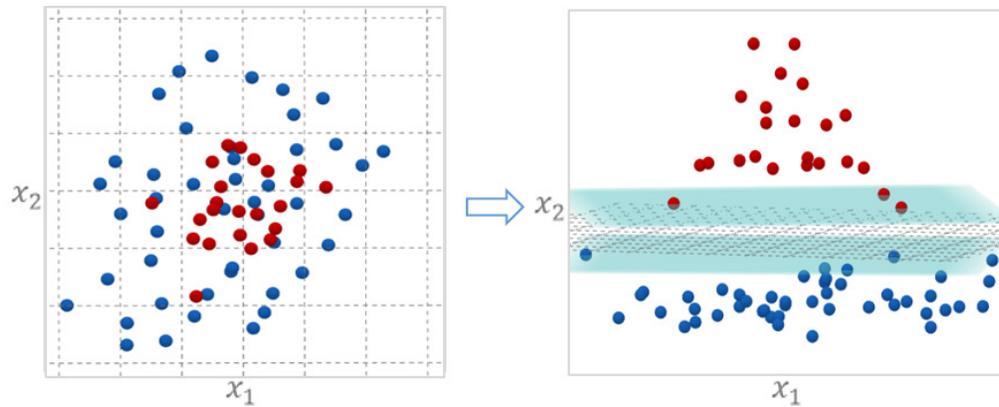


Figura 6. Clasificación por kernel sigmoide* (misma gráfica en 2D y 3D)

*Las funciones sigmoide tienen una forma más asociada a una ese (S); no obstante, su graficación es compleja y su idea principal se expresa la gráfica.

Nota: elaborada a partir del uso de [Geogebra.org](https://www.geogebra.org).

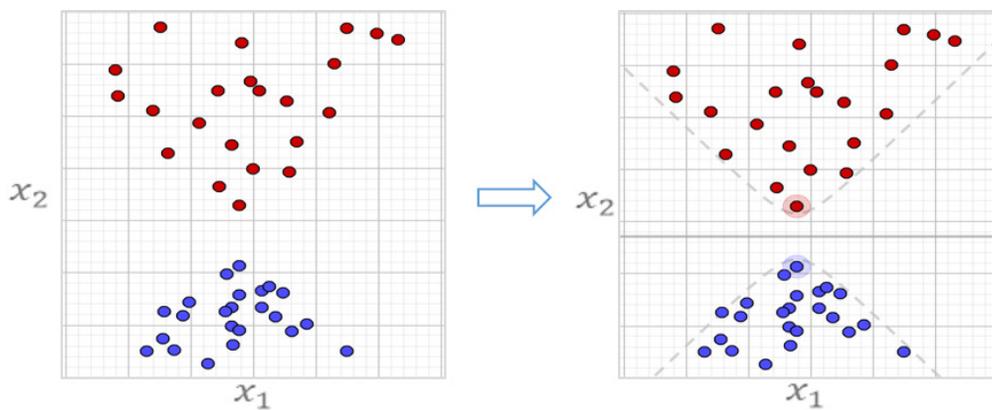


Figura 7. Clasificación por kernel polinomial grado 2

Nota: elaborada a partir del uso de [Geogebra.org](https://www.geogebra.org).

tabla 1). Una función lineal consta de un factor: v , por lo que la optimización debe constar de un conjunto de valores para un parámetro. La función radial consta de dos factores: v, γ , por lo que la optimización debe constar de un conjunto de valores para dos hiperparámetros. La función sigmoidal consta de tres factores: v, γ, τ , por lo que la optimización debe tener de un conjunto de valores para tres hiperparámetros. La función polinomial consta de cuatro factores; v, γ, τ, p , por lo que la optimización debe integrar de un conjunto de valores para cuatro hiperparámetros.

Tabla 1. Kernel usados en máquinas de soporte vectorial

Kernel	Función	Término de regularización	γ	τ	p
Lineal	$u' \cdot v$	✓			
Radial	$\exp(-\gamma\ u - v\ ^2)$	✓	✓		
Sigmoide	$\tanh[\gamma(u' \cdot v) + \tau]$	✓	✓	✓	
Polinomial	$[\gamma(u' \cdot v) + \tau]^p$	✓	✓	✓	✓

Nota: tomada de librería e1071 (Chih *et al.*, 2021).

En las máquinas de soporte vectorial (MSV), los hiperparámetros cumplen un papel clave en la optimización del modelo. A continuación, se detalla la función de cada uno:

- *Término de regularización (v)*. Controla la penalización por errores en la clasificación de los puntos. Un valor bajo de v permite más errores, busca un margen más amplio entre las clases (más tolerante a los puntos mal clasificados); mientras que un valor alto busca minimizar los errores, pero a costa de reducir el margen, lo que puede llevar a sobreajuste.
- γ (*gamma*). Se usa en los kernel radial, sigmoide y polinomial. Define la influencia de un solo punto de entrenamiento, es decir, cuánto afecta un punto a la decisión del modelo. Un valor alto de gamma hace que los puntos cercanos tengan una influencia grande, lo que resulta en un modelo que podría sobreajustarse; mientras que un valor bajo de gamma permite que los puntos más alejados también influyan.
- τ (*tau*). Se usa en los kernel sigmoide y polinomial. Actúa como un desplazamiento en las funciones kernel, afectando el margen de decisión. Ayuda a controlar la relación entre los vectores de soporte y el resto de los datos.
- p (*grado polinómico*). Se usa en el kernel polinomial. Representa el grado del polinomio en la función de decisión. Un valor más alto de p genera una frontera de decisión más compleja y no lineal; mientras que un valor bajo, crea una frontera más simple.

No obstante, es recurrente que se presente cualquiera de los siguientes tres escenarios:

- Se omiten las funciones con kernel sigmoide o polinomial.
- Se carece de un código que minimice el error dado un conjunto de hiperparámetros.
- Se utiliza un conjunto de valores para uno o dos hiperparámetros que no están relacionados directamente con el tipo de kernel utilizado. Por ejemplo, se utiliza un conjunto de valores para dos hiperparámetros en una función polinomial que depende de cuatro hiperparámetros.

Debido a esto, este trabajo presenta un código que permite comprender la forma de optimizar todos los hiperparámetros de una determinada SVM para kernel tipo lineal, radial, sigmoidal y polinomial.

Metodología

Al observar el código que circula en diferentes foros acerca de SVM, es común encontrar tres grupos de código: (a) los que directamente no plantean máquinas de soporte vectorial del tipo polinomial (Amat, 2017; Tinoco, 2019; Sosa, 2021); (b) aquellos que al intentarlo no concluyen cómo se pueden elegir los hiperparámetros (Berrendero, 2016; Calvo, 2016); o (c) directamente aquellos que, al no incluir todos los hiperparámetros necesarios, omiten información que podría optimizar los resultados (Gil, 2018; Vargas, 2020; Cuenca y León, 2019). Para remediar esta situación, como metodología se integran las sugerencias de los creadores de la librería *e1070* (Chih *et al.*, 2021) utilizada regularmente en *R* para SVM.

Para implementar una SVM se utilizan las librerías *e1071* y *scales*, esta última para normalizar los datos, es decir, transformarlos de un rango de R^+ (reales positivos) a un rango entre 0 y 1, con el fin de reducir el impacto que pueden tener las variables con rango más alto. Para el diseño del código en *R*, se siguieron las recomendaciones de Amta (2017) y Gomila (2018).

Resultados

Durante la implementación de este código, se utilizó la versión 4.4.1 de *R* para Windows (82 MB, 64-bits), descargada desde el sitio oficial (<https://cran.rstudio.com/>) y el entorno de ejecución *RStudio*, versión 2024.09.0-375, descargado desde (<https://posit.co/download/rstudio-desktop/>). Al momento de realizar este proceso, los paquetes instalados fueron:

- *scales*, versión 1.3.0.
- *e1071*, versión 1.7-16.

En primer lugar, se deben instalar los paquetes que se utilizarán. Por ahora se sugiere no hacer llamado a las librerías, ya que algunas de estas pueden compartir el nombre de las funciones, lo que podría ocasionar conflictos o resultados inesperados. De esta manera, se minimizan posibles interferencias entre las librerías.

Al inicio, y debido a que este conjunto de datos es aleatorio, se debe plantar una semilla que garantice que la elección de observaciones sea siempre la misma; sin una semilla, los resultados no serían replicables:

```
install.packages("scales")

## package 'scales' successfully unpacked and MD5 sums checked
##
## The downloaded binary packages are in
## C:\Users\User\AppData\Local\Temp\Rtmp0wBVzL\downloaded_packages

install.packages("e1071")

## package 'e1071' successfully unpacked and MD5 sums checked
##
## The downloaded binary packages are in
## C:\Users\User\AppData\Local\Temp\Rtmp0wBVzL\downloaded_packages

set.seed(123)
```

Para realizar el ejercicio, se construye una base ficticia con las funciones “rnorm” y “sample”, para luego construir la tabla de trabajo:

```
n = 100
variable_a1 <- rnorm(n)
variable_a2 <- rnorm(n)
variable_a3 <- rnorm(n)
respuesta <- sample(0:1, n, replace = TRUE)
df_desarrollo <- data.frame(variable_a1, variable_a2, variable_a3,
                             respuesta)
```

Este código permitirá crear un “dataframe” de trabajo con 100 observaciones, 3 variables; en este caso, variable_1, variable_2 y variable_3, y la variable objetivo, denominada aquí “respuesta”. Las SVM son parte del aprendizaje supervisado, por lo que es imperativo que el modelo se entrene con los resultados; de la calidad de estos dependerá la capacidad del modelo de aprender y así replicar correctamente el proceso para nuevos conjuntos de datos.

Para iniciar con el proceso de SVM, es necesario reescalar los datos para garantizar un rendimiento óptimo del modelo. La razón principal es que las SVM se basan en la distancia entre los puntos de datos y los hiperplanos (en el caso de datos linealmente separables) o las fronteras de decisión (en el caso de los no lineales). Las SVM son sensibles a la magnitud de las características; si estas tienen escalas muy diferentes (por ejemplo, una característica está en el rango de [0, 1] y otra en el rango de [0, 1000]), aquella con un rango mayor dominará las distancias y afectará de manera desproporcionada la optimización del modelo. Esto puede llevar a resultados incorrectos.

Esta librería permite estandarizar las variables utilizadas con la función “rescale”:

```
library(scales)
r_variable_a1 = rescale(df_desarrollo$variable_a1)
r_variable_a2 = rescale(df_desarrollo$variable_a2)
r_variable_a3 = rescale(df_desarrollo$variable_a3)
respuesta_desarrollo = factor(df_desarrollo$respuesta)
```

Dentro del conjunto de datos debe existir una variable binaria que será predicha con el conjunto de variables independientes, en este ejemplo: tres variables. Así, la variable debe estar codificada como tipo factor para producir resultados también binarios, a partir de la implementación de la SVM. Esta transformación se logra con la función “factor”, implementada sobre la variable dependiente:

Dentro del conjunto de datos debe existir una variable binaria que será predicha con el conjunto de variables independientes, en este ejemplo: tres variables. Así, la variable debe estar codificada como tipo factor para producir resultados también binarios, a partir de la implementación de la SVM. Esta transformación se logra con la función “factor”, implementada sobre la variable dependiente:

```
df_desarrollo_estand = data.frame(r_variable_a1, r_variable_a2,
                                  r_variable_a3, respuesta_desarrollo)
```

El proceso de SVM inicia con la elección de una muestra de datos de entrenamiento sobre el conjunto total de datos, y unos datos de prueba que son una partición del conjunto total de datos, esto se conoce como *validación cruzada*. Para construir las muestras de entrenamiento y prueba se requiere la función “sample”. Dentro de esta, se utiliza “nrow” que muestra el número de filas que posee un “data.frame” determinado. La opción “size” considera el tamaño de la muestra elegido (en este caso es 75% de los datos) y la opción “replace” tiene como opciones “T” (*true*) o “F” (*false*), para permitir o negar la muestra con reemplazo, es decir, la opción de considerar más de una vez cada observación para incluirla en la muestra. En este caso, la orden es “tome el total de observaciones del conjunto de datos y tome aleatoriamente y sin reemplazo una muestra del 75% de los datos”:

```
df_mod = sample(1:nrow(df_desarrollo_estand),
                size = 0.75*nrow(df_desarrollo_estand),
                replace = F)
```

Es prudente resaltar que la partición de datos en un conjunto de entrenamiento y un conjunto de prueba, utilizando una proporción del 75% para el entrenamiento y el 25% para la

prueba, es una recomendación común por varias razones relacionadas con el rendimiento y la evaluación de modelos de *machine learning*. Sin embargo, esta proporción no es una regla estricta, sino una convención que ha demostrado funcionar bien en muchos escenarios.

El conjunto de datos almacenado en “df_mod” muestra las posiciones de los datos aleatorios elegidos, por lo que es necesario ejecutar el siguiente código que permite elegir un conjunto de datos de un conjunto determinado, en este caso se da la orden de exclusivamente las observaciones posicionadas dentro de la muestra elegida. El contenido en las llaves está posicionado como filas y columnas, por lo que antes de la coma, la acción afecta las filas y después de la coma, la acción afecta las columnas. En este caso, se requiere afectar las filas:

```
df_train = df_desarrollo_estand[df_mod, ]
```

Al incluir la resta (-) se da la orden de que considere todos los datos, excepto las posiciones señaladas en la muestra:

```
df_test = df_desarrollo_estand[-df_mod, ]
```

Así, se obtiene un conjunto de entrenamiento y prueba que será útil para medir la fiabilidad del modelo. Se recomienda, antes de avanzar, observar con la función “summary” para determinar que la proporción de ceros y unos dentro de ambos conjuntos sea similar, con el fin de obtener resultados de prueba más confiables.

```
summary(df_train)

## r_variable_a1  r_variable_a2  r_variable_a3  respuesta_desarrollo
## Min.      :0.0000  Min.      :0.07278  Min.      :0.02199  0:36
## 1st Qu.:0.3954  1st Qu.:0.25072  1st Qu.:0.31880  1:39
## Median :0.5072  Median :0.34714  Median :0.45610
## Mean    :0.5277  Mean    :0.37045  Mean    :0.49792
## 3rd Qu.:0.6361  3rd Qu.:0.47786  3rd Qu.:0.68275
## Max.    :1.0000  Max.    :1.00000  Max.    :1.00000

summary(df_test)

## r_variable_a1  r_variable_a2  r_variable_a3  respuesta_desarrollo
## Min.      :0.07618  Min.      :0.0000  Min.      :0.0000  0:11
## 1st Qu.:0.42395  1st Qu.:0.2243  1st Qu.:0.2696  1:14
## Median :0.54230  Median :0.3222  Median :0.3314
## Mean    :0.55157  Mean    :0.3587  Mean    :0.3602
## 3rd Qu.:0.69626  3rd Qu.:0.4731  3rd Qu.:0.4632
## Max.    :0.89497  Max.    :0.7845  Max.    :0.7223
```

Para crear SVM se utiliza la librería `e1071`, del paquete con el mismo nombre (Chih *et al.*, 2021):

```
library(e1071)
```

En primer lugar, se utiliza la función “`tune`” para modelar cuatro tipos de kernel de las máquinas, con esto se incluye un vector de costo con valores, 0.001, 0.01, 0.1, 1, 5, 10 y 20 para un kernel lineal. El mismo costo y un vector gamma con valores 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 y 10 para un kernel radial. Este costo y vector gamma, más un conjunto de valores para la constante tao con los mismos valores que el vector gamma para un kernel sigmoide, y finalmente, los mismos valores más un grado p con valores entre 2 y 4 para un kernel polinomial (debido al coste computacional para los polinomios, se reducen a 6 los valores de 3 vectores adicionales, se eliminan los valores superiores a 5 de las tres variables consideradas).

Para una SVM con un kernel lineal, se eligen costos para la función:

$$u' \cdot v$$

Así,

```
svm_l = tune('svm', respuesta_desarrollo ~ .,
            data = df_train, kernel = 'linear',
            ranges = list(cost = c(0.001, 0.01, 0.1, 1, 5, 10, 20)),
            scale = F)
```

En este caso, “`cost`” hace referencia a v .

Para una SVM con un kernel radial, se eligen costos para la función:

$$\exp(-\gamma u - v^2)$$

De la siguiente forma:

```
svm_r = tune('svm', respuesta_desarrollo ~ .,
            data = df_train, kernel = 'radial',
            ranges = list(cost = c(0.001, 0.01, 0.1, 1, 5, 10, 20),
                          gamma = c(0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 10)),
            scale = F)
```

En este caso, “`cost`” hace referencia a v y gamma a γ .

Para una SVM con un kernel sigmoide, se eligen costos para la función:

$$\tanh[\gamma(u' \cdot v) + \tau]$$

Donde,

```
svm_s = tune('svm', respuesta_desarrollo ~ .,
             data = df_train, kernel = 'sigmoid',
             ranges = list(cost = c(0.001, 0.01, 0.1, 1, 5, 10, 20),
                           gamma = c(0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 10),
                           coef0 = c(1, 2, 3, 4, 5, 10, 100)),
             scale = F)
```

Aquí, “cost” hace referencia a v , gamma a γ y coef0 a τ .

Para una SVM con un kernel polinomial, se eligen costos para la función:

$$[\gamma(u') + \tau]^p$$

Luego,

```
svm_p = tune('svm', respuesta_desarrollo ~ .,
             data = df_train, kernel = 'polynomial',
             ranges = list(cost = c(0.001, 0.01, 0.1, 1, 5),
                           gamma = c(0.5, 1, 2, 3, 4, 5),
                           coef0 = c(1, 2, 3, 4, 5),
                           degree = c(2,3,4)),
             scale = F)
```

En este caso, “cost” hace referencia a v , gamma a γ , coef0 a τ ; y “degree”, a p . El investigador tiene libertad de modificar los valores en cada uno de los hiperparámetros elegidos hasta lograr una SVM eficiente para sus objetivos.

El siguiente código, permite observar el error asociado a cada forma del kernel. El investigador debería elegir una o dos funciones que menor coste generen y contrastarla con sus resultados. No en todos los casos, la SVM que menor error arroje es la que más se ajusta a los datos:

```
View(svm_l$performances)
View(svm_p$performances)
View(svm_r$performances)
View(svm_s$performances)
```

Al observar el dato de “error” generado por el código anterior en cada una de las tablas, se debe elegir aquella SVM con menor error y sobre esta seleccionar los hiperparámetros que provoquen tal nivel de error.

La siguiente orden permite especificar los mejores hiperparámetros para cada tipo de SVM:

```
View(svm_l$best.parameters)
View(svm_r$best.parameters)
View(svm_s$best.parameters)
View(svm_p$best.parameters)
```

Una vez observados, los mejores hiperparámetros se utilizan en la siguiente función. En este caso hipotético, la función de menor error fue una SVM con kernel tipo polinomial, con el siguiente comportamiento:

$$[5(u' \cdot 5) + 1]4 \quad (1)$$

Escrito en código como:

```
mod_svm = svm(respuesta_desarrollo ~ .,
              data = df_train, kernel = 'polynomial',
              cost=5, gamma = 5, coef0=1, degree=4)
```

Nótese que la base de datos utilizada en esta implementación es el conjunto de datos de entrenamiento. En caso de que se requiera hacer una gráfica:

```
plot(mod_svm,
      data=df_train, r_variable_a3 ~ r_variable_a1)
```

Una salida posible para este conjunto de datos hipotético se ilustra en la figura 8.

Sobre el código, se debe resaltar que la graficación se da por parejas de variables; por lo que, al ejecutar el código, estas deben modificarse (en este caso son 3 variables y siempre son parejas de elementos, por lo que el resultado (3) es igual a $\binom{3}{2}$ hasta encontrar una combinación en la que gráficamente se observe una división clara de franjas de color (véase figura 8).

Para construir la matriz de confusión, sobre lo cual se recomienda ver el apartado de métricas de desempeño de [Ávila et al. \(2022\)](#), debe utilizarse una función de predicción sobre los datos de entrenamiento:

```
pred.0 = predict(mod_svm, data=df_train)
```

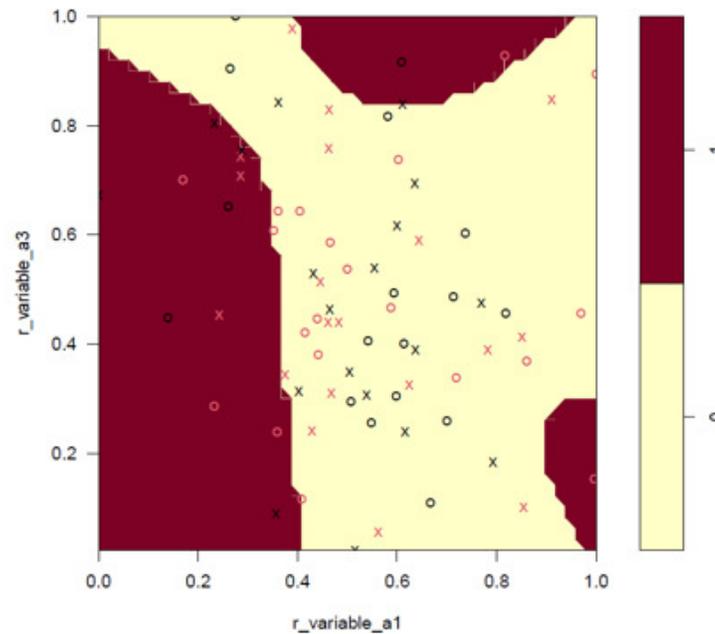


Figura 8. Máquina de soporte vectorial con kernel polinomial grado 4

Nota: tomada como resultado de R.

La matriz de confusión surge al construir una tabla comparativa entre el vector de predicción creado por el modelo y el vector de datos binarios del conjunto de entrenamiento:

```
m_con.0 = table(df_train$respuesta_desarrollo,  
               pred.0)
```

Usando la función construida sobre los datos de entrenamiento, se implementa la máquina para los datos de prueba a través del código “newdata” que integra los nuevos datos a la máquina construida. Sobre estos datos también se construye una matriz de confusión. A grandes rasgos, el objetivo es que las matrices generadas no difieran proporcionalmente, y en general, que los elementos fuera de la diagonal principal se aproximen a 0:

```
pred.1 = predict(mod_svm, newdata =df_test)  
m_con.1 = table(df_test$respuesta_desarrollo,pred.1)
```

Finalmente, y una vez revisada la matriz de confusión (proceso que escapa del objetivo de este documento), incluidas las métricas que se generan de ella, y entendiendo que el modelo se ajusta a los datos de entrenamiento y prueba, se procede a implementar el modelo en la tabla de despliegue, que por definición no tiene construida la variable “respuesta”, en este caso “respuesta_despliegue”, que es la que se espera predecir con el modelo:

```
set.seed(123)
m=2500
variable_b1 <- rnorm(m)
variable_b2 <- rnorm(m)
variable_b3 <- rnorm(m)
df_despliegue = data.frame(variable_b1, variable_b2,
                           variable_b3)

r_variable_b1 = rescale(df_despliegue$variable_b1)
r_variable_b2 = rescale(df_despliegue$variable_b2)
r_variable_b3 = rescale(df_despliegue$variable_b3)
df_despliegue_estand = data.frame(r_variable_b1,
                                  r_variable_b2, r_variable_b3)
names(df_despliegue_estand) = c("r_variable_a1",
                                "r_variable_a2", "r_variable_a3")
```

Sobre este nuevo conjunto de datos se debe garantizar que los nombres son iguales, para que la predicción pueda realizarse:

```
respuesta_despliegue = predict(mod_svm,
                              newdata = df_despliegue_estand)
```

Luego se integran a dicho conjunto de variables como una variable adicional:

```
despliegue = data.frame(df_despliegue_estand,
                        respuesta_despliegue)
head(despliegue)
```

##	r_variable_a1	r_variable_a2	r_variable_a3	respuesta_despliegue
## 1	0.3863460	0.3734523	0.4095113	0
## 2	0.4376486	0.5637984	0.6369838	1
## 3	0.7155022	0.3695475	0.3179516	1
## 4	0.4843518	0.3954506	0.6865559	1
## 5	0.4934816	0.5941889	0.6073321	1
## 6	0.7397879	0.4043158	0.5258313	0

Conclusiones

En el presente trabajo se ha demostrado la relevancia de las máquinas de soporte vectorial (SVM, por su sigla en inglés) como una herramienta robusta para la clasificación de datos, y se ha resaltado el impacto de una correcta selección de los hiperparámetros y kernels. El proceso

detallado, desde la generación de las variables predictoras hasta la evaluación del modelo mediante validación cruzada, proporciona una guía completa para la implementación efectiva de SVM en tareas de clasificación.

Una de las conclusiones más importantes del estudio es la necesidad de ajustar adecuadamente los hiperparámetros del modelo SVM. Los experimentos con distintos tipos de kernel (lineal, radial, sigmoide y polinómico) muestran que cada uno requiere configuraciones específicas de los hiperparámetros *cost*, *gamma*, *coef0*, y *degree*, para obtener un rendimiento óptimo. En particular, se observó que el kernel lineal es efectivo cuando los datos son linealmente separables; mientras que los no lineales, como el radial y el polinómico, ofrecen mayor flexibilidad en la representación de patrones complejos. Estos resultados evidencian la importancia de emplear una metodología de ajuste de hiperparámetros, ya que la selección incorrecta de estos puede resultar en modelos con bajo rendimiento.

El preprocesamiento es un paso crucial en la creación de modelos robustos. En este estudio, el rescalado de las variables predictoras ha sido un componente esencial para asegurar el rendimiento adecuado del SVM. Las SVM son altamente sensibles a la magnitud de las características, y sin un reescalado adecuado, el modelo puede verse influenciado de manera desproporcionada por variables de mayor escala. La utilización de la función “rescale” ha garantizado que todas las variables predictoras estén en la misma escala, lo cual es particularmente importante cuando se emplean los tipos no lineales.

La implementación de validación cruzada ha sido clave para asegurar que el modelo no solo se ajuste bien a los datos de entrenamiento, sino que también generalice bien a nuevos conjuntos de datos. Mediante la función “tune” en *R* se exploraron diferentes combinaciones de hiperparámetros y se seleccionaron aquellos que minimizaban el error de clasificación.

El análisis de las matrices de confusión, obtenidas tanto para los datos de entrenamiento como para los de prueba, ha facilitado la cuantificación del rendimiento del modelo en términos de precisión. Aunque los modelos SVM suelen ser robustos, hay que ajustar cuidadosamente los hiperparámetros para evitar problemas como el sobreajuste o la subestimación de la complejidad de los datos. A través de este proceso, se identificaron los mejores modelos, lo que demuestra que la correcta sintonización de los hiperparámetros puede aumentar considerablemente la exactitud de las predicciones.

Los resultados en este estudio presentan una técnica estándar para la implementación de SVM. Sin embargo, la elección del kernel y de los hiperparámetros debe estar alineada con las características particulares del conjunto de datos. En aplicaciones futuras, el uso de otras téc-

nicas de optimización de hiperparámetros, como la búsqueda en cuadrícula o la optimización bayesiana, podría mejorar los resultados.

Además, sería interesante explorar el rendimiento de SVM en conjuntos de datos más grandes o más dimensionales, donde la escalabilidad del modelo puede convertirse en un desafío. El uso de técnicas como *kernel trick* ha demostrado ser eficaz para manejar la complejidad no lineal de los datos, lo que amplía las posibles aplicaciones de SVM en áreas como la visión por computadora, bioinformática y reconocimiento de patrones.

En resumen, las SVM siguen siendo una técnica de clasificación robusta y flexible, particularmente cuando se implementan con una selección correcta de hiperparámetros y un preprocesamiento cuidadoso de los datos. El ajuste adecuado de los hiperparámetros mediante validación cruzada asegura la generalización del modelo y minimiza el riesgo de sobreajuste. Este trabajo ha destacado los pasos clave para implementar con éxito un modelo SVM y proporciona una guía clara sobre cómo sintonizar los hiperparámetros para maximizar su rendimiento.

Es importante aclarar que el uso del código no puede entenderse como algo rutinario o definitivo, pues cada conjunto de datos presenta un reto diferente, y encontrar la combinación de hiperparámetros adecuada tiene tanto que ver con el método como con la experiencia.

Referencias

- Amat, J. (abril de 2017). *Máquinas de vector soporte (support vector machines, SVMs)*. Rpubs.com. https://rpubs.com/Joaquin_AR/267926
- Ávila, P., González, J., Vargas, D. y Pérez, P. (2022). Predicción del rezago social en México: un enfoque de aprendizaje automático a partir de datos de unidades económicas. *Agrociencias*, 56(2), 248-263. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i2.2768>
- Berrendero, J. (2016). *Máquinas de vectores soporte con R*. Rpubs.com. <https://rpubs.com/joser/svm>
- Betancourt, G. (2005). Las máquinas de soporte vectorial (SMV). *Scientia et Technica*, 11(27), 67-72. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4838384.pdf>
- Calvo, D. (3 de octubre de 2016). *SVM-Máquinas de vectores de soporte en R*. Diegocalvo.es. <https://www.diegocalvo.es/svm-maquinas-de-vectores-de-soporte-en-r/>

- Campo, E. (2016). *Introducción a las máquinas de vector soporte (SVM) en aprendizaje supervisado* [Tesis de grado]. Universidad de Zaragoza. <https://zaguan.unizar.es/record/59156/files/TAZ-TFG-2016-2057.pdf>
- Chih, C., Chih, L., Dimitriadou, E., Hornik, K., Leisch, F., Meyer, D. y Weingessel, A. (2021). *Misc functions of the Department of Statistics, probability theory group (formerly: e1071)*, TU Wien. Cran.R-project.org. <https://cran.r-project.org/web/packages/e1071/e1071.pdf>
- Cuenca, D. y León, D. (2019). *Support vectormachine*. Rpubs.com. https://rpubs.com/Dario_BSC/SVM
- Gil, C. (junio de 2018). *Máquinas de vectorsoporte*. Rpubs.com. https://rpubs.com/Cristina_Gil/SVM
- Gomila, J. (2018). 24 - *Support vector machines en RStudio* [Archivo de video]. YouTube. https://youtu.be/_JdK4FMzd28
- Méndez, H. (2003). *Algunas propiedades del kernel empleado en máquinas de soporte vectorial para clasificación* [Tesis de posgrado]. Centro de Investigación en Matemáticas A.C. <https://cimat.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1008/11/2/TE%20118.pdf>
- Paredes, D. (26 de 06 de 2020). *Data Science con R. Análisis de datos y algoritmos de predicción con R*. Bookdown.org. <https://bookdown.org/dparedesi/data-science-con-r/>
- Rodríguez, E., Vinante, C. y Leal, M. (2009). Enfoque óptimo del método kernel cuadrados mínimos parciales. *Saber*, 21(2), 172-178. <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739440010.pdf>
- Sosa, S. (23 de abril de 2021). *Support vector machine*. Rpubs.com. https://rpubs.com/sebas_Alf/759517
- Tinoco, C. (2019). Laboratorio 9.6. *Máquinas de vectores de soporte*. Rpubs.com. https://rpubs.com/cesar_tinoco/511674
- Vargas, M. (30 de abril de 2020). *Máquinas de Soporte Vectorial (support vector machine, SVM) en regresión*. Rpubs.com: <https://rpubs.com/movo/607465>



¿De qué ingeniería para la paz hablamos? Hacia un ejercicio de educación en ingeniería comprometida para Colombia

What peace engineering are we talking about? Towards an engaged engineering education exercise for Colombia

Alexei Ochoa-Duarte¹, Leonardo León², Juan David Reina-Rozo³ y Nicolás Gaitán-Albarracín⁴

Fecha de Recepción: 13 de marzo de 2024

Fecha de Aceptación: 16 de octubre de 2024

Cómo citar: Ochoa Duarte, A., León, A. L., Reina Rozo, J. D. y Gaitán Albarracín, N. (2024). ¿De qué ingeniería para la paz hablamos? Hacia un ejercicio de educación en ingeniería comprometida para Colombia. *Tecnura*, 28(80), 119-147. <https://doi.org/10.14483/22487638.21977>

Resumen

Contexto: El rol de la ingeniería y las tecnologías en los cambios sociotécnicos de la humanidad ha estado latente a lo largo del tiempo. Sin embargo, sus implicaciones directas en la generación de conflictos y en la construcción de paz han permanecido ocultas.

Objetivo: El Grupo de Investigación en Tecnologías e Innovación para el Desarrollo Comunitario (GITIDC) ejecutó el proyecto “Ingeniería y tecnologías comprometidas con la paz en Colombia. Reflexiones, prácticas y futuro(s)”, financiado por el Instituto Colombo-Alemán para la Paz (Capaz), con la finalidad de explorar y fortalecer el campo de la ingeniería para la paz.

Metodología: Para esta investigación con enfoque cualitativo y alcance exploratorio y descriptivo, se recolectó información proveniente de fuentes como la revisión de literatura; tres conversatorios con especialistas de Ingeniería y Tecnología para la paz; trece entrevistas con expertos en esta temática, y cuatro talleres enfocados en el diseño

¹Ingeniero mecatrónico, magíster en Ingeniería de Sistemas y Computación; doctor en Ingeniería - Industria y Organizaciones. Perteneciente al Grupo de Investigación en Tecnologías e Innovación para el Desarrollo Comunitario (GITIDC) de la Universidad Nacional de Colombia^{ROR}. Sus investigaciones se centran en las ingenierías comprometidas, el buen vivir y la educación en ingeniería. Email: agochoad@unal.edu.co

²Profesor de secundaria. Doctor en Ciencias Humanas y Sociales, magíster en Ingeniería Industrial, e ingeniero electrónico de la Universidad Nacional de Colombia^{ROR}. Integrante del Grupo de Investigación en Tecnologías e Innovación para el Desarrollo Comunitario (GITIDC). Especial interés en la ingeniería humanitaria, tema explorado en la praxis, mediante proyectos de investigación, docencia y extensión universitaria. Email: alleonr@unal.edu.co

³Investigador del Grupo de Investigación en Tecnologías e Innovación para el Desarrollo Comunitario (GITIDC) de la Universidad Nacional de Colombia^{ROR}. Ha dedicado su vida profesional a reflexionar y actuar sobre la relación tecnología/sociedad, con algunas experiencias en Colombia, Perú, Brasil, Uganda y Nepal. Ha formado parte de iniciativas de laboratorios rurales en el territorio de Sumapaz y Gualivá, en Cundinamarca, centro de Colombia. Email: jdreinar@unal.edu.co

⁴Ingeniero químico interesado en el desarrollo de proyectos tecnológicos con comunidades rurales. Actualmente se enfoca en trabajar en el desarrollo de tecnologías apropiadas entre universidades y organizaciones sociales, así como promover la creación de ambientes de aprendizaje autónomos. En sus tiempos libres se dedica a la horticultura y el cuidado de las plantas^{ROR}. Email: ngaitana@unal.edu.co

participativo de una asignatura en ingeniería y paz.

Resultados: Se han construido aportes que se encaminan a la conjunción entre teoría y práctica para fortalecer las propuestas de ingeniería para la paz, como el programa de un curso de ingeniería y paz que se desarrolló como prueba piloto en la Universidad Libre, seccional Cali, en Colombia. Adicionalmente, con base en toda la investigación, se plantea una definición de *ingeniería para la paz* que engloba tanto los referentes teóricos como la información recolectada de las diversas fuentes.

Conclusiones: Esta definición y el planteamiento del curso se convierten en un punto de partida para fortalecer tanto la teoría como la práctica en el área de ingeniería para la paz, inicialmente en el contexto colombiano, pero que puede impulsar nuevas investigaciones en otros entornos.

Palabras clave: ingenierías comprometidas, educación en ingeniería, ingeniería para la paz, estudios de paz, Colombia.

Abstract

Context: The role of engineering and technologies in the socio-technical changes of humanity has been latent throughout time. However, their direct implications in the generation of conflicts and peace building have remained hidden to the naked eye.

Objective: The Research Group on Technologies and Innovation for Community Development (GITIDC in Spanish) conducted a project called Engineering and technologies committed to peace in Colombia. Reflections, practices and future(s), funded by the Colombo-German Institute for Peace (CAPAZ in Spanish), with the aim of exploring and strengthening the field of peace engineering.

Methodology: For this research with a qualitative approach and exploratory and descriptive scope, information was collected from sources such as literature review, three discussions with actors who have participated in the subject of Engineering and Technology for Peace, thirteen interviews with experts in this field and four workshops focused on the participatory design of a subject on engineering and peace.

Results: Contributions have been made to the conjunction between theory and practice to strengthen the proposals of peace engineering, elaborating the program of a course on engineering and peace that was developed as a pilot test at the Universidad Libre - Seccional Cali in Colombia. Additionally, based on all the research conducted, a definition of Peace Engineering is proposed that encompasses both the theoretical references and the information collected from the various sources.

Conclusions: This definition and the approach of the course become a starting point to strengthen both theory and practice in the area of Peace Engineering, initially in the Colombian context, but that can drive new research in other contexts.

Keywords: Engaged Engineering, Engineering Education, Peace Engineering, Peace Studies, Colombia.

Introducción

Desde sus orígenes, la ingeniería como disciplina ha estado ligada a la guerra en una relación de subordinación. Sin embargo, han existido movimientos en sentido contrario que abogan por una ingeniería para la paz y la justicia social (Reina-Rozo, 2020; Kleba y Reina-Rozo, 2021). Ejemplos de ello son organizaciones como Ingeniería Sin Fronteras o la Red Internacional de Ingeniería, Justicia Social y Paz, así como procesos locales donde estudiantes y profesionales

de ingeniería van a comunidades a poner en práctica sus conocimientos ([Salcedo-Portilla, et al., 2021](#); [Ochoa-Duarte et al., 2021](#); [Ochoa-Duarte y Reina-Rozo, 2022](#); [Bonilla-Cely y Ochoa-Duarte, 2023](#)), con el objetivo de aportar a la construcción de paz.

Este artículo pretende aportar al campo de la ingeniería en su relación con la paz, a partir de un trabajo académico por el Grupo de Investigación en Tecnologías e Innovación para el Desarrollo Comunitario (GITIDC) de la Universidad Nacional de Colombia ([Reina-Rozo y Ochoa-Duarte, 2021](#)), con financiación del Instituto Colombo-Alemán para la Paz (Capaz), el cual buscaba describir y ampliar el campo y la educación en ingeniería para la construcción de paz en Latinoamérica; analizar experiencias de ingeniería y tecnología para la construcción de paz en el ámbito regional colombiano; proponer espacios de formación, así como un taller institucional de Ingeniería para la Construcción de Paz, en el marco de la Red Colombiana de Ingeniería y Desarrollo Social.

Además, en el caso colombiano, el proceso de paz entre las FARC-EP y el Estado colombiano fue decisivo para la creación de la Cátedra de Paz, la cual es obligatoria en las instituciones de Educación Básica y Media. Por tanto, la propuesta que surge de esta investigación es un aporte a la posibilidad de extender la cátedra al ámbito universitario en ingeniería ([Rodríguez-Camargo y Ochoa-Duarte, 2019](#)).

En este documento se inicia con un acercamiento a la relación entre el desarrollo de la disciplina de la ingeniería y la guerra. Luego, se explica el proceso de investigación, su metodología, así como algunos de sus resultados, entre ellos, algunas experiencias al respecto, en Colombia. A partir de ello, se propone una definición de *ingeniería para la paz*. Por último, se plantean unos futuros posibles para la continuación del trabajo en varios frentes.

Ingeniería para la guerra

A pesar de que se entiende la guerra como el acto organizado de la destrucción, y a la ingeniería como la creación organizada, la relación entre estas dos ha sido bastante estrecha a través de la historia ([Nieusma y Blue, 2012](#)). Según [Donna Riley \(2008\)](#), el origen de la palabra *engineering* está basada en la tecnología militar, de ahí que se haya tenido que agregar *civil* a la ingeniería de naturaleza no militar. Además, así como han existido sociedades devastadas por la guerra, hay países construidos por ella ([Nieusma y Blue, 2012](#)), en un marco imperialista, acorde al desarrollo capitalista, en una relación desigual entre el norte y el sur global.

En cuanto a la enseñanza de la ingeniería, la universidad moderna, aquella que rompe con la educación confesional y dogmática de la Edad Media, viene del modelo napoleónico ([Moya,](#)

2005), el cual tenía como objetivo formar los cuadros dirigentes del Estado, de manera vertical, por tanto sin diálogo (Rojo, 2000), de la misma forma como se dirige un ejército. Una de esas necesidades apremiantes en aquel entonces era la de la guerra, en la que la ingeniería jugó y sigue cumpliendo un papel fundamental, incluyendo la construcción de infraestructura bélica y la fabricación de armas para los gobiernos (Riley, 2008).

La universidad contemporánea, en general, y la colombiana, en particular, son herederas de esa forma de institución, que en su estructura burocrática autoritaria deja pocos espacios para reflexionar sobre el quehacer de la ingeniería (León Rojas, 2020), y alimenta el estereotipo que existe sobre los ingenieros acerca de que aceptan de manera acrítica a la autoridad. De hecho, las facultades forman para tener complacencia con las direcciones organizacionales y para solucionar problemas de comando y control (Nieusma y Blue, 2012), en concordancia con la mentalidad del positivismo científico que separa artificialmente lo técnico del contexto social y produce tecnologías en la industria mediante formas organizativas del ejército y la mina (Riley, 2008), lo que Lewis Mumford (1964) denomina *técnicas autoritarias*.

El modo de producción capitalista se organiza a través de técnicas autoritarias que tienen sus raíces en los inicios de la civilización y que, en su forma moderna, dependen de la ingeniería aplicada en la fábrica. Este modelo no solo adopta la estructura organizativa del ejército, sino que también se orienta hacia la guerra, en términos de la producción masiva de armamento (Riley, 2008) y en el despojo sistemático de los medios de vida de los trabajadores. En este proceso, los trabajadores se ven obligados a transferir los aspectos esenciales de su existencia a las máquinas productivas, subordinando su vida a las exigencias del sistema económico. Esto deja solamente lo que del organismo pueda controlarse, de manera que se elimina la personalidad humana y se domina al ser humano y a la naturaleza (Mumford, 1964). Así el militarismo continúa determinando lo que los ingenieros hacen (Nieusma y Blue, 2012).

Además, cuando se construyen tecnologías para la guerra, la forma como se organiza la producción debe estar en concordancia con ese fin, por razones de seguridad nacional, es decir, mediante una técnica autoritaria a la que todos sus artífices se deben subordinar, en especial los ingenieros por su papel intelectual, sin espacio para la democracia. Un ejemplo de ello fue el Proyecto Manhattan, el cual, además de su carácter antiético, imperialista y genocida, debió ser sometido al más estricto orden militar. En este sentido, tanto en sus fines como en sus formas, la ingeniería ha tenido una concepción y un desarrollo subordinados a jerarquías autoritarias herederas del militarismo, tanto en función del Estado como de la industria.

Transición a una ingeniería para la paz en el contexto colombiano

En esta sección se describe el proceso de investigación que dio origen a la construcción de un concepto propio de ingeniería para la paz en el contexto colombiano. El Grupo de Investigación en Tecnologías e Innovación para el Desarrollo Comunitario (GITIDC) ha centrado su trabajo en el papel que desempeñan la ingeniería, la ciencia y la tecnología en el contexto de algunas comunidades, especialmente aquellas que se encuentran en situaciones de mayor vulnerabilidad. Además, busca integrar principios como participación, empoderamiento, apropiación y cultura libre en los enfoques educativos de ingeniería (Reina-Rozo y Ochoa-Duarte, 2021).

El grupo reconoce que la ingeniería ha tenido un impacto significativo en los cambios sociotécnicos de la humanidad, pero también se plantea la cuestión de que no se han considerado adecuadamente sus implicaciones en la generación de conflictos y el papel que podría tener en la construcción de la paz. Por consiguiente, considera esencial que la ingeniería reflexione sobre su rol actual y desarrolle nuevas prácticas para afrontar los desafíos de la crisis civilizatoria en la que nos encontramos (Kleba y Reina-Rozo, 2021).

Dentro de este marco, GITIDC ha investigado las *ingenierías comprometidas* (Kleba, 2017) y la idea de *ingeniería humanitaria* en el contexto del sur global (León Rojas, 2020); ha identificado diversas experiencias en Colombia, así como los temas principales abordados por diferentes individuos y colectivos (Ochoa-Duarte y Reina-Rozo, 2022). Además, ha presentado el concepto de *ingeniería para la construcción de paz* (Reina-Rozo, 2020), el cual tiene como objetivo transformar el papel de los sistemas sociotécnicos en las situaciones de conflicto, aunque reconoce que todavía se necesita más evidencia empírica para comprender plenamente su alcance, limitaciones y potencialidades. En la misma línea, ha ejecutado el proyecto "Ingeniería y tecnologías comprometidas con la paz en Colombia. Reflexiones, prácticas y futuro(s)", respaldado por el Instituto Colombo-Alemán para la Paz (Capaz). Desde allí, se han llevado a cabo diversas actividades de recolección de información para abordar de manera integral esta temática y generar contribuciones significativas en ingeniería para la paz en el país (Capaz, 2022).

Metodología

El diseño metodológico de esta investigación no se limitó a la generación y evaluación de las ideas preliminares y los métodos usados para la obtención de los datos y la información. Así, se adoptó un enfoque cualitativo que examinó los principales aportes de las *ingenierías comprometidas* (Ochoa-Duarte y Reina-Rozo, 2022) y la construcción de paz en el país. La investigación se centró en una lógica y un proceso inductivo que, a partir de las particularidades, alcanza las

generalidades (Creswell, 2013). Con el objetivo de construir conocimiento, se triangularon los métodos para la recolección de la información.

Revisión de literatura

Este proyecto se propuso examinar la literatura académica en inglés, español y portugués relacionada con la *ingeniería para la paz* y las *tecnologías para la paz*, para así identificar a los principales autores, instituciones y países involucrados. Se plantearon preguntas clave sobre el número y tipo de publicaciones por año, las más importantes fuentes de publicación, cómo se define la *ingeniería para la paz*, así como los conceptos relacionados, de acuerdo con la revisión sistemática de literatura (Kitchenhama *et al.*, 2009) y la declaración Prisma (Moher *et al.*, 2009). A continuación se presentan las preguntas que guiaron la búsqueda:

- a. ¿Cuál es el número y tipo de publicaciones por año?
- b. ¿Cuáles son las principales fuentes de publicación?
- c. ¿Quiénes son los principales autores y de qué instituciones y países son las publicaciones?
- d. ¿Cómo se define la *ingeniería para la paz* y cuáles son los constructos relacionados?

Se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura con una metodología bien definida. Se identificaron términos clave relacionados con *ingeniería para la paz* y se eligieron motores de búsqueda, entre ellos, Scopus, Web of Science, Google Scholar y Semantic Scholar. Por este método, se formó un conjunto bibliográfico y se aplicaron criterios de inclusión/exclusión para seleccionar los documentos relevantes: (a) presencia de los términos en el título, palabras clave o resumen; (b) haber sido sometido a revisión por pares; (c) estar en español, portugués o inglés; (d) tener más de una página de extensión; (e) estar disponible en su totalidad; y (f) haber sido publicado entre 2006 y 2022.

De esta manera, se encontraron 57 textos que abarcan áreas históricamente afectadas por conflictos como Palestina, Colombia y Ucrania. Se observó que los debates sobre el significado de la paz varían según el contexto y que las reflexiones sobre la relación entre tecnologías y paz son limitadas. Algunos documentos analizan tecnologías implementadas en Colombia para sistemas de justicia especial posteriores a los Acuerdos de Paz. Sin embargo, muchos documentos carecen de una reflexión profunda o una conceptualización estricta, y algunos términos tienden a ser utilizados de manera tautológica o vacía. A menudo, el término "ingeniería para la paz" se emplea de manera implícita al referirse al desarrollo o aplicación de tecnologías en contextos de guerra o procesos de negociación de paz, sin detenerse a definir o reflexionar sobre el concepto en sí. Además, se examinó el papel de la tecnología en escenarios de intervención extranjera con fines de *pacificación*, en los que el poder dominante ha perpetrado la invasión militar y el

mantenimiento del orden mediante el desarrollo tecnológico.

Para facilitar el acceso a la búsqueda realizada y permitir que otros investigadores interesados puedan continuar con el proceso, GITIDC creó un grupo abierto en Zotero con las indagaciones iniciales¹. Con esta información, el grupo ha obtenido una visión general de las definiciones de *ingeniería para la paz* y *tecnologías para la paz*, y los contextos en los que se han aplicado, para comprender cómo la comunidad científica ha abordado estos temas.

Actividades de reflexión

Las actividades de reflexión se generaron al inicio del proyecto, con el ánimo de comunicar los retos y los avances, la base conceptual y teórica del proyecto, así como sus alcances futuros. Así, era posible la realimentación del proceso desde el comienzo. A continuación se describen dos actividades que se desarrollaron de manera abierta: una virtual y una presencial.

Charla virtual ciencia abierta

Se enfocó en el movimiento global de ciencia abierta, que busca hacer el conocimiento científico accesible y compartido por todos. Se destacó la larga tradición de ciencia abierta en Latinoamérica y se desmitificó la idea de que es un fenómeno reciente en la región. La charla formó parte de la serie de eventos "Otra ciencia abierta en América Latina" se promovió la participación de los asistentes para fortalecer la perspectiva latinoamericana de la ciencia abierta. La grabación de la charla está disponible en el enlace proporcionado². Adicionalmente, la figura 1 muestra la portada de las diapositivas usadas en la charla.

Charla presencial Universidad del Valle (Univalle)

El 23 de noviembre de 2022, GITIDC organizó una charla en la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle, en Santiago de Cali, sobre "Ingeniería(s) y tecnología(s) para la construcción de paz". Esta actividad tuvo como objetivo difundir el proyecto, sus alcances y actividades, e invitó a una discusión con el grupo de Ingeniería y Sociedad de la institución. La figura 2 ilustra la pieza con la que se hizo la convocatoria al evento.

Tanto la charla virtual como la presencial formaron parte de las actividades iniciales del proyecto y permitieron al GITIDC compartir sus avances, la base conceptual y teórica, así como sus metas futuras. Estas actividades facilitaron la comunicación de conocimientos y generaron discusiones en torno a ingeniería y tecnología para la construcción de paz.

¹https://www.zotero.org/groups/4857654/peace_engineering/library

²<https://www.youtube.com/watch?v=bAJ6QcbV-3s>

¿De qué ingeniería para la paz hablamos? Hacia un ejercicio de educación en ingeniería comprometida para Colombia

Ochoa Duarte, A., León, A. L., Reina Rozo, J. D. y Gaitán Albarracín, N.

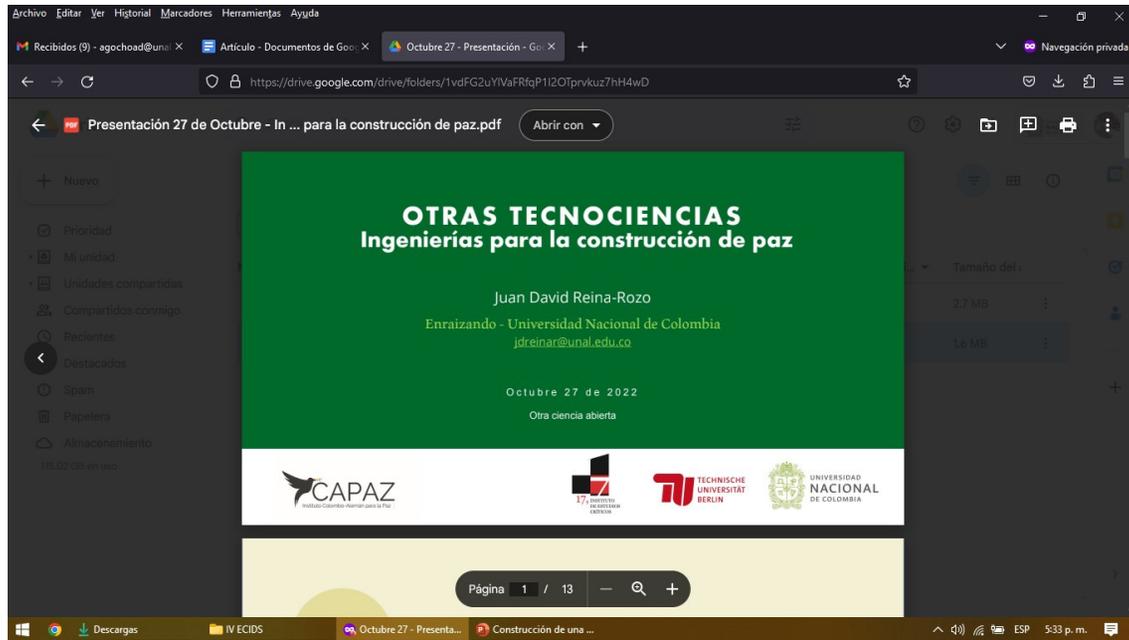


Figura 1. Diapositivas para la charla virtual de ciencia abierta



Figura 2. Invitación a la charla presencial en Univalle

¿De qué ingeniería para la paz hablamos? Hacia un ejercicio de educación en ingeniería comprometida para Colombia

Ochoa Duarte, A., León, A. L., Reina Rozo, J. D. y Gaitán Albarracín., N.

A medida que el proyecto avanzaba, se realizaban otro tipo de actividades que permitieron fortalecer la riqueza conceptual a partir de la teoría y la práctica. Tales actividades incluyeron diálogos entre actores, entrevistas semiestructuradas, el planteamiento de un ciclo de talleres que tuvo como objetivo pensar un curso de Ingeniería y Paz en el contexto colombiano, así como un evento de cierre y la continuidad del proyecto.



Figura 3. Pósters de los diálogos

Diálogos entre actores

En el marco del proyecto, se organizaron tres diálogos, desde la perspectiva de grupos focales (Krueger y Cassey, 2009), sobre la ingeniería y tecnología para la construcción de paz. Dos de los diálogos se centraron en perspectivas latinoamericanas, mientras que el tercero tuvo un enfoque mundial. Los objetivos específicos fueron: describir y delimitar el campo de la tecnología y la ingeniería para la paz en Latinoamérica; analizar experiencias de ingeniería y tecnología para la paz en Colombia; y proponer espacios de formación y talleres en el marco de la Red Colombiana de Ingeniería y Desarrollo Social (Salcedo-Portilla *et al.*, 2021). Gracias a los diálogos, se compartieron conocimientos y experiencias, y se generaron propuestas para avanzar en la temática de la ingeniería para la paz en la región. Adicionalmente, se encuentran disponibles en el canal de *YouTube* de la *Revista Internacional de Ingeniería, Justicia Social y Paz*³.

En la figura 3 se ilustran los diferentes pósteres que se elaboraron para los diálogos mencionados.

Entrevistas

El proyecto implementó un protocolo de entrevista semiestructurada (Knox y Burkard, 2009) para obtener información relevante sobre experiencias sobre ingenierías y tecnologías para la paz en Colombia. El protocolo consta de cuatro ejes: (a) información personal y experiencia con la ingeniería; (b) contexto de ingeniería y tecnología en Colombia; (c) exploración de iniciativas de ingeniería y tecnología para la paz; y (d) enfoques para integrar conceptos de paz en la formación de ingenieras e ingenieros.

Se realizaron 13 entrevistas a través de un muestreo de bola de nieve (Marpsat y Razafindratsima, 2010), con una duración aproximada de 60 a 90 minutos cada una. Dichas entrevistas fueron realizadas a actores relevantes en diferentes regiones del país como Cali, costa Caribe, Cauca, Bogotá y Medellín. El objetivo fue analizar y comprender las experiencias de ingeniería para la paz en el contexto colombiano y fomentar la colaboración académica en facultades de Ingeniería.

Con este enfoque metodológico, el proyecto obtuvo información valiosa y variada sobre las experiencias de ingenierías y tecnologías para la paz en Colombia que fomentaran la colaboración académica y enriquecieran la enseñanza de la ingeniería, desde una perspectiva de construcción de paz. La figura 4 muestra la ubicación de las iniciativas en un mapa.

³<https://www.youtube.com/@revistaingenieriajusticias8778>

Tabla 1. Base de datos. Iniciativas entrevistadas proyecto “Ingeniería y tecnologías comprometidas con la construcción de paz”

Nombres	Apellidos	Institución	Territorio	Iniciativa	Tipo de entrevista
Diana Alexandra	Largo	Biblioteca Comuna 20	Cali	Bibliomaker space	Presencial
Marcela	Navarrete	Univalle	Cali	Observatorio de conflictos ambientales urbanos	Presencial
Christian	Lizarralde	Univalle	Cali	HyperLab	Presencial
Camila	Campos				Presencial
Martha	Cuenca	Universidad de Cartagena	Costa Caribe	Miel y Cacao en Montes de María	Presencial
John	Taborda	Universidad del Magdalena	Costa Caribe	Programa de Intervención Pueblo Viejo	Presencial
Claudia Patricia	Mosquera	Universidad Nacional de Colombia, La Paz	Costa Caribe	Laboratorio de paz territorial	Presencial
Óscar Jaime	Restrepo Baena	Universidad Nacional de Colombia, Medellín	Medellín	Ingeniería humanitaria Colombia	Virtual
Walter Lugo	Ruiz Castañeda	Universidad Nacional de Colombia, Medellín	Medellín	Innovación inclusiva	Virtual
Juan Enrique	Torres Madrigal	Universidad Nacional de Colombia, Medellín	Medellín	Incluiluminación	Virtual
José Fernando	Jiménez Mejía	Universidad Nacional de Colombia, Medellín	Medellín	Cátedra Ambiente Urbano	Virtual
Jairo	Tocancipá	Universidad del Cauca	Cauca	Sostenibilidad de la pesca en el litoral Pacífico caucano y plan de energización rural sostenible	Virtual
Diego	Niño	Universidad Nacional	Bogotá	Laboratorio de Innovación para la Paz	Virtual
Manuel Alejandro	Fula Rojas	Universidad Nacional, Medellín	Medellín	Trabajo en ETCR	Híbrida



Figura 4. Mapa de las iniciativas entrevistadas

Nota: tomado de [uMap \(s. f.\)](#).

Curso de Ingeniería y Paz

GITIDC, con el fin de diseñar y materializar un curso de ingeniería y paz, invitó a participar a académicos y expertos a una serie de grupos focales (Krueger y Cassey, 2009), materializados en cuatro talleres virtuales que abordaron preguntas fundamentales para el curso sobre la relevancia en el contexto colombiano, la metodología adecuada, la inclusión de diferentes voces y los resultados esperados. La participación de personas de diferentes universidades y regiones fue crucial para nutrir el curso y promover la integración de la ingeniería y la paz en el ámbito académico. La figura 5 detalla la pieza gráfica de convocatoria al ciclo de talleres.

De allí surgió una propuesta de descripción, justificación, metodología, objetivos, contenido, cronograma y bibliografía de referencia, que se encuentra disponible en la página Wiki-



Figura 5. Póster del ciclo de talleres

Nota: tomado de uMap (s. f.).

versidad⁴, así como de posibles escenarios para hacerla realidad. La figura 6 corresponde a un pantallazo de la página mencionada.

De ese trabajo, se logró determinar que la asignatura Ingeniería y Paz en Colombia es una apuesta interdisciplinaria que busca poner en discusión el rol de la ciencia, la tecnología y la ingeniería, tanto en la promoción de conflictos como en la búsqueda de paz, de manera que aporte a la construcción de pensamiento crítico entre estudiantes de esta y otras áreas, mediante la reflexión/acción, la lectura, la escritura, la discusión grupal y el prototipado de soluciones. El propósito radica en formular una introducción en el campo de la ingeniería para la paz por medio de reflexiones- acciones en torno al papel que ha desempeñado y debería tener en Colombia, desde un punto de vista histórico, con debate sobre iniciativas actuales y posibles caminos futuros.

⁴<https://es.wikiversity.org/wiki/Usuario:Alexei8ad/Taller>

¿De qué ingeniería para la paz hablamos? Hacia un ejercicio de educación en ingeniería comprometida para Colombia

Ochoa Duarte, A., León, A. L., Reina Rozo, J. D. y Gaitán Albarracín, N.

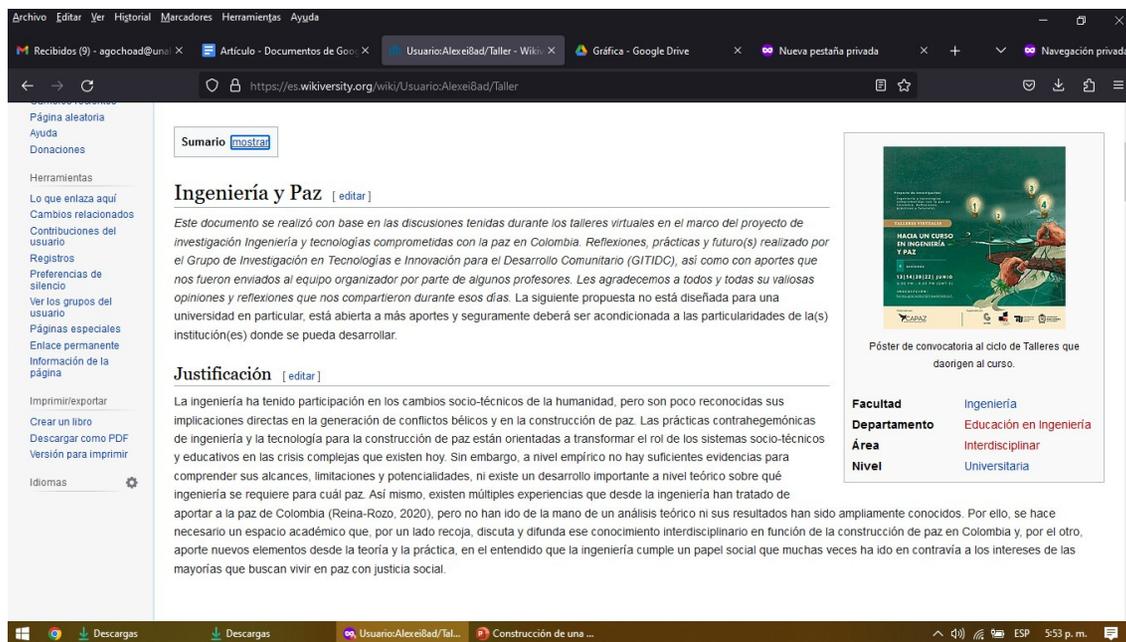


Figura 6. Página del curso en Wikiversidad

Evento de cierre y continuidad del proyecto

Para dar por finalizado el proyecto, se realizó un evento de cierre en el que se socializaron los principales resultados. Este evento se hizo en la Casa de la Paz, de manera que se abriera a un público general, y no se quedara únicamente en la discusión académica. La imagen de la invitación al evento se encuentra en la figura 7.

De manera paralela, con respecto al curso, se realizó una prueba piloto de la asignatura, en el marco del curso de Proyección Social en Ingeniería, en la Universidad Libre, seccional Cali, durante el segundo semestre de 2023. Esta experiencia abrió otros escenarios como foros, conversatorios, discusiones de política pública y publicaciones especializadas en otras universidades colombianas. Es el caso de la participación como invitados a la asignatura Ingeniería y Sociedad, de la Universidad del Valle, sede Palmira; en la Agenda Regional en Educación para que Florezca la Paz, de la Universidad de Caldas; en el IV Encuentro Colombiano de Ingeniería y Desarrollo Social, realizado en Pereira por la Red Colombiana de Ingeniería y Desarrollo Social (ReCIDS) (Ochoa-Duarte y León, 2023); la difusión de los resultados del proyecto en el Exploratorio en Medellín, cuya publicidad se observa en la figura 8, y la participación con un taller en el marco de PAEE/ALE'2024, *International Conference on Active Learning in Engineering Education* (Ochoa-Duarte y León, 2024). Adicionalmente, los resultados del proyecto han sido presentados en el pódcast del Seminario Permanente, que organiza la Facultad de Ingeniería de



Figura 7. Póster de la difusión del evento de cierre del proyecto

la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, así como presentada como una propuesta de nueva asignatura en la sede Bogotá y Medellín de la Universidad Nacional de Colombia.

Algunas experiencias de ingeniería y tecnología para la paz en Colombia

En esta sección se recogen aportes principalmente de las entrevistas, en las que se trata de ser lo más amplios posibles, de manera que no se queden en la particularidad de la experiencia, sino en características comunes hacia una praxis en ingenierías y tecnologías para la paz.

Se efectuaron las entrevistas a Diana Alexandra Largo, Marcela Navarrete, Martha Cuenca, John Taborda, Claudia Patricia Mosquera, Óscar Jaime Restrepo, Walter Lugo Ruiz, Juan Enrique Torres, José Fernando Jiménez, Jairo Tocancipá, Manuel Alejandro Fula; al grupo de Hiperlab (conformado por Cristhian Lizarralde y Camila Campos); y a un grupo del Programa de Innovación Social-UNAL Bogotá (integrado por Diego Niño y María Fernanda Rojas). Las



Figura 8. Pósteres de la difusión de los resultados del proyecto

entrevistas incluyen siete personas de sexo masculino, cuatro de sexo femenino y dos grupos mixtos (conformados, cada uno, por una persona de sexo femenino y otra de sexo masculino).

Las motivaciones generales de las personas entrevistadas para trabajar en ingeniería para la paz abarcan el deseo de contribuir al bienestar socioambiental de las comunidades, a través de prácticas sostenibles, sustentables e inclusivas en aras de conseguir la equidad y la transformación en las áreas afectadas. Este deseo se conjuga con la aspiración de los entrevistados por desarrollar soluciones innovadoras que enfrenten los desafíos socioambientales, para simultáneamente generar un impacto positivo en la construcción de la paz en los territorios. Otro aspecto importante se expresa en la motivación por participar en proyectos con impacto social. De esta manera, las personas entrevistadas se enfocan en aportar a la transformación de las comunidades vulnerables con las que trabajan, fomentando el desarrollo no solo de habilidades técnicas, sino también sociales como el trabajo en equipo, la comunicación efectiva y asertiva, y el liderazgo, que se ven potenciadas mediante la realización de proyectos contextualizados.

En las entrevistas, se resalta el compromiso con la construcción de un mundo distinto, en el que las experiencias vayan más allá de las necesidades del sistema imperante. Del mismo modo, se rescata la importancia de la contextualización y la comprensión de los problemas a los que se enfrentan las comunidades, así como de la necesidad de una educación que además del componente técnico fomente la justicia socioambiental. También, destacan el rol que puede cumplir la ingeniería en el diseño de ese mundo diferente. Adicionalmente, plantean que la inclusión, la equidad, la resiliencia de las comunidades y la vida en armonía, lo cual se relaciona directamente con el concepto de buen vivir (Hidalgo-Capitán *et al.*, 2019), son las características fundamentales de la Ingeniería para la paz. Concretamente, en cuanto a las experiencias, hubo participación de personas cercanas a GITIDC, o que fueron referenciadas por el Instituto de Educación en Ingeniería (IEI) de la Universidad Nacional, sede Medellín; o por personas de la Red Colombiana de Ingeniería y Desarrollo Social (ReCIDS) (Rincón *et al.*, 2021), en Univalle y en la Universidad de Cartagena. Se sistematizaron 23 experiencias, dentro de las cuales se encuentran iniciativas institucionales como el Observatorio de conflictos ambientales urbanos (OCAU), el Programa Institucional de Paz en al Univalle; los Programas Integradores de Innovación Social de la Universidad del Magdalena; el Laboratorio de Paz Territorial, de la Universidad Nacional, sede La Paz; el IDEA en la Universidad Nacional, sede Medellín, y el Programa de Innovación Social de la Universidad Nacional, sede Bogotá, que han contado con el apoyo institucional para sus labores. No obstante, en este ecosistema conviven experiencias en las que la existencia de convocatorias ha sido esencial para su funcionamiento, como por ejemplo los proyectos de Hidromiel en los Montes de María en la Universidad de Cartagena, la innovación inclusiva y el Consultorio Territorial para Programas y Proyectos para el Posconflicto (CT3P) en la Universidad Nacional, sede Medellín; Econavipesca (articulación entre la

Unicauca y la UNAL sede Medellín). En Cali, se encuentran también dos laboratorios Hiperlab y el BiblioMakerSpace, que desde la interdisciplinariedad buscan transformar la ciencia y la cultura. Existen también dos semilleros de transición energética (uno en la UNAL sede Medellín y el otro en la Universidad del Magdalena); el Plan de Energización Rural Sostenible (PERS) del Cauca, y un proceso comunitario de Ingeniería al Barrio Pajarito, en Medellín. Adicionalmente, se destaca un proyecto de minería responsable que proviene de Ingeniería Humanitaria Colombia, inspirado en el programa de la Escuela de Minas de Colorado.

De acuerdo con las entrevistas, las características principales de la ingeniería para la paz incluyen el estudio de los desafíos complejos que enfrentan las comunidades vulnerables desde una perspectiva integral. Además, enfatizan en la importancia de la cocreación y el reconocimiento de las comunidades como actores determinantes, con la finalidad de buscar que las soluciones tecnológicas sean contextualizadas y pertinentes. También, consideran que comparten las características fundamentales de la idea de ingeniería para la paz. Por último, se destaca el impulso hacia la resiliencia y el desarrollo de soluciones tecnológicas efectivas para desafíos sociales y ambientales.

Con respecto a la tecnología para la paz, los entrevistados la relacionan con los procesos participativos de creación tecnológica, que dan el protagonismo a quienes enfrentan los problemas, y tienen en cuenta sus necesidades, perspectivas y saberes. Agregan que es un enfoque que va más allá de la mera resolución de conflictos, y que tiene implicaciones en la creación y aplicación ética y justa de tecnologías. Expresan que se basa en diseñar y desarrollar soluciones tecnológicas que aborden desigualdades, fomenten la participación ciudadana, y generen un escenario propicio para la convivencia pacífica y el bienestar. Asimismo, destacan la importancia de los diálogos de saberes de manera horizontal, en contraposición a una mentalidad de imposición desde una posición de superioridad que se experimenta convencionalmente y que genera la perpetuación de las relaciones desiguales de poder.

Los entrevistados han trabajado en diversas áreas temáticas relacionadas con la ingeniería y la tecnología para la paz, según sus profesiones e intereses. Dichas áreas se pueden agrupar como se presenta en la figura 9.

De este modo, es posible agrupar las temáticas en las siguientes categorías: diseño y tecnología; educación y cultura; sustentabilidad e innovación; naturaleza y sustentabilidad; bienestar comunitario; justicia, responsabilidad social y paz; economía y trabajo, y territorio y comunidad.

Robótica, Diseño y prototipado, TIC, Arte y cultura,
Educación, Sustentabilidad, Innovación social, Paz,
Cuidado naturaleza, Ambiente urbano, Desarrollo territorial, Empoderamiento, Comunicación, Ruralidad, Residuos, Apicultura, **Economía social**, Cambio climático, **Agricultura**, Integridad, Inclusión, Patrimonio biocultural, Resiliencia, Bien común, Organización comunitaria, Bienestar, salud y nutrición, Vivienda, Agua y saneamiento, Trabajo en red, **Energía**, Acuicultura, Turismo, **Género y diversidad**, Justicia socioambiental, Soberanía, Transiciones, Cosmoéticas, Minería, Extensión solidaria, Infraestructura, Navegación

Figura 9. Nube de palabras de las experiencias entrevistadas

Aproximación a una definición de *ingeniería para la paz*

Si se tiene en cuenta que la ingeniería, en gran parte, ha surgido y se ha desarrollado a partir de las necesidades de la guerra, se requiere mucho más que buenas intenciones e iniciativas dispersas para que una ingeniería para la paz se convierta en un movimiento hegemónico, ya que la disciplina, lejos de ser neutral, ha estado profundamente influenciada por el militarismo y, por tanto, ha sido servil a este (Nieusma y Blue, 2012). Además, un sistema tecnológico no puede existir de forma operativa si no se cumplen ciertas condiciones sociales y materiales adecuadas para ello (Winner, 2007). Es decir, no sería posible la fabricación masiva de artefactos para la paz con el modelo autoritario de la industria capitalista (Mumford, 1964), pues la gran industria ha sido organizada a imagen del ejército (Foucault, 1983), ni se podría cambiar la universidad, dejando intacto la estructura institucional, social y política de la cual la universidad forma parte, tanto en lo pedagógico como en lo ideológico (Kohan, 2011). Eso quiere decir que no puede haber ingenuidad en creer que un cambio de paradigma sea un proceso rápido, pero tampoco que no sea posible hacer nada al respecto, pues ingenieros e ingenieras de todo el planeta han venido trabajando en esa vía y las experiencias descritas arriba así lo confirman, aunque ha habido más desarrollo en lo práctico que en lo teórico.

Una ingeniería acorde a las necesidades del siglo XXI requiere aportar a la construcción de un mundo sustentable, estable, equitativo y pacífico y establecer un complejo industrial de paz más beneficioso para la economía global y las poblaciones del mundo que la actual cultura de guerra y el complejo industrial de guerra (Amadei, 2019). Una ingeniería para la paz debe partir de que la ingeniería es una disciplina técnica, separada de su componente social, lo que

implica una desobediencia epistémica (Mignolo, 2010) con respecto a las relaciones tradicionales de subordinación del sur hacia el norte y a la organización burocrática militarizada de las industrias capitalistas, por lo que se debe girar hacia un nuevo contrato social de la tecnología (Ortiz-Moreno *et al.*, 2015).

Teniendo en cuenta que la paz no debe verse simplemente como la ausencia de la guerra (paz negativa), aquí se toma en un sentido más amplio, esto es, en presencia de justicia social (paz positiva) (Harto de Vera, 2016), incluyendo las dimensiones económicas, culturales, políticas y ambientales, lo que implica un abandono a las formas organizativas autoritarias para pasar a abrazar estructuras democráticas de base. Es decir, se requiere que los ingenieros asuman roles activos en las decisiones políticas, por lo menos en cuanto a sus prácticas académicas y profesionales, en cómo garantizar la seguridad del agua, la energía, la tierra, los alimentos, la vivienda y los recursos sanitarios (Amadei, 2019).

Para la construcción de ingeniería para la paz se requiere romper en la praxis con los marcos epistemológicos desde los que se ha desarrollado la disciplina, partiendo de las formas como se han dado los procesos de enseñanza aprendizaje en las universidades que se materializan mediante el autoritarismo, el eurocentrismo, el machismo y la colonialidad del saber. Además, debe otorgárseles relevancia a las ciencias humanas y sociales en los programas curriculares de ingeniería, y abandonar la idea tradicional de que solamente es importante el núcleo técnico. Ejemplo de ello es la profundización en Ingeniería Humanitaria de la Escuela de Minas de Colorado (Moskal *et al.*, 2008). Sin embargo, estas temáticas no deben verse como una cuestión adicional al currículo central, sino que pueden trabajarse de manera transversal en cada una de las asignaturas con técnicas como el aprendizaje basado en problemas, mediante un aprendizaje experiencial.

En este campo, Harvey *et al.* (2022) recogen tres experiencias académicas institucionales. La primera es el curso enfocado en Ingeniería y Paz, de la Universidad de Drexel, junto al Peach Tech Lab, el cual trata sobre la prevención y la reducción de conflictos violentos a través de la educación y la investigación que integra tecnologías, enfoques y políticas innovadoras con los estudios y prácticas de construcción de paz. La segunda es el Centro Ucraniano para la Reconciliación y la Comunicación No Violenta. Este programa se basa en una amplia gama de herramientas de comunicación para la construcción de la paz, basadas en el proceso de Comunicación No Violenta (CNV) y dirigidas a la restauración, construcción y preservación de la paz en las comunidades, lo que eventualmente conduce a la paz en el país, como un todo. Y la tercera es el Consorcio Iberoamericano de Educación en Ciencia y Tecnología (ISTEC), impulsado por la Universidad de Nuevo México. Este se basa en la idea de la ingeniería para la paz como un motor de trabajo hacia un mundo con prosperidad, sostenibilidad, equidad social, espíritu

empresarial, transparencia, donde prime la voz y el compromiso de la comunidad, la ética y una cultura de calidad.

Siguiendo el mismo camino, [Nieusma \(2013\)](#) expone algunas iniciativas pedagógicas en este aspecto, una de las cuales se proponía prácticas de la ingeniería no opresivas, no capitalistas y ecológicamente sustentables. Otra de ellas discutía sobre la justicia social, sobre quién tiene qué y por qué, y una tercera sobre temáticas como el mito de la objetividad, la estrechez técnica, el deseo de ayudar, las estructuras de autoridad y la influencia corporativa y militar. [Jordan et al. \(2019\)](#) plantean que una educación en ingeniería para la paz requiere una formación tanto en el pensamiento como en la acción, una comprensión de problemáticas en el contexto global, así como el papel de la ingeniería para enfrentarlas, y una comprensión de las estructuras económicas y de información en los que se deben desenvolver los profesionales.

En este sentido, como un aporte a los estudios de paz y los estudios de ingeniería, a continuación proponemos una definición desde las experiencias analizadas a nivel global y en el contexto colombiano. La primera definición clara la da [Vesilind \(2006\)](#), quien define la ingeniería para la paz como el uso proactivo de habilidades de ingeniería para promover una existencia pacífica y justa para todas las personas. Por su parte, [Harvey et al. \(2022\)](#) la entienden como la aplicación de principios de ciencia e ingeniería para promover y apoyar la paz. Los mismos autores recogen la definición de la Conferencia Mundial sobre los Objetivos de Educación en Ingeniería de Paz: la aplicación intencional del pensamiento a nivel de sistema de los principios de la ciencia y la ingeniería para promover y apoyar directamente las condiciones para la paz.

Las tres definiciones son tautológicas, pues se precisan alrededor de las mismas dos palabras; así quedan abiertas a cualquier interpretación, desde cualquier orilla ideológica. En este sentido, y según los hallazgos de la investigación, es necesario profundizar y contextualizar un concepto para el contexto colombiano. Así, proponemos la siguiente definición:

La ingeniería para la paz es la aplicación de la ciencia y la tecnología en procura del Buen Vivir, la justicia socioambiental y la apropiación social de la tecnociencia, como aporte a la mitigación de la violencia directa, estructural y cultural, mediante la cocreación tecnológica con las comunidades involucradas, en ambientes de aprendizaje activo.

El *buen vivir* se entiende como el paradigma amerindio de zonas amazónico-andinas basado en la reciprocidad y el mutualismo de las formas de vida existentes, la pluralidad de vidas, el equilibrio y el movimiento cíclico de la vida misma, en oposición a la concepción eurocéntrica capitalista de la modernidad ([Cruz et al., 2023](#)).

Aquí, la justicia social se define como la redistribución de bienes primarios, según la idea marxista de “a cada quién según sus necesidades”; el reconocimiento y valoración de las diferencias personales, sociales y culturales; y la representación de todos los grupos sociales, especialmente los tradicionalmente excluidos (Murillo y Hernández- Castilla, 2014). Además, la justicia ambiental es la búsqueda de la resolución de la injusticia en cuanto a la distribución de los costes y los beneficios medioambientales, así como la erradicación de las condiciones que puedan resultar no equitativas (Legarda y Buendía, 2011). Por tanto, la justicia socioambiental es la combinación de ambos conceptos, según el contexto.

Para Colciencias (2010), “la apropiación social del conocimiento es entendida como un proceso de comprensión e intervención de las relaciones entre tecnociencia y sociedad, construido a partir de la participación activa de los diversos grupos sociales que generan conocimiento”(p. 22). Si bien es debatible, la discusión va más allá del objetivo de esta investigación, por lo que aquí se va a dar por válido.

La violencia directa es provocada por la violencia estructural y cultural. Genera daño a los demás de forma deliberada, en conflictos armados, homicidios y otras formas físicas y no físicas de abuso y agresión. La violencia estructural es un sistema que niega necesidades básicas, derechos y dignidad, en un orden económico y político determinado, causando un sufrimiento masivo. La violencia cultural se basa en narrativas, formas de pensamiento, símbolos y otras dimensiones culturales que legitiman la violencia directa y estructural (Kleba y Reina-Rozo, 2021).

Por último, un ambiente de aprendizaje activo es un escenario social que motiva a aprender haciendo, por medio de acciones como la discusión, la lectura, la escucha, la reflexión o la resolución de problemas (Carvajal Díaz y Ramírez Cajiao, 2008). Es decir, en este caso, la cocreación de soluciones tecnológicas es un proceso pedagógico, pues no hay productos preestablecidos, ya que se construyen contextualmente de forma holística, incluyendo el saber popular.

Para la aplicación de esta propuesta conceptual de ingeniería y paz es indispensable trabajarla en las facultades de ingeniería como estrategia de enseñanza aprendizaje como un concepto teórico práctico con aplicabilidad en los contextos locales; desde de la identificación de los problemas en conjunto con las comunidades; con generación de codiseño e innovación social; a partir de conceptos como *buen vivir*, *tecnologías sociales*, *ingeniería humanitaria* o *economía circular*.

Ese modelo pedagógico requiere iniciar con cuestionamientos como: ¿la ingeniería para qué?, o ¿la ingeniería para quién? Entablar discusiones sobre el modelo de desarrollo, las relaciones norte-sur, el extractivismo, el dogma del crecimiento económico o la crisis civilizatoria.

Para ello, los estudiantes deben pasar de ser sujetos pasivos a activos como productores de conocimiento, donde el diálogo cumpla un papel central, transforme las relaciones de poder, rompa el mito de que lo político no se discute en clase porque es ajeno a la ingeniería, pues elementos tan básicos como qué tecnologías se producen o dónde se producen son determinados por decisiones políticas.

Conclusiones y futuros posibles

Uno de los grandes desafíos que enfrenta la Ingeniería para la Paz es que las experiencias que existen dependen en gran medida de la voluntad y la motivación, ya sea individual o colectiva, y que presentan dificultades a la hora de institucionalizarse en forma de programas. Además, es importante resaltar que este tipo de experiencias se encuentran en la marginalidad, ya sea por desconocimiento o de manera deliberada, por no ser propuestas alineadas con la ingeniería convencional, lo cual obstaculiza la articulación interinstitucional, a menos que provenga de motivaciones puntuales.

Para abordar estos desafíos, de acuerdo con las personas entrevistadas, es de importancia que los distintos programas educativos de ingeniería comiencen por explorar la relación entre ingeniería, tecnología y paz desde etapas tempranas; también, que incluyan el desarrollo de habilidades que se orienten al fortalecimiento de las características fundamentales de la ingeniería para la paz.

Para abordar estos desafíos, de acuerdo con las personas entrevistadas, es de importancia que los distintos programas educativos de ingeniería comiencen por explorar la relación entre ingeniería, tecnología y paz desde etapas tempranas; también, que incluyan el desarrollo de habilidades que se orienten al fortalecimiento de las características fundamentales de la ingeniería para la paz. Asimismo, estas personas resaltan que las y los estudiantes puedan tener conocimiento de experiencias prácticas, ya sea por estudios de caso o trabajo de campo, en las que puedan aprender sobre la contribución al bienestar social y la paz desde la ingeniería. De esta manera, se convertirían en resonadores que pueden inspirar a más personas a tomar estos caminos.

Adicionalmente, se enfatiza en sistematizar adecuadamente las experiencias en ingeniería para la construcción de paz, de manera que se facilite la difusión de los logros y las lecciones aprendidas con el objetivo de unir esfuerzos, construir colectivamente y motivar a otras personas a participar mediante estrategias comunicativas llamativas. Se destaca que es fundamental contar con espacios de diálogo y colaboración entre profesionales de distintas áreas del conocimiento, para promover el trabajo interdisciplinario.

Otra alternativa expresada por algunos participantes se relaciona con reformas en las políticas públicas en academia, investigación, extensión e incentivos, de forma que desde la institucionalidad se valore y reconozca el valor de este tipo de iniciativas de ingeniería para la paz, a través del reconocimiento de las transformaciones que se pueden dar en las comunidades. Igualmente, hay que establecer diálogos de saberes respetuosos con las comunidades que posibiliten su participación en la construcción de paz.

En cuanto a los futuros posibles, hay un consenso en la importancia de continuar trabajando en proyectos que se alinean con la ingeniería para la paz. En ese sentido, se reconoce que a través de colaboraciones interdisciplinarias e interinstitucionales es posible enfrentar los desafíos complejos relacionados con fortalecer la conexión entre instituciones y comunidades para coconstruir soluciones contextualizadas.

Estas perspectivas a futuro se relacionan con el derecho de soñar un mundo más justo y pacífico a través de la ingeniería para la paz, que ejerce como una utopía en el sentido de Eduardo Galeano, que impulsa a luchar desde diferentes frentes por construir un mundo diferente, un mundo en el sentido pluriversal de los zapatistas. Es imperativo, entonces, trabajar desde la ingeniería para la paz para abordar gran cantidad de desafíos sociales y ambientales, en áreas históricamente afectadas por conflictos, como pueden ser Palestina, Colombia y Ucrania. Por ejemplo, desde la perspectiva de las ingenierías comprometidas hay iniciativas que aportan a la construcción de paz en diversos territorios, como en el caso colombiano (Ochoa-Duarte y Reina-Rozo, 2022). Este compromiso con la construcción de un mundo distinto se relaciona con la perspectiva del buen vivir (Cruz *et al.*, 2023).

Para salir de la marginalidad, las experiencias de ingeniería para la paz deben fortalecerse desde el trabajo con comunidades, la sistematización de experiencias y la construcción de redes de apoyo; también, es necesario acceder también a espacios institucionales que apoyen dichas iniciativas. Sin embargo, en este diálogo con lo institucional se parte en desventaja, por eso es necesario que se germinen más procesos para construir una línea de pensamiento contrahegémica capaz de disputar su espacio con la ingeniería convencional.

En este sentido, el equipo del proyecto ha pensado en estrategias de divulgación de los resultados que van más allá de la participación en eventos académicos y la escritura de artículos que sintetizan los resultados, incluyendo el diseño de un conjunto de tarjetas (tipo postal) para mostrar las experiencias entrevistadas y la elaboración de una página web⁵, que permita centralizar los resultados, de manera que se encuentren disponibles no solo para la academia, sino

⁵<https://ingenieriatecnolog6.wixsite.com/ingenieriatecypaz>

también para la sociedad y en especial para las comunidades vulnerables del país, con las que pueden impulsarse proyectos de ingeniería para la paz.

Con respecto al trabajo futuro, este documento plantea una aproximación que permite continuar explorando y ampliando el campo de la ingeniería para la paz. Para ello, es fundamental la difusión de los resultados de esta investigación, que se ha comenzado con la participación del equipo investigador en eventos académicos y comunitarios que traten el tema. Adicionalmente, la experiencia de prueba piloto en la Universidad Libre seccional Cali, ha sido reproducida por la ReCIDS, de manera que se está impulsando la creación de la asignatura Ingeniería y Paz, en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, a través del Instituto de Educación en Ingeniería (IEI). Adicionalmente, el fortalecimiento de la ingeniería para la paz pasa por procesos de investigación interdisciplinaria, que promuevan el diálogo de saberes y la creación de redes; el desarrollo de tecnologías sostenibles, sustentables e inclusivas a través del codiseño y la cocreación; la transformación curricular para fortalecer la educación en ingeniería para la paz, mediante la creación y modificación de asignaturas, programas, y la formulación de planes de incentivos; los procesos de sensibilización y difusión de resultados, aprendizajes, logros, a través de la sistematización de experiencias; y la construcción de herramientas que faciliten monitoreo y evaluación de los proyectos de ingeniería para la paz.

Referencias

- Amadei, B. (2019). Engineering for peace and diplomacy. *Sustainability*, 11(20), 5646. <http://dx.doi.org/10.3390/su11205646>
- Bonilla-Cely, S. M. y Ochoa-Duarte, A. (2023). Buen vivir e ingenierías comprometidas como alternativas para reconfigurar el currículo de Ingeniería. *Revista Referencia Pedagógica*, 11(2), 260-274. <https://rrp.cujae.edu.cu/index.php/rrp/article/view/344>
- Carvajal Díaz, A. y Ramírez Cajiao, C. (2008). Diseño de un modelo de evaluación para un ambiente de aprendizaje activo en ingeniería. *Revista Educación en Ingeniería*, 3(6), 11-19. <https://doi.org/10.26507/rei.v3n6.57>
- Colciencias. (2010). *Estrategia nacional de apropiación social de la ciencia, la tecnología y la innovación*. https://minciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/estrategia-nacional-apropiacion-social.pdf
- Creswell, J. W. (2013). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4.ª ed.). SAGE.
- Cruz, C. C., Ochoa-Duarte, A. y León, A. L. (2023). The Amerindian buen vivir as a paradigm for another possible engineering practice and education. En A. Fritzsche y A. Santa-María

(eds.), *Rethinking technology and engineering: Dialogues across disciplines and geographies* (pp. 309-323). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25233-4_23

Foucault, M. (1983). *Vigilar y castigar: nacimiento de la prisión*. Siglo XXI.

Harto de Vera, F. (2016). La construcción del concepto de paz: paz negativa, paz positiva y paz imperfecta. *Cuadernos de Estrategia*, (183), 119-146. <https://produccioncientifica.ucm.es/documentos/5d399a3b2999520684462ae9>

Harvey, H. A., Walsh, S. T., Rubin, A. M. y Marinakis, Y. (agosto de 2022). Peace engineering, innovation, peace and trade: A meta-analysis. En *2022 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)* (pp. 1-13). IEEE. <https://doi.org/10.23919/PICMET53225.2022.9882841>

Hidalgo-Capitán, A. L., García-Álvarez, S., Cubillo-Guevara, A. P. y Medina-Carranco, N. (2019). Los objetivos del buen vivir. Una propuesta alternativa a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. *Iberoamerican Journal of Development Studies*, 8(1), 6-57. https://doi.org/10.26754/ojs_ried/ijds.35

Instituto Colombo-Alemán para para la Paz (Capaz). (2022). *Ingeniería y tecnologías comprometidas con la paz en Colombia. Reflexiones, prácticas y futuro(s)*. https://www.instituto-capaz.org/portfolio_page/ingenieria-y-tecnologias-comprometidas-con-la-paz-en-colombia-reflexiones-practicas-y-futuros/

Jordan, R., Nair, I., Agi, K. y Koechner, D. M. (2019). How do we frame peace engineering education? A complex but vital question. En *2019 ASEE Annual Conference y Exposition*. Paper ID #25534. American Society for Engineering Education. https://www.istec.org/libertadores/wp-content/uploads/sites/7/2019/11/ASEE_2019_Peace_Engineering_Education_-_Final_1.0.pdf

Kitchenham, B., Pearl Brereton, O., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J. y Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 51(1), 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>

Kleba, J. B. (2017). Engenharia engajada – Desafios de ensino e extensão. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 13(27), 170-187. <https://doi.org/10.3895/rts.v13n27.4905>

Kleba, J. B. y Reina-Rozo J. D. (2021). Fostering peace engineering and rethinking development: A Latin American view. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120711. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120711>

- Kohan, N. (2011). *La reforma universitaria en el siglo XXI*. Cátedra Che Guevara.
- Knox, S. y Burkard, A. (2009). Qualitative research interviews. *Psychotherapy Research*, 19(4-5), 566-575. <https://doi.org/10.1080/10503300802702105>
- Krueger, R. y Casey, M. (2009). *Focus groups: A practical guide for applied research*. Sage Publications.
- Legarda, A. A. y Buendía, M. P. (2011). Justicia ambiental. El estado de la cuestión. *Revista Internacional de Sociología*, 69(3), 627-648. <https://doi.org/10.3989/ris.2009.12.210>
- León Rojas, A. (2020). *Diálogo de saberes universidad-comunidades en proyectos de ingeniería humanitaria* [Tesis de doctorado]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77417>
- Marpsat, M. y Razafindratsima, N. (2010). Survey methods for hard-to-reach populations. *Methodological Innovations Online*, 5(2), 3-16.
- Mignolo, W. (2010). *Desobediencia epistémica: retórica de la modernidad, lógica de la colonialidad y gramática de la descolonialidad*. Ediciones del Signo.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. y The Prisma Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The Prisma statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Moskal, B. M., Skokan, C., Muñoz, D. y Gosink, J. (2008). Humanitarian engineering: Global impacts and sustainability of a curricular effort. *The International Journal of Engineering Education*, 24(1), 162-174. https://www.ijee.ie/latestissues/Vol24-1/s22_ijee1994.pdf
- Moya, A. M. (2005). De la universidad colonial a la universidad napoleónica: la educación ilustrada del Instituto de Ciencias promovida por Prisciliano Sánchez en Guadalajara. 1824-1827. *Revista Historia de la Educación Latinoamericana*, 7, 259-274. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/historia_educacion_latinoamericana/article/view/2541
- Mumford, L. (1964). Authoritarian and democratic techniques. *Technology and Culture*, 5(1), 1-8.
- Murillo, F. J. y Hernández-Castilla, R. (2014). Liderando escuelas justas para la justicia social. *Revista Internacional de Educación para la Justicia Social*, 3(2). <http://hdl.handle.net/10486/666733>
- Nieusma, D. (2013). Engineering, social justice, and peace: Strategies for educational and professional reform. En J. Lucena (ed.), *Engineering education for social justice: Critical explorations and opportunities* (pp. 19-40). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6350-0_2

- Nieusma, D. y Blue, E. (2012). Engineering and war. *International Journal of Engineering, Social Justice, and Peace*, 1(1), 50-62. <https://doi.org/10.24908/ijesjp.v1i1.3519>
- Ochoa-Duarte, A. y León, L. (2023). Construcción de una ingeniería comprometida con la paz en Colombia a partir de la reflexión teórico-práctica. Ponencia presentada en *Entretejiendo lazos para la transformación social desde la multiculturalidad de nuestros territorios - IV Encuentro Colombiano de Ingeniería y Desarrollo Social*. Pereira, Colombia.
- Ochoa-Duarte, A. y León, L. (2024). Workshop: Collective construction of a course on Peace Engineering syllabus from an interdisciplinary dialogue. Ponencia presentada en *PAEE/ALE'2024, International Conference on Active Learning in Engineering Education, 16th International Symposium on Project Approaches in Engineering Education (PAEE) and 21st Active Learning in Engineering Education Workshop (ALE)*. San Andrés, Colombia.
- Ochoa-Duarte, A. y Reina-Rozo, J. D. (2022). Engaged engineering: A preliminary review of university practices on engineering and society in Colombia. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 14(27), e2247. <https://doi.org/10.22430/21457778.2247>
- Ochoa-Duarte, A., León Rojas, A. L. y Reina-Rozo, J. D. (2021). STEAM, society and university outreach in Colombia: A preliminary proposal from Buen Vivir. *Sociología y Tecnociencia*, 11(extra. 1), 55-82. https://doi.org/10.24197/st.Extra_1.2021.55-82
- Ortiz-Moreno, J. A., Malagón García, S. L. y Masera Cerutti, O. R. (2015). Ecotecnología y sustentabilidad: una aproximación para el Sur global. *Inter Disciplina*, 3(7). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2015.7.52391>
- Reina-Rozo, J. D. (2020). Ingeniería para la construcción de paz: una reflexión preliminar para procesos tecnocientíficos de resiliencia territorial. *Revista Opera*, (27), 141-162. <https://doi.org/10.18601/16578651.n27.07>
- Reina-Rozo, J. D. y Ochoa Duarte, A. (2021). Tecnologías e innovación para el desarrollo comunitario: un proceso de ingeniería comprometida en Colombia. En C. Cruz, J. Kleba y C. Alvear (org.), *Engenharias e outras práticas técnicas engajadas* (vol. 2: Iniciativas de formação profissional, pp. 275-312). EDUEPB.
- Riley, D. (2008). *Engineering and social justice. Synthesis lectures on engineers, technology and society*. Morgan & Claypool Publishers.
- Rincón, J. S., Bonilla, S. M., Gaitán-Albarracín, N. y Molina, A. L. (2021). Una red sociotécnica entretejiéndose: un análisis proyectivo de la Red Colombiana de Ingeniería y Desarrollo Social (ReCIDS). En C. A. S. Alvear, C. C. Cruz y J. B. Kleba (eds.), *Engenharia e outras práticas técnicas engajadas* (vol. 1: *Redes e movimentos*, pp. 75-106). Editora da Universidade Estadual da Paraíba.

- Rodríguez-Camargo, C. D. y Ochoa-Duarte, A. (2019). Caracterización de la paz en Colombia como escenario de construcción de nuevas pedagogías en ciencia y tecnología. *International Journal of Engineering Social Justice and Peace*, 6(1), 68-91. <https://doi.org/10.24908/ijesjp.v6i1.12663>
- Rojo, M. R. (2000). Sociedad, universidad y profesorado. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 14(38), 79-99. <http://hdl.handle.net/10201/131284>
- Salcedo-Portilla, C., Vega-Noguera, M. de J. y Reina-Rozo, J. D. (2021). Redes de colaboración y formación para el fomento de la ingeniería comprometida: reflexiones hacia futuros posibles. *Revista Internacional de Ingeniería, Justicia Social y Paz*, 8(1), 105-126. <https://doi.org/10.24908/ijesjp.v8i1.14285>
- uMap. (s. f.). [Ingeniería y tecnologías comprometidas con la paz en Colombia]. Recuperado de https://umap.openstreetmap.fr/es/map/ingenieria-y-tecnologias-comprometidas-con-la-paz-_875890#6/4.105/-70.159
- Vesilind, P. A. (2006). Peace engineering. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 132(4), 283-287. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1052-3928\(2006\)132:4\(283\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1052-3928(2006)132:4(283))
- Winner, L. (2007). Do artifacts have politics? En J. Weckert (ed.), *Computer ethics* (pp. 177-192). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315259697-21/artifacts-politics-langdon-winner>



Análisis de vehículos híbridos e híbridos paralelos para la movilidad urbana

Analysis of full hybrid and parallel hybrid vehicles for urban mobility

Pablo Enrique Cortés Muñoz¹ y César Alexander Chacón Cardona ²

Fecha de Recepción: 26 de julio de 2021

Fecha de Aceptación: 16 de octubre de 2024

Cómo citar: Cortés Muñoz P. E., Chacón Cardona C.A. (2024). Análisis de vehículos híbridos e híbridos paralelos para la movilidad urbana. *Tecnura*, 28(80), 148-165. <https://doi.org/10.14483/22487638.18316>

Resumen

Objetivo: Analizar eléctrica y económicamente dos tipos de vehículos híbridos: híbridos (*full hybrid*) e híbridos paralelos (*parallel hybrid*). Esto les permitirá a los lectores de campos relacionados con la ingeniería conocer las fortalezas y opciones de mejora que existen en este campo.

Metodología: Se realizó un rastreo bibliográfico, análisis y comparación de diferentes investigaciones. Se resumieron las principales estrategias de control y las características eléctricas y económicas de los vehículos híbridos, las cuales representan nichos de investigación para las ingenierías Eléctrica, Electromecánica, entre otras.

Resultados: Los motores, convertidores de tensión, baterías, sistemas de frenado y suspensión son nichos importantes de investigación para el desarrollo de vehículos híbridos. Adicionalmente, áreas como el control y la optimización son de gran importancia, pues de estas depende la correcta sincronía entre los sistemas de propulsión y el uso óptimo de la energía del vehículo. El precio de compra de un vehículo híbrido es más elevado que el de un vehículo tradicional. Sin embargo, esto se compensa con un mayor beneficio social y un mejor rendimiento operativo, pues el consumo de hidrocarburos se reduce en un 50 % aproximadamente, con respecto a los vehículos tradicionales.

Conclusiones: A pesar de las ventajas económicas y sociales de los vehículos híbridos, aún se presentan opciones de mejora en cuanto a los materiales de construcción de motores y baterías; en el aprovechamiento de las fuerzas dinámicas y estáticas presentes en los vehículos; y en el desarrollo de estrategias de control y optimización para el uso eficiente de la energía.

Palabras clave: vehículos, híbridos, motor, eléctrico, térmico, eficiencia, par, costos, ingeniería, piezoeléctricos.

¹Estudiante de Ingeniería Eléctrica por ciclos propedéuticos, Universidad Distrital Francisco José de Caldas . Bogotá, Colombia. Email: pecortesm@correo.udistrital.edu.co

²Doctorado en Física, físico. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas . Bogotá, Colombia. Email: cachaconc@udistrital.edu.co

Abstract

Objective: To electrically and economically analyze two types of hybrid vehicles: Parallel Hybrid and Full Hybrid. This analysis is easily related to the readers of engineering fields to know the results are the strengths and options for improvement that exist regarding this type of vehicle.

Methodoly: A bibliographic search, analysis and comparison of different investigations was carried out, summarizing the main control strategies and the electrical and economic characteristics of hybrid vehicles, which represent research niches for electrical, electromechanical and related engineering.

Results: Motors, voltage converters, batteries, braking and suspension systems are important research niches for the development of hybrid vehicles. Additionally, areas such as control and optimization are of great importance since the correct synchronization between the propulsion systems and the optimal use of the vehicle's energy depend on these. The purchase price of a hybrid vehicle is higher than that of a traditional vehicle. However, this is offset by a greater social benefit and better operating performance, since the consumption of hydrocarbons is reduced by approximately 50 % compared to traditional vehicles.

Conclusions: Despite the economic and social advantages of hybrid vehicles, there are still options for improvement in terms of construction materials; motors and batteries, and in the use of dynamic and static forces present in vehicles. Additional development of control and optimization strategies for efficient energy use.

Keywords: Vehicles, Hybrids, Motor, Electric, Thermal, Efficiency, Torque, Costs, Engineering, Piezoelectric.

Introducción

La dependencia del petróleo afecta social, ambiental y económicamente a las sociedades modernas. Los medios de transporte son, hoy, en su mayoría dependientes del petróleo, por eso es fundamental estudiar nuevas formas de transporte que sean más eficientes ecológica y económicamente, que además logren reducir la dependencia del petróleo y los daños que esta causa. El sector automotor afecta en gran medida la calidad del aire, pues su principal fuente de combustible continúa siendo los derivados del petróleo. En esta coyuntura, los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de motorización eléctrica, tanto así que actualmente casi se ha duplicado la venta de vehículos eléctricos (VE) y de vehículos híbridos eléctricos (VHE) en Colombia, pasando de tener 3135 unidades vendidas en 2019, a 6004 unidades vendidas en 2020. En esta demanda sobresalen los vehículos híbridos con un total de 4697 unidades vendidas contra 1307 unidades de vehículos eléctricos vendidos en Colombia para 2020 ([Asociación Nacional de Empresarios de Colombia \[ANDI\], 2021](#)).

Dado este auge, en el desarrollo de este artículo se busca analizar el funcionamiento de dos tipos de vehículos híbridos: híbridos paralelos (*parallel hybrid*) e híbridos (*full hybrid*). Este análisis dará a conocer al sector de la ingeniería una nueva tecnología que viene tomando cada vez más impulso en el mundo. Les permitirá a los lectores de campos relacionados con las ingenierías, como la eléctrica y la electromecánica, conocer las fortalezas y opciones de mejora que existen en este tipo de vehículos. Al mismo tiempo, se busca tener un mayor entendimiento a

cerca de los vehículos híbridos. El propósito es que este conocimiento pueda ser apropiado y desarrollando en las universidades del país. Esto permitiría un avance tecnológico y social en conjunto con el sector industrial, el cual constituiría el primer paso para el progreso y crecimiento de una sociedad moderna.

Antecedentes

Los vehículos tradicionales utilizan motores térmicos, los cuales están definidos por el ciclo térmico de Carnot. En el caso de un motor de combustión interna, solo el 20 % de la energía producida por este se utiliza para hacer funcionar el vehículo y el 80 % restante se disipa a través de calor no recuperable para desarrollar trabajo (Kumar y Thakura, 2019).

En los VE, se tienen grandes ventajas como: cero emisiones de gases contaminantes, mejor relación par/velocidad y un menor costo de mantenimiento, al tener sistemas de transmisión más sencillos en comparación con un vehículo tradicional. Sin embargo, los vehículos eléctricos tienen algunas desventajas en cuanto a la portabilidad y provisión de energía eléctrica; la poca cantidad de electrolineras (estaciones públicas de carga), masa y tamaño de las baterías, además del tiempo prolongado de carga. A esto se suma que los VE son más costosos para su adquisición que los tradicionales (Coffman *et al.*, 2017). Por estas desventajas, se han desarrollado propuestas híbridas que combinan el impulso motor generado por un motor eléctrico con el de uno térmico (Chele Sancan 2017); al existir un complemento entre el sistema térmico y eléctrico para la propulsión del vehículo, se reducen las emisiones de gases contaminantes, así se conserva la potencia y autonomía de los vehículos convencionales (Sánchez 2009).

Los VHE cuenta con un sistema de frenado regenerativo el cual transforma la energía cinética generada durante el frenado en energía eléctrica, la cual se usa posteriormente para recargar las baterías y, con ello, aumentar la autonomía del vehículo (Duran Tovar *et al.*, 2020; Kebriaei *et al.*, 2015).

Actualmente sobresalen tres tipos de VEH nombrados según la configuración de su tren motor: híbrido serie, híbrido paralelo e híbrido. En la configuración en serie, un banco de baterías y un generador ensamblado al motor térmico suministran energía a un motor eléctrico, el cual se encarga de generar el impulso motor suficiente para el movimiento del vehículo (Shen *et al.*, 2011). En contraste, la configuración en paralelo ofrece la posibilidad de que el impulso motor dependa del motor térmico, del motor eléctrico o de una combinación de los dos sistemas de propulsión (Chen *et al.*, 2019). La configuración híbrida (*full hybrid*) combina los dos sistemas anteriores ofreciendo más variables y combinaciones para el accionamiento del vehículo (Orecchini *et al.*, 2018).

Independiente de la configuración del vehículo se debe tener en cuenta el grado de hibridación, es decir el equilibrio correcto entre los sistemas de propulsión eléctrica y térmica (Buecherl *et al.*, 2009; Holder y Gover 2006).

Estudio eléctrico VEH

En la tabla 1 se muestran las especificaciones técnicas de dos vehículos: Toyota Corolla (híbrido) y KIA Niro (híbrido paralelo).

Tabla 1. Especificaciones técnicas vehículos Toyota Corolla y KIA Niro

Especificaciones técnicas	Toyota Corolla HV 2020	KIA Niro híbrido 2020
Potencia máxima motor térmico (gasolina)	71 kW	72,2 kW
Potencia máxima motor eléctrico	53 kW	32 kW
Potencia máxima (combinada-híbrida)	90 kW	103,6 kW
Par máxima motor térmico (gasolina)	142 Nm	147 Nm
Par máxima motor eléctrico	163 Nm	170 Nm
Par máximo (combinado)	170 Nm	265 Nm
Tipo de baterías	Níquel-hidruro metálico (Ni-MH)	Polímero de iones de litio
Tensión baterías	201,6 V	240 V
Capacidad baterías	6,5 Ah	6,5 Ah
Consumo de combustible	3,4 l/100 km	3,8 l/100 km

Nota: elaborada a partir de [Toyota.mx \(2020\)](https://toyota.mx) y [Press.kia.com \(2020\)](https://press.kia.com).

Potencia máxima en el motor térmico

En este tipo de motores se realiza una combustión interna de un hidrocarburo (gasolina); en este proceso térmico se generan gases a alta presión y temperatura, los cuales producen el movimiento del motor. En términos de potencia térmica, no existe una gran diferencia entre los dos vehículos, pues el sistema Hybrid Synergy Drive (THS II) de Toyota utiliza un motor de ciclo Atkinson (Vecchio *et al.*, 2005; Toyota.es, 2017), al igual que el sistema KIA con su motor

Kappa 1,6 L GDI (Hwang *et al.*, 2016; Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2020), los cuales son muy populares en los VEH debido a su eficiencia mejorada (Asghar *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2021).

Potencia máxima en el motor eléctrico

La máxima eficiencia de un motor eléctrico suele estar cerca del 75 % de su carga nominal (Program of the U.S. Department of Energy, 2014), es decir que de los 53 kW nominales del motor eléctrico del vehículo Toyota Corolla el 39,75 kW son usados para el movimiento del vehículo, mientras que en el KIA Niro 24 kW. En la actualidad se investiga sobre el uso de motores de eficiencia superior, los cuales reducen en gran medida las pérdidas calóricas y de fricción que se producen en el proceso electromotor (Costa, 2010); el uso de motores PM (síncrono de imán permanente) sin escobillas a gran velocidad, que cuentan con menor tamaño y con un par máximo superior al de cualquier otro motor eléctrico (Jones, 2014), y el uso de motores de flujo magnético transversal, que permiten un mayor número de polos que bobinados en el rotor, lo cual se traduce en un par más elevado (Labriola, 2020), entre otros.

Par máximo

En cuanto al par máximo de un motor eléctrico este es mayor al de un motor térmico aun cuando el motor eléctrico sea de menor potencia, tal como se evidencia en las especificaciones técnicas de ambos vehículos. Esto es debido a que los motores térmicos tienen características de par/velocidad lejos del rendimiento ideal, pues a una alta velocidad la salida de potencia del motor aumenta, pero el par disminuye. En contraste, en un motor eléctrico el par motor permanece constante desde el arranque hasta una velocidad media, mientras que la potencia aumenta. Una vez superada la velocidad media en un motor eléctrico, el par disminuye hiperbólicamente y la potencia permanece constante (Ehsani, 2005).

Baterías

En los vehículos híbridos existen baterías de arranque y tracción: las primeras son las típicamente usadas en los vehículos tradicionales y tienen como función básica el encendido del vehículo; mientras que las de tracción son las encargadas de suministrar energía al sistema de propulsión eléctrica. En la actualidad se destacan tres tipos de baterías según sus materiales de construcción; baterías de polímero de iones de litio (Li-ion), baterías de plomo-ácido y finalmente las baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH), las cuales son muy comunes en los VHE debido a las ventajas de tamaño, masa y capacidad energética que estas ofrecen (Lewis *et al.*, 2012). Las baterías de polímero de iones de litio (Li-ion) tienen mayor energía específica, densidad de energía y potencia que las de hidruro metálico (Ni-MH) y plomo ácido, además de una tasa de autodescarga más baja. Estas características posicionan a las baterías de polímero

de iones de litio (Li-ion), entre las mejores alternativas para el almacenamiento de energía en los VEH (Xia, *et al.*, 2015; Karden *et al.*, 2007).

Electrónica de potencia

Los convertidores, rectificadores, inversores y demás elementos de control y conmutación son cruciales para el funcionamiento de los vehículos híbridos. El sistema Toyota Hybrid Synergy Drive II está compuesto por un convertidor DC-DC para la batería auxiliar, un convertidor DC-DC para la batería de tracción e inversores para: aire acondicionado, motor de arranque, generador, motor de tracción (Emadi *et al.*, 2008). En el caso del KIA Niro, la unidad de control de energía híbrida (HPCU) cuenta con dos inversores, convertidores DC-DC, conexiones de alta tensión para las baterías de tracción y el sistema de propulsión eléctrico (Kniro.net, 2017). El empaquetado de todas estas unidades en un solo sistema se conoce como PEBB (*power electronic building block*), el cual mejora la eficiencia y desempeño de los dispositivos tradicionales con técnicas que usan bloques de construcción los cuales son consistentes entre sí (Andes, 2013).

Consumo de combustible

El máximo desempeño de los VEH se logra mediante estrategias de gestión de la energía (EGE), clasificadas en cuatro tipos: métodos basados en reglas (Marzougui *et al.*, 2019), control inteligente para la distribución de energía (Navale y Havens, 2014; Schouten *et al.*, 2002), métodos de optimización con algoritmo genético (Montazeri-Gh *et al.*, 2006) y programación dinámica (Pérez *et al.*, 2006; Cipek *et al.*, 2020).

En las tablas 2 y 3, se compara el consumo en litros por cada 100 km para los vehículos híbridos (*full hybrid*) e híbridos en paralelo.

Tabla 2. Comparación de consumo de combustible para los ciclos UDDS y HWFET

Consumo de combustible (l/100 km)	Control basado en reglas	Control SDP (<i>stochastic dynamic programming</i>)	Control ECMS (<i>equivalent consumption minimization strategy</i>)	Control DP (<i>dynamic programming</i>)
UDDS	4,12	3,61	3,67	3,51
HWFET	4,35	4,12	4,20	4,12

Nota: elaborada a partir de Liu y Peng (2008).

Tabla 3. Comparación de consumo de combustible para los ciclos UDDS y HWFET, según diversos algoritmos de control para vehículos híbridos en paralelo

Consumo de combustible (l/100 km)	Control basado en reglas	Óptima global	Control ECMS (<i>equivalent consumption minimization strategy</i>)	Control simple en tiempo real
UDDS	4,85	2,97	3,17	3,21
HWFET	4,25	2,68	2,67	2,79

Nota: elaborada a partir de [Gao et al. \(2017\)](#).

En la configuración híbrida (*full hybrid*), el menor consumo de combustible (3,51 litros/100 km) se da con la estrategia de control dinámico en un ciclo UDDS; en cuanto a los vehículos híbridos en paralelo, el control ECMS muestra un ahorro de combustible 2,97 litros/100km para el mismo ciclo de conducción, con lo que se demuestra la importancia de áreas como control y optimización en los vehículos híbridos y eléctricos, pues de estas depende la correcta sincronía entre los sistemas de propulsión y el uso óptimo de la energía del vehículo.

Estudio económico de los VEH

Los costos de un vehículo en general no solamente están relacionados con la economía de combustible, también se deben tener en cuenta otros costos: de compra, mantenimiento y depreciación. Para analizarlos se han realizado diversos estudios y comparaciones entre vehículos con motores térmicos (VMT) y los VEH, los cuales han demostrado la ventaja económica de los VEH sobre los VMT, gracias a beneficios como el bajo costo operativo, lo que ubica a los VEH en una posición privilegiada en el mercado automotor ([Propfe et al., 2012](#); [Granovskii et al., 2006](#)).

Otro punto a favor de los VEH son los beneficios sociales los cuales se evalúan mediante cálculos de costos externos como disminución de la contaminación auditiva (emisión de ruidos), uso de aceites y emisión de gases contaminantes. Para este tipo de cálculos se recurre a métodos de costos externos ([Delucchi, 2004](#)). Los costos externos de los VEH tienden a ser más bajos que en los VMT, debido en gran parte a la reducción en el costo del uso de aceites. Los resultados de los estudios de costos externos muestran que los VEH son más competitivos que los VMT, aun con precios bajos de combustible ([Lipman y Delucchi, 2006](#)).

Tabla 4. Costos VEH en Colombia

Tipo de costo (2021)	Toyota Corolla 1.8 CVT SEG	KIA Niro II 1.6 Emotion aut.
Precio de compra	USD25 145 (Novamotors.com.co , 2024)	USD29 248 (Kia.com.co , 2024)
Costo de la energía kWh (estratos 3 y 4 en Bogotá)	USD0,15 (Enel-Codensa , 2021)	USD0,15 (Enel-Codensa , 2021)
Costo galón de gasolina corriente (Bogotá)	USD2,34 (MinEnergía , 2022)	USD2,34 (MinEnergía , 2022)
Costo de mantenimiento preventivo 1 año o 10 000 km	USD77,5 (Toyota , 2021)	USD193,22 (KIA Motors Servicio Técnico , 2021)
Impuesto sobre vehículos (2,5 %)	USD628,62 (Secretaría Distrital de Hacienda , 2021)	USD731,18 (Secretaría Distrital de Hacienda , 2021)

Nota: elaborada a partir de varias fuentes.

Costos de adquisición

Los VEH son cada vez más populares a nivel mundial, pero su precio de compra puede ser mucho más alto que el de los VMT, debido en gran parte al costo de las baterías. Sin embargo, pasados los primeros cinco años de inversión, los VEH alcanzan un equilibrio económico con los VMT y logran ser más económicos; así, producen un beneficio particular y social ([Lewis et al., 2012](#)).

Costos de operación

En el caso de los VEH, los costos de operación incluyen también los de combustible y de energía eléctrica, los cuales dependen de la eficiencia del sistema motor del vehículo, de la distancia y del costo del hidrocarburo (gasolina) ([Abas et al., 2019](#)). En la ecuación (1) se describe el cálculo de este tipo de costo:

$$C_{VEH} = \eta_{VEH} \cdot D \cdot C_{gas} \quad (1)$$

Donde η_{VEH} es la eficiencia del sistema motor, D es la distancia recorrida, C_{gas} es el costo de la gasolina.

Costos de mantenimiento

En este tipo de costos se incluyen los costos de mantenimiento preventivo (MFi), remplazo de baterías (BRi), tasa de descuentos (r) y el remplazo de llantas (TRi). El mantenimiento

correctivo no se tiene en cuenta, debido a la inexactitud de ocurrencia. La cantidad de mantenimientos preventivos al año es otorgada por el fabricante. En la ecuación (2) se calcula el costo de mantenimiento (Abas *et al.*, 2019):

$$\sum_{i=1}^n \frac{MF_i + BR_i + TR_i}{(1+r)^i} \quad (2)$$

Tabla 5. Costos de compra y funcionamiento de un VEH en Colombia

Tipo de costo	Toyota Corolla 1,8 CVT SEG	KIA Niro II 1,6 Emotion aut.
Costos de adquisición	USD29 254 (Novamotors.com.co , 2024)	USD30 264 (Kia.com.co , 2024)
Costos de operación (combustible-100 km)	USD2,10	USD2,35
Costos de mantenimiento*	USD628,62	USD731,18

Nota: *10 000 km o 1 año, sin cambio de baterías ni remplazo de llantas. Elaborada a partir de ecuaciones y (novamotors.com.co, 2024) y (www.kia.com.co, 2024)

El Toyota Corolla híbrido tiene un consumo de combustible de 4,5 litros cada 100 km (United States Environmental Protection Agency, 2020). En el caso del Kia Niro HEV, Kia Motors asegura que el consumo de combustible de su vehículo híbrido en modo urbano es de 3,8 litros cada 100 km (Press.kia.com, 2020).

Los resultados de la comparación de costos y consumo entre los dos vehículos híbridos es simplemente informativa, pues no se pretende recomendar una marca o VEH en especial, pero sí demostrar el ahorro de combustible que este tipo de tecnología vehicular tiene al ser comparada con la tecnología tradicional de motores térmicos, por ejemplo con el Ford Fiesta FWD 2019, el cual tiene un consumo de combustible de 7,5 litros cada 100 km (United States Environmental Protection Agency, 2019), con lo cual se demuestra un ahorro aproximado del 50 % de combustible a favor de la tecnología híbrida.

Discusión

A pesar de las mejoras económicas y sociales que trae la tecnología híbrida para la movilidad, aún se presentan varias opciones de mejora desde el punto de vista operativo y eléctrico; por ejemplo, los motores eléctricos que usan este tipo de vehículos aún tienen varios nichos de investigación que convergen en la eficiencia energética. Estos motores eléctricos buscan características par/velocidad cercanas al rendimiento ideal, al mismo tiempo que intentan reducir

las pérdidas propias de un proceso electromotor; sin embargo, aún falta seguir investigando los materiales con los que se construye este tipo de motores; por ejemplo, las aleaciones de materiales magnéticos para la construcción del núcleo de las máquinas eléctricas pueden lograr una mayor densidad de flujo magnético y con ello reducir el tamaño y masa de estas. Aunque, en el caso de la aleación CoFe (cobalto-hierro) los costos de fabricación son un poco más altos, esto se compensa con una menor masa, lo cual hace útil a esta aleación en aplicaciones espaciales, de aviación y de movilidad terrestre, como en caso de los sistemas eléctricos e híbridos (Krings *et al.*, 2017).

En los vehículos híbridos se utilizan convertidores DC-DC elevadores de tensión para conectar las unidades de almacenamiento de baja tensión al accionamiento del motor. Empero, este tipo de convertidores elevadores DC-DC presentan resistencias parásitas en los devanados de los inductores, las cuales han demostrado afectar la eficiencia y ganancia de tensión del convertidor, de ahí que actualmente se realicen investigaciones que buscan encontrar el convertidor DC-DC ideal para este tipo de vehículos, teniendo en cuenta las necesidades propias de cada vehículo (Martínez *et al.*, 2018). En este punto sobresalen áreas de la Ingeniería Eléctrica como la electrónica de potencia, en el diseño y desarrollo de convertidores de tensión, los cuales han demostrado ser vitales en innumerables aplicaciones, entre ellas la movilidad híbrida y eléctrica.

Las baterías de polímero de iones de litio (Li-ion) son muy populares en el almacenamiento de energía en los VEH. No obstante, se espera que la demanda de Li aumentará de 0,036 millones de toneladas en 2020 a 0,62-0,77 millones de toneladas en 2050 (Xu *et al.* 2020), lo cual está generando una sobreexplotación de materia prima. Esta crea la necesidad de investigar nuevos materiales que suplan esta demanda, mejorar las técnicas de reciclaje de baterías a través de la pirometalurgia (Doose *et al.*, 2021) o seguir desarrollando los sistemas de almacenamiento de energía híbridos que agregan a las baterías de iones de litio unos supercapacitores y pilas de combustible de polímero electrolítico de membrana (PEM) (Liu *et al.*, 2019). La Ingeniería Eléctrica y la ciencia e ingeniería de materiales surgen una vez más como pilares para el desarrollo de sistemas eléctricos, que permitan suplir la creciente demanda de energía y su almacenamiento.

El frenado regenerativo es vital en el aprovechamiento de la energía cinética del vehículo al transformarla en energía eléctrica. A pesar de ello, el frenado regenerativo no es la única forma de aprovechamiento de energía cinética que se puede tener en los vehículos híbridos o eléctricos, pues los materiales piezoeléctricos también pueden aprovechar la energía cinética generada durante el frenado (Khandwala *et al.*, 2020) la presión del vehículo en el sistema de suspensión (Varela, 2020) o la energía vibratoria causada en el movimiento del rotor a través

de un soporte de material piezoeléctrico (Dannier *et al.*, 2019).

Las estrategias de control en combinación con técnicas de optimización son fuente de investigación para diversas áreas de ingeniería, donde por ejemplo se puede controlar la sincronía motriz entre dos sistemas de propulsión (uno eléctrico y otro térmico), sin dejar de lado la optimización de los recursos energéticos provenientes de baterías o combustible. Esto resalta la importancia de la teoría de control, el análisis de sistemas dinámicos y la optimización en las ingenierías Eléctrica, Electromecánica, Mecánica y afines, pues el desarrollo de la movilidad híbrida requiere de ingenieros capaces de controlar y desarrollar sistemas motrices eficientes desde el punto de vista energético y ambiental.

Las normas IEC 61851 e IEC 61851-1, citadas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), establecen los requisitos técnicos que deben cumplir las estaciones de carga para los vehículos eléctricos o híbridos enchufables. A pesar de ello, en Colombia aún falta establecer las condiciones mínimas de estandarización y de mercado que debe cumplir la infraestructura de carga para este tipo de vehículos, pues a la fecha de elaboración de este artículo solo se cuenta con un proyecto de resolución en el Ministerio de Minas y Energía (2022), el cual establece definiciones técnicas, condiciones de mercado y estandariza criterios técnicos y normativos de las estaciones de carga. Los proyectos gubernamentales que implican energía eléctrica en Colombia requieren de un mayor número de ingenieros eléctricos comprometidos con el sector público y desarrollo del país, lo cual no solo se convierte en una fuente de empleo para los ingenieros, sino también en una mejor gestión y ejecución de proyectos eléctricos públicos.

Conclusiones

El corto plazo promete cambios en cuatro aspectos vitales para la humanidad: clima, sociedad, tecnología y recursos. Estos deben ser abordados por las diferentes ingenierías, en especial por la eléctrica, pues esta tiene en su conocimiento las herramientas para controlar y proveer recursos energéticos, al mismo tiempo que puede transformar dichos recursos, en por ejemplo, sistemas de transporte eléctricos o híbridos que permitan reducir las emisiones contaminantes, suministrando recursos energéticos seguros y confiables.

El sistema de frenado regenerativo es trascendental en el aprovechamiento de las fuerzas físicas que se generan en el vehículo. Sin embargo, los materiales piezoeléctricos también evidencian un gran potencial para el aprovechamiento de las fuerzas dinámicas y estáticas presentes en los vehículos híbridos, en pro de la autonomía energética, lo cual los convierte en un área de investigación para el desarrollo de la movilidad sostenible.

En los motores eléctricos de los vehículos híbridos, como en cualquier otro sistema electromotor, es importante el rendimiento y eficiencia del motor, así como su comportamiento par/velocidad. Sin embargo, la masa y tamaño de los motores sobresalen al momento de diseñar un vehículo, de ahí la importancia de los materiales con los que se construyen los motores, pues al ser construidos con materiales de una mayor densidad de flujo magnético se logra reducir la masa y tamaño de estos, aunque esto implique consideraciones costo/beneficio.

Los convertidores de tensión son vitales en el ensamble y funcionamiento eléctrico de un vehículo híbrido, pues estos son un eslabón en la cadena de la eficiencia energética de un vehículo. Por eso es vital la investigación y desarrollo de convertidores para uso específico de los vehículos híbridos, donde se diseñen teniendo en cuenta no solo el propósito final sino también el sistema en sí.

Uno de los cuestionamientos más grandes acerca de los vehículos híbridos y eléctricos es la autonomía del sistema eléctrico, la cual depende en gran parte de las baterías. En la actualidad estas son objeto de investigación, pues no solo se busca un mejor rendimiento, sino también controlar el impacto ambiental que causan. La Ingeniería Eléctrica y la ciencia e ingeniería de materiales tienen la capacidad de proveer sistemas de almacenamiento de energía a través de la investigación de nuevos materiales o aleaciones que permitan suplir las necesidades energéticas de los sistemas eléctricos móviles, sin afectar o sobreexplotar los recursos naturales, de ahí la necesidad de fomentar en las universidades la investigación sobre la generación, transformación y almacenamiento de energía ecológicamente sostenible.

Referencias

- Abas, A. E. P., Yong, J., Mahlia, T. M. I. y Hannan, M. A. (2019). Techno-economic analysis and environmental impact of electric vehicle. *IEEE Access*, 7, 98565-98578. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2929530>
- Asghar, M., Bhatti, A. I., Ahmed, Q. y Murtaza, G. (2018). Energy management strategy for Atkinson cycle engine based parallel hybrid electric vehicle. *IEEE Access*, 6, 28008-28018. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2835395>
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI). (2021). *Informe de vehículos eléctricos e híbridos a enero 2021*. https://www.andi.com.co/Uploads/01.%20INFORME%20DE%20VEHICULOS%20H&E%20ENE%20%20-%20PRENSA_637487206531776842.pdf

- Buecherl, D., Bolvashenkov, I. y Herzog, H. G. (2009). Verification of the optimum hybridization factor as design parameter of hybrid electric vehicles. En *5th IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC '09* (pp. 847-851). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2009.5289758>
- Chele Sancan, D. G. (2017). Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna. *INNOVA Research Journal*, 2(12), 1-10. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n12.2017.527>
- Chen, P. T., Pai, P. H., Cheng Jung, Y. y David, H. K. (2019). Development of transmission systems for parallel hybrid electric vehicles. *Applied Sciences*, 9(8), 1-26. <https://doi.org/10.3390/app9081538>
- Cipek, M., Kasać, J., Pavković, D. y Zorc, D. (2020). A novel cascade approach to control variables optimisation for advanced series-parallel hybrid electric vehicle power-train. *Applied Energy*, 276, 115488. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115488>
- Coffman, M., Bernstein, P. y Wee, S. (2017). Electric vehicles revisited: A review of factors that affect adoption. *Transport Reviews*, 37(1), 2-3. <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1217282>
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2020). *El ciclo Atkinson y su presencia en los vehículos híbridos*. <https://drive.google.com/file/d/11bYiCLHIP6nJEgJT70C568yyXL-79kc/view>
- Costa, G. (2010). Reducing electricity cost through use of premium efficiency motors. *Power Transmission Engineering*, 6(1), 38-43. https://www.academia.edu/25302001/Reducing_Electricity_Cost_through_Use_of_Premium_Efficiency_Motors
- Dannier, A., Brando, G. y Ruggiero, F. N. (2019). The piezoelectric phenomenon in energy harvesting scenarios: A theoretical study of viable applications in unbalanced rotor systems. *Energies*, 12(4), 1-15. <https://doi.org/10.3390/en12040708>
- Delucchi, M. A. (2004). *Summary of the nonmonetary externalities of motor-vehicle use: Report #9 in the series*. University of California.
- Doose, S., Mayer, J. K., Michalowski, P. y Kwade, A. (2021). Challenges in ecofriendly battery recycling and closed material cycles: A perspective on future lithium battery generations. *Metals*, 11(2), 291. <https://doi.org/10.3390/met11020291>
- Durán Tovar, I. C., Marulanda Guerra, A. R., Monroy Laverde, C. C. y Siachoque Ardila, C. A. (2020). Estudio comparativo del sistema de freno regenerativo y regeneración con energía

cinética constante en vehículos eléctricos de batería. *Ingeniería*, 25(3). <https://doi.org/10.14483/23448393.16220>

Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E. y Emadi, A. (2005). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles*. Taylor & Francis.

Emadi, A., Lee, Y. J. y Rajashekara, K. (2008). Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(6), 2237-2245. <https://doi.org/10.1109/TIE.2008.922768>

Enel-Codensa. (2021). *Tarifas de energía*. <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/espasól/personas/1-17-1/2021/Tarifario-abril-2021.pdf>

Gao, A., Deng, X., Zhang, M. y Fu, Z. (2017). Design and validation of real-time optimal control with ECMS to minimize energy consumption for parallel hybrid electric vehicles. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2017/3095347>

Granovskii, M., Dincer, I. y Rosen, M. A. (2006). Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles. *Journal of Power Sources*, 159(2), 1186-1193. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.11.086>

Holder, C. y Gover, J. (2006). Optimizing the hybridization factor for a parallel hybrid electric small car. En *2006 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2006* (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2006.364359>

Hwang, K., Hwang, I., Lee, H., Park, H., Choi, H., Lee, K., Kim, W., Kim, H., Han, B., Lee, J., Shin, B. y Chae, D. (2016). Development of new high-efficiency Kappa 1.6L GDI engine. *SAE Technical Papers*, 2016(01), 0667. <https://doi.org/10.4271/2016-01-0667>

Jones, D. (2014). *Brushless PM-motors speed ahead*. PowerTransmission.com. <https://www.powertransmission.com/ext/resources/issues/0614/brushless-pm-motors.pdf?1646351811>

Karden, E., Ploumen, S., Fricke, B., Miller, T. y Snyder, K. (2007). Energy storage devices for future hybrid electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 168(1), 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.10.090>

Kebriaei, M., Niasar, A. H. y Asaei, B. (2015). Hybrid electric vehicles: An overview. En *International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)*, 2015 (pp. 299-305). Shenzhen, China. <https://doi.org/10.1109/ICCVE.2015.84>

Khandwala, D., Pandya, P., Ladani, B., Khatri, P. y Patel, J. (2020). Design and development of multiple alternative energy car. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(3), 1247-1252. <https://doi.org/10.35940/ijitee.C8701.019320>

- KIA Motors Servicio Técnico. (2021). *Talleres MetroKia*. <https://metrokia.co/talleres-metrokia-kia-motors/>
- Kia.com.co (2024). *Niro Híbrido*. <https://www.kia.com.co/nuestros-vehiculos/hibrido-niro>
- Kniro.net. (2017). *Kia Niro: Hybrid control system / Hybrid power control unit (HPCU) components and components location*. http://www.knironet.com/hybrid_power_control_unit_hpcu_components_and_components_location-717.html
- Krings, A., Cossale, M., Tenconi, A., Soulard, J., Cavagnino, A. y Boglietti, A. (2017). Magnetic materials used in electrical machines: A comparison and selection guide for early machine design. *IEEE Industry Applications Magazine*, 23(6), 21-28. <https://doi.org/10.1109/MIAS.2016.2600721>
- Kumar, A. y Thakura, P. R. (2019). Performance evaluation of hybrid electric vehicles for sustainable transport system. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(11), 1-11. <https://doi.org/10.35940/ijitee.K1280.0981119>
- Labriola, D. (2020). *Hybrid transverse magnetic flux motors-AKA stepper motors and hybrid servos*. PowerTransmission.com. <https://www.powertransmission.com/ext/resources/issues/0320/stepper-motors.pdf?1646351985>
- Lewis
- Lewis, H., Park, H. y Paolini, M. (2012). Frontier battery development for hybrid vehicles. *Chemistry Central Journal*, 6(Suppl. 1), S2. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-S1-S2>
- Li, Y., Wang, S., Duan, X., Liu, S., Liu, J. y Hu, S. (2021). Multi-objective energy management for Atkinson cycle engine and series hybrid electric vehicle based on evolutionary NSGA-II algorithm using digital twins. *Energy Conversion and Management*, 230, 113788. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113788>
- Lipman, T. E. y Delucchi, M. A. (2006). A retail and lifecycle cost analysis of hybrid electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 11(2), 115-132. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2005.10.002>
- Liu, J., & Peng, H. (2008). Modeling and control of a power-split hybrid vehicle. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 16(6), 1242-1251. <https://doi.org/10.1109/TCST.2008.919447>
- Liu, Z., Kendall, K., & Yan, X. (2019). China progress on renewable energy vehicles: Fuel cells, hydrogen and battery hybrid vehicles. *Energies*, 12(1), 54. <https://doi.org/10.3390/en12010054>

- Martínez, W., Cortes, C., Yamamoto, M. e Imaoka, J. (2018). Effect of inductor parasitic resistances on the voltage gain of high step-up DC-DC converters for electric vehicle applications. *IET Power Electronics*, 11(10), 1628-1639. <https://doi.org/10.1049/iet-pel.2017.0361>
- Marzougui, H., Kadri, A., Martin, J. P., Amari, M., Pierfederici, S. y Bacha, F. (2019). Implementation of energy management strategy of hybrid power source for electrical vehicle. *Energy Conversion and Management*, 195, 830-843. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.037>
- Ministerio de Minas y Energía (MinEnergía). (2022). *Precios de combustibles año 2022*. <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/hidrocarburos/funcionamiento-del-sector/downstream/>
- Montazeri-Gh, M., Poursamad, A. y Ghalichi, B. (2006). Application of genetic algorithm for optimization of control strategy in parallel hybrid electric vehicles. *Journal of the Franklin Institute*, 343(4-5), 420-435. <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2006.02.015>
- Navale, V. y Havens, T. C. (2014). Fuzzy logic controller for energy management of power split hybrid electrical vehicle transmission. En *2014 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)* (pp. 940-947). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2014.6891785>
- Novamotors.com.co. (2024). *Toyota Corolla Hybrid SE*. <https://www.novamotors.com.co/toyota/automoviles/corolla/corolla-hybrid-seg/>
- Orecchini, F., Santiangeli, A., Zuccari, F., Ortenzi, F., Genovese, A., Spazzafumo, G. y Nardone, L. (2018). Energy consumption of a last generation full hybrid vehicle compared with a conventional vehicle in real drive conditions. *Energy Procedia*, 148, 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.080>
- Pérez, L. V., Bossio, G. R., Moitre, D. y García, G. O. (2006). Optimization of power management in a hybrid electric vehicle using dynamic programming. *Mathematics and Computers in Simulation*, 73(1-4), 244-254. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2006.06.016>
- Press.kia.com. (2020). *Especificaciones técnicas KIA Niro (híbrido)*. <https://press.kia.com/content/dam/kiapress/ES/mediagallery/Especificaciones%20T%C3%A9cnicas%20Kia%20Niro.pdf>
- Program of the U.S. Department of Energy. (2014). *Determining electric motor load and efficiency*. Motor Challenge. <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/10097517.pdf>

- Propfe, B., Redelbach, M., Santini, D. J. y Friedrich, H. (2012). Cost analysis of plug-in hybrid electric vehicles including maintenance & repair costs and resale values. *World Electric Vehicle Journal*, 5(4), 886-895. <https://doi.org/10.3390/wevj5040886>
- Sánchez, R. (2009). *Impacto en la demanda de energía eléctrica en Colombia debido a la penetración de vehículos híbridos-eléctricos y eléctricos* [Trabajo de grado]. Universidad Nacional de Colombia.
- Schouten, N. J., Salman, M. A. y Kheir, N. A. (2002). Fuzzy logic control for parallel hybrid vehicles. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 10(3), 460-468. <https://doi.org/10.1109/87.998036>
- Secretaría Distrital de Hacienda. (2021). *Impuesto sobre vehículos automotores*. <https://www.haciendabogota.gov.co/es/impuestos/impuesto-sobre-vehiculos-automotores>
- Shen, C., Shan, P. y Gao, T. (2011). A comprehensive overview of hybrid electric vehicles. *International Journal of Vehicular Technology*, 2011, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2011/571683>
- Toyota.es. (2017). *Componentes del sistema híbrido Toyota*. <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/2017/componentes-sistema-hibrido-toyota>
- Toyota.mx. (2020). *Ficha técnica Corolla HV 2020*. https://www.toyotacoapa.com.mx/autosnuevos/pdf/CORH20/Ficha_técnica.pdf
- Toyota.com.co. (2021). *Mantenimiento planeado*. <https://www.toyota.com.co/mantenimiento-planeado/>
- United States Environmental Protection Agency. (2019). *Government source for fuel economy information*. <https://www.fueleconomy.gov/feg/noframes/40813.shtml>
- United States Environmental Protection Agency. (2020). *Government source for fuel economy information*. <https://www.fueleconomy.gov/feg/noframes/41214.shtml>
- Universidad de los Andes. (2013). *Diseño y fabricación de convertidores de energía basados en el concepto de bloques constructivos de electrónica de potencia (PEBB)*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/statistics/items/e7ed1b65-f6da-40a7-b523-8e1a57939638>
- Varela, C. (2020). Kinetic energy applications in autonomous and sustainable electromobility. *Revista UIS Ingenierías*, 19(4), 167-180. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n4-2020015>
- Vecchio, A., Van der Auweraer, H., Janssens, K. y Deblauwe, F. (2005). Booming noise study on hybrid cars. En *International Congress on Noise Control Engineering 2005*, INTERNOISE 2005 (Vol. 5, pp. 3983-3992). Rio de Janeiro, Brasil.

Xia, W., Mahmood, A., Zou, R. y Xu, Q. (2015). Metal-organic frameworks and their derived nanostructures for electrochemical energy storage and conversion. *Energy & Environmental Science*, (7), 1837-1866. <https://doi.org/10.1039/C5EE00762C>

Xu, C., Dai, Q., Gaines, L., Hu, M., Tukker, A. y Steubing, B. (2020). Future material demand for automotive lithium-based batteries. *Communications Materials*, 1, 99. <https://doi.org/10.1038/s43246-020-00095-x>



CONTENIDO

- Alcance y política editorial de la revista
- Tipos de artículos aceptados
- Formato del artículo
- Envío de artículos
- Procedimiento para la publicación
- Arbitraje de artículos
- Contacto

ALCANCE Y POLÍTICA EDITORIAL DE LA REVISTA

La revista *Tecnura* es una publicación institucional de la Facultad Tecnológica de la Universidad Francisco José de Caldas, de carácter científico-tecnológico con periodicidad trimestral, que se publica los meses de enero, abril, julio y octubre. Su primer número apareció en el segundo semestre del año 1997 y hasta la fecha ha mantenido su regularidad.

Las áreas temáticas de interés de la revista *Tecnura* están enfocadas a todos los campos de la ingeniería, como la electrónica, telecomunicaciones, electricidad, sistemas, industrial, mecánica, catastral, civil, ambiental, entre otras. Sin embargo, no se restringe únicamente a estas, también tienen cabida los temas de educación y salud, siempre y cuando estén relacionados con la ingeniería. La revista publica únicamente artículos de investigación científica y tecnológica, de reflexión y de revisión. En consecuencia, durante la fase de evaluación editorial inicial se rechazarán los artículos cortos y reportes de caso.

La revista *Tecnura* está dirigida a docentes, investigadores, estudiantes y profesionales interesados en la actualización permanente de sus conocimientos y el seguimiento de los procesos de investigación científico-tecnológica, en el campo de las ingenierías. Tiene como misión divulgar resultados de proyectos de investigación realizados en el área de las ingenierías, a través de la publicación de artículos originales e inéditos, realizados por académicos y profesionales pertenecientes a instituciones nacionales o extranjeras del orden público o privado. Los artículos presentados deben ser trabajos inéditos escritos en español o inglés; sin embargo, tendrán preferencia los artículos que muestren conceptos innovadores de gran interés, que traten sobre asuntos relacionados con el objetivo y cobertura temática de la revista.

Tecnura es una publicación de carácter académico indexada en los Índices Regionales Scielo Colombia (Colombia) y Redalyc (México), además de las siguientes bases bibliográficas: INSPEC del

Institution of Engineering and Technology (Inglaterra), Fuente Académica Premier de EBSCO (Estados Unidos), CABI (Inglaterra), Index Copernicus (Polonia), Informe Académico de Gale Cengage Learning (México), Periódica de la Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (España) y Dialnet de la Universidad de la Rioja (España). También hace parte de los siguientes directorios: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Latindex (México), Índice Bibliográfico Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (España), DOAJ (Suecia), Ulrich de Proquest (Estados Unidos).

Tecnura es una revista arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. La periodicidad de la conformación de sus comités Científico y Editorial está sujeta a la publicación de artículos en revistas indexadas internacionalmente por parte de sus respectivos miembros.

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas, sus directivas, el Editor, el Comité Editorial y Científico no son responsables por la opinión y criterios expresados en el contenido de los artículos y estos se publican bajo la exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial.

Además de la versión impresa, la revista Tecnura tiene también una versión digital disponible en su página web: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

TIPOS DE ARTÍCULOS ACEPTADOS

De acuerdo con la clasificación del Índice Nacional de Publicaciones Científicas y Tecnológicas

(Publindex-Colciencias), la revista Tecnura recibe postulaciones de artículos inéditos de los siguientes tipos:

Artículos de investigación científica y tecnológica: documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.

Artículo de revisión: documento resultado de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de las 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 al menos 50 referencias.

FORMATO DEL ARTÍCULO

Del lenguaje y estilo apropiado para la redacción de artículos

- Deben emplearse estructuras de oraciones simples, evitando las que sean demasiado largas o complejas.
- El vocabulario empleado debe ser básico y común. Los términos técnicos deben explicarse bre-

vemente; asimismo, el significado de las siglas debe presentarse la primera vez que estas aparezcan en el texto.

- Los autores son responsables de que su trabajo sea conducido de una manera profesional y ética.

De la extensión de los documentos

Los artículos no deben tener una extensión de más de 25 páginas en tamaño carta y a doble espacio, con márgenes simétricas de 3 cm. Solo en el caso de los artículos de revisión las 25 páginas no incluyen las referencias bibliográficas.

Del formato de presentación

Los artículos presentados deben ser trabajos inéditos escritos en español o inglés y deben digitalizarse en Microsoft Word (2003 en adelante), cumpliendo con las siguientes indicaciones:

Letra *Times New Roman* de 12 puntos (a excepción de que se requiera lo contrario para algunos apartados).

- Una columna a doble espacio.
- Todas las márgenes de 3 cm.
- Los párrafos se justifican, y no debe haber espacio entre los consecutivos.
- No incluir saltos de página o finales de sección.
- Si se desea resaltar palabras o frases del texto, no usar letra negrita sino letra cursiva.
- Los decimales se deben señalar con coma (,) y no con un punto.
- Los millares y millones se deben señalar con un espacio fino.
- Evitar las notas de pie de página.
- Se debe utilizar nomenclatura arábica hasta el tercer nivel únicamente.

De la estructura del documento

Los trabajos deben tener la siguiente estructura y cumplir con los siguientes requisitos:

Composición de un artículo

Todos los artículos remitidos para su evaluación y posible publicación por parte de la revista *Tecnura* deben tener por lo menos los siguientes componentes:

- Título en español e inglés.
- Información de los autores.
- Resumen en español e inglés.
- Palabras clave en español e inglés.
- Introducción.
- Conclusiones.
- Trabajo futuro (opcional).
- Agradecimientos (opcional).
- Referencias bibliográficas.

Si el artículo es de investigación científica y tecnológica deben tener, además de lo anterior, los siguientes componentes:

- Metodología.
- Resultados.
- Financiamiento.

Título

El título del artículo deberá ser corto o dividido en título y subtítulo, atractivo para el lector potencial y escrito en mayúscula sostenida. Este debe aparecer centrado entre las márgenes, escrito con letra *Times New Roman*, en negrita, tamaño de fuente 18. El título del artículo debe ir en español e inglés separado por un espacio doble. Máximo 20 palabras.

Autores

Después del título debe escribirse el (los) nombre(s) completo(s) del (los) autor(es), acompañado de los datos biográficos básicos: título de pregrado, título de posgrado, ocupación o cargo, afiliación institucional (institución donde labora), dependencia, ciudad, país y correo electrónico. La información anterior debe ir inmediatamente debajo del nombre del autor.

Resumen

Debe establecer el objetivo y alcance del trabajo, una descripción clara y concisa de la metodología, los resultados y las conclusiones obtenidas. Máximo 250 palabras.

Palabras clave

Debe escogerse entre tres y diez palabras clave, escritas en español con letra *Times New Roman*, en negrita y cursiva.

Las palabras clave deben estar escritas en orden alfabético y ser de uso estandarizado, para lo cual se sugiere utilizar bases de datos internacionales según el área del conocimiento. Por ejemplo, en el área de Eléctrica y Electrónica se sugiere utilizar el tesoro de la UNESCO que se pueden encontrar en la página: <http://databases.unesco.org/thessp>.

Abstract

Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés del texto que aparece en el resumen en español.

Keywords

Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés de la lista de palabras clave en español.

Las *keywords* deben estar escritas en el orden de las palabras clave y ser de uso estandarizado, para lo cual se sugiere utilizar bases de datos internacionales según el área del conocimiento. Por ejemplo, en el área de Eléctrica y Electrónica se sugiere utilizar los Tesoros de la IEEE y/o World Bank que se pueden encontrar en las siguientes páginas respectivamente: http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy_v101.pdf, <http://multites.net/mtsql/wb/site/default.asp>

Introducción

Debe describir el planteamiento general del trabajo, así como contexto, antecedentes, estado de arte de la temática abordada, objetivo y posible alcance del trabajo.

Metodología

La redacción de este apartado debe permitir a cualquier profesional especializado en el tema replicar la investigación.

Resultados

Explicación e interpretación de los hallazgos. Si es necesario, se puede presentar una discusión breve y enfocada a la interpretación de los resultados.

Conclusiones

Implicación de los resultados y su relación con el objetivo propuesto.

Financiamiento

Mencionar la investigación asociada de la cual se derivó el artículo y la entidad que avaló y financió

dicha investigación.

Agradecimientos

Preferiblemente deben ser breves y deben incluir los aportes esenciales para el desarrollo del trabajo.

Ecuaciones

Deben aparecer centradas con respecto al texto principal. Las ecuaciones deben ser referenciadas con números consecutivos (escritos entre paréntesis cerca al margen derecho). Las ecuaciones se citan en el texto principal empleando la palabra ecuación y seguida del número entre paréntesis. Las ecuaciones deben ser elaboradas en un editor de ecuaciones apropiado y compatible con el paquete de software InDesign, por ejemplo, el editor de ecuaciones de Windows.

Tablas

Para el caso de realización de tablas se recomienda que estas no sean insertadas como imágenes, considerando que en este formato no pueden ser modificadas. El encabezado de cada tabla debe incluir la palabra Tabla (en negrita) seguida del número consecutivo correspondiente y de un breve nombre de la tabla. El encabezado debe estar escrito con letra Times New Roman, en cursiva y tamaño de fuente 9.

No se presentan cuadros sino tablas y estas se deben levantar automáticamente desde el procesador de textos. Las tablas deben ir nombradas y referenciadas en el artículo, en estricto orden. Toda tabla debe tener en su parte inferior la fuente de la que fue tomada, o mencionar que es autoría de los autores si es el caso.

Figuras

Todas las figuras o fotografías deben enviarse en formato PNG o TIFF con una resolución mínima de 300 DPI, adaptadas a escala de grises.

El pie o rótulo de cada figura debe incluir la palabra Figura (en negrita) seguida del número consecutivo correspondiente y de una breve descripción del contenido de la figura. El pie de figura debe estar escrito con letra Times New Roman, en cursiva y tamaño de fuente 9. Las figuras deben ir nombradas y referenciadas en el artículo, en estricto orden. Toda figura debe tener también la fuente de la que fue tomada, o mencionar que es autoría de los autores si es el caso.

Símbolos

Los símbolos de las constantes, variables y funciones en letras latinas o griegas –incluidos en las ecuaciones– deben ir en cursiva; los símbolos matemáticos y los números no van en cursiva. Se deben identificar los símbolos inmediatamente después de la ecuación. Se deben utilizar las unidades,

dimensiones y símbolos del sistema internacional.

Cuando se empleen siglas o abreviaturas, se debe anotar primero la equivalencia completa, seguida de la sigla o abreviatura correspondiente entre paréntesis y en lo subsecuente se escribe solo la sigla o abreviatura respectiva.

Referencias bibliográficas

El estilo de citación de referencias adoptado por la revista *Tecnura* es APA sexta edición. Las citas, referencias bibliográficas e infografía se incluyen al final del artículo. Las referencias bibliográficas deben ordenarse alfabéticamente de acuerdo con el primer apellido del primer autor, sin numeración.

Solo deben aparecer las referencias que fueron citadas en el texto principal del trabajo, en las tablas o en las figuras. Es decir, en la lista no deben aparecer otras referencias aunque hayan sido consultadas por los autores para la preparación del trabajo. Sugerimos utilizar herramientas como: *Citas y bibliografía de Microsoft Word* (para APA sexta edición versión 2013 o superior), *Zotero*, *Mendeley*, entre otras.

El llamado de una referencia bibliográfica se inserta en el texto, en el punto pertinente, bajo ciertas características:

- Si la oración incluye el apellido del autor, solo se debe escribir la fecha dentro de un paréntesis, ejemplo:
Cuando Vasco (2012), analizó el problema de presentado en . . .
- Cuando no se incluye el autor en la oración, debe ir entre el paréntesis el apellido y la fecha. La investigación de materiales dio una visión en el área (Martínez, 2012).
- Si el documento u obra tiene más de dos autores, se debe citar la primera vez con todos los apellidos. 1990. (Fernández Morales, Villa Krieg & Caro de Villa, 2008) . . .
- En las menciones siguientes, solo se debe escribir el primer apellido del autor, seguido de un “et al”. En cuanto al estudio de las aguas, Fernández Morales et al. (2008) encontraron que . . .
- Cuando el documento u obra tiene más de seis autores, se debe utilizar desde la primera mención el “et al”.

A continuación se describen una serie de ejemplos de las referencias más utilizadas, según el estilo de referencias adoptado por la revista *Tecnura*:

Publicaciones Periódicas:

Forma Básica

Apellidos, A. A., Apellidos, B. B. & Apellidos, C. C. (Fecha). Título del artículo. Título de la publicación, volumen (número), pp. xx-xx. doi: xx.xxxxxxx

Artículo básico

Guevara López, P., Valdez Martínez, J., Agudelo González, J., & Delgado Reyes, G. (2014). Aproximación numérica del modelo epidemiológico SI para la propagación de gusanos informáticos, simulación y análisis de su error. *Revista Tecnura*, 18(42), 12 -23. doi: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.4.a01>

Artículo web

Rodríguez Páez, S., Fajardo Jaimes, A., & Páez Rueda, C. (2014). Híbrido rat-race miniaturizado para la banda ISM 2,4 GHZ. *Revista Tecnura*, 18(42), 38-52. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/8059/9675>

Libros:

Forma Básica

Apellidos, A. A. (Año). Título. Ciudad: Editorial.

Apellidos, A. A. (Año). Título. Recuperado de <http://www.xxxxxx.xxx>

Apellidos, A. A. (Año). Título. doi: xx.xxxxxxxx

Apellidos, A. A. (Ed.). (Año). Título. Ciudad: Editorial.

Libro con autor

Goleman, D. (2000). *La inteligencia emocional: Por qué es más importante que el cociente intelectual*. México: Ediciones B.

Libro con editor

Castillo Ortiz, A. M. (Ed.). (2000). *Administración educativa: Técnicas, estrategias y prácticas gerenciales*. San Juan: Publicaciones Puertorriqueñas

Libro versión electrónica:

Montero, M. & Sonn, C. C. (Eds.). (2009). *Psychology of Liberation: Theory and applications*. [Versión de Springer]. doi: 10.1007/978-0-387-85784-8

Informe técnico

Forma Básica

Apellidos, A. A. (Año). Título. (Informe Núm. xxx). Ciudad: Editorial

Informe con autores

Weaver, P. L., & Schwagerl, J. J. (2009). *U. S. Fish and Wildlife Service refuges and other nearby reserves in Southwestern Puerto Rico. (General Technical Report IITF-40)*. San Juan: International Institute

of Tropical Forestry.

Informe de una agencia del gobierno

Federal Interagency Forum on Child and Family Statistics. America's Children: Key National Indicators of Well-Being, 2009. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. Recuperado de <http://www.childstats.gov/pubs/index.asp>

Tesis

Forma Básica

Apellidos, A. A. (Año). Título. (Tesis inédita de maestría o doctorado). Nombre de la institución, Localización.

Tesis inédita, impresa

Muñoz Castillo, L. (2004). *Determinación del conocimiento sobre inteligencia emocional que poseen los maestros y la importancia que le adscriben al concepto en el aprovechamiento de los estudiantes*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Metropolitana, San Juan, PR.

Tesis de base de datos comercial

Santini Rivera, M. (1998). *The effects of various types of verbal feedback on the performance of selected motor development skills of adolescent males with Down syndrome*. (Tesis doctoral). Disponible en la base de datos ProQuest Dissertations and Theses. (AAT 9832765).

Tesis web

Aquino Ríos, A. (2008). *Análisis en el desarrollo de los temas transversales en los currículos de español, matemáticas, ciencias y estudios sociales del Departamento de Educación*. (Tesis de maestría, Universidad Metropolitana). Recuperado de http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf

Estándares o patentes

Forma Básica

Apellidos, A. A. Título de la patente. País y número de la patente. Clasificación de la patente, fecha de concesión oficial. Número y fecha de solicitud de la patente, paginación.

Hernández Suárez, C. A., Gómez Saavedra, V. A., & Peña Lote, R. A. Equipo medidor de indicadores de calidad del servicio de energía eléctrica para usuario residencial. Colombia., 655. G4F 10/0, 15 de Marzo 2013. 27 de Octubre 2011, 147

ENVÍO DE ARTÍCULOS

Los autores deben enviar sus artículos a través de la aplicación para tal fin del Open Journal System

en formato digital, adjuntando la carta de presentación y el formato de información artículo-autores.

Carta de presentación

El artículo debe ir acompañado de una carta de presentación dirigida al director y editor de la revista, Ing. Cesar Augusto García Ubaque, donde incluya:

- Solicitud expresa de considerar su artículo para publicarlo en la revista Tecnura.
- Título completo del trabajo.
- Nombres completos de todos los autores del trabajo.
- Certificación de la originalidad y el carácter inédito del trabajo.
- Exclusividad de su remisión a la revista Tecnura.
- Confirmación de la autoría con la firma de todos los autores.

Esta carta deberá estar firmada por todos los autores, escanearse y enviarse junto con los demás documentos solicitados.

Formato de información artículo-autores

El artículo además debe ir acompañado de un formato de información sobre el artículo y sus autores, el cual se puede descargar de la página web de la revista Tecnura: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>, en la sección "Formatos y Documentos". Es importante completar todos los campos de información solicitados, algunos de ellos tienen comentarios para aclarar mejor lo que se está solicitando. El formato no debe escanearse.

Artículo

Artículo en formato digital (Word 2003 en adelante) que cumpla con todas las normas de presentación descritas en el capítulo 3, "Formato del artículo", de la presente en las instrucciones a los autores.

PROCEDIMIENTO PARA LA PUBLICACIÓN

El procedimiento que sigue la revista Tecnura para la evaluación y posible publicación de los trabajos enviados por los autores es el siguiente en orden cronológico:

1. Envío del artículo acompañado de la carta de presentación y el formato de información por parte de los autores.
2. Notificación al autor de correspondencia de la recepción del artículo.
3. Verificación del tema del artículo con respecto a las áreas de interés de la revista.

4. Verificación de las normas de presentación por parte del monitor de la revista.
5. Notificación al autor de correspondencia de la evaluación de las normas de presentación.
6. Envío de las correcciones realizadas por los autores con respecto a la evaluación de las normas de presentación
7. Envío del artículo a los árbitros seleccionados.
8. Notificación del inicio del proceso de arbitraje del artículo.
9. Notificación a los autores de la decisión tomada por el Comité Editorial y de las evaluaciones hechas por los árbitros.
10. Envío de las correcciones realizadas por los autores con respecto a las evaluaciones de los árbitros.
11. Estudio de la versión final del artículo y de las evaluaciones de los árbitros por parte del Comité Editorial.
12. Envío por parte de los autores de la carta de cesión de derechos al editor de la revista.
13. Envío de la versión con corrección de estilo y diagramada a los autores.
14. Verificación de errores y aprobación final de la versión con corrección de estilo y diagramada por parte de los autores.
15. Publicación del artículo en el número correspondiente de la revista Tecnura.
16. Notificación a los autores de la publicación del número de interés.
17. Envío de un ejemplar de la revista a cada autor del artículo publicado.

PROCESO DE ARBITRAJE DE ARTÍCULOS

Considerando la periodicidad trimestral de la revista, el Comité Editorial realiza cuatro convocatorias anuales para la recepción de artículos, aproximadamente en los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre. Los artículos serán recibidos hasta la fecha máxima establecida en cada convocatoria.

Una vez recibidos los artículos el monitor de la revista realizará una primera evaluación de forma para verificar que cumplan con todos los elementos mencionados en esta guía de instrucciones a los autores. Luego de recibir nuevamente el artículo con las correcciones de forma solicitadas por el monitor de la revista, este será sometido a evaluación por tres pares académicos (paulatinamente se espera incorporar un mayor número de pares externos que participen en el proceso).

Cada artículo remitido a la revista *Tecnura* es revisado por dos pares académicos externos a la institución de los autores, mediante un proceso de “revisión entre pares” (*Peer-review*) de doble-ciego, garantizando el anonimato de los autores y evaluadores; se considera confidencial todo trabajo recibido y así se le exige a sus evaluadores.

Las posibles conclusiones de los resultados de la evaluación por parte de los árbitros son únicamente tres: publicar el artículo sin modificaciones, publicar el artículo con modificaciones o no publicar el artículo.

Posteriormente, el Comité Editorial toma la decisión de publicar o no los artículos, con base en los resultados de las evaluaciones realizadas por los árbitros asignados. En caso de existir contradicciones en las evaluaciones con respecto a la publicación de un artículo, el Comité Editorial enviará el artículo a un tercer árbitro y se inclinará por las dos evaluaciones que tengan el mismo concepto respecto a la publicación del artículo.

En cada convocatoria el autor de correspondencia debe sugerir al menos cuatro posibles evaluadores externos a su institución laboral, los cuales deben ser especialistas en el tema específico del artículo remitido, tener al menos maestría y por lo menos dos deben ser internacionales. Los posibles evaluadores pueden pertenecer a una universidad o industria, pública o privada; de estos se debe proporcionar el nombre completo, su formación académica más alta, su afiliación institucional y su correo electrónico. Estos cuatro potenciales evaluadores serán analizados por el Comité Editorial a fin de ampliar la base de datos de los árbitros de la revista *Tecnura*.

El Comité Editorial de la revista *Tecnura* se reserva los derechos de impresión, reproducción total o parcial del artículo, así como el de aceptarlo o rechazarlo. Igualmente, se reserva el derecho de hacer cualquier modificación editorial que estime conveniente; en tal caso el autor recibirá por escrito recomendaciones de los evaluadores. Si las acepta, deberá entregar el artículo con los ajustes sugeridos dentro de las fechas fijadas por la revista para garantizar su publicación dentro del número programado.

CONTACTO

Para cualquier solicitud de información adicional puede comunicarse a través del correo electrónico de la revista *Tecnura*: tecnura@udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com, o por mensajería con el Ing. Cesar Augusto García Ubaque, Director y Editor de la revista *Tecnura*, a la dirección:

Revista *Tecnura*
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.
Facultad Tecnológica
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Transversal 70 B N. 73 a 35 sur
Teléfono: 571 – 3239300 Extensión: 5003



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Instrucciones para los autores

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/about/submissions>

Celular: 57-3153614852

Bogotá D.C., Colombia

Email:

tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com

Página web:

<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

CONTENT

- Scope and editorial policy of the journal
- Type of accepted articles
- Article format
- Article submission
- Publication procedure
- Article arbitration
- Contact

Tecnura journal is an institutional publication of the Faculty of Technology from University Francisco José de Caldas. It is a scientific and technological publication with quarterly periodicity, which is published in January, April, July and October. The first issue appeared in the second semester of 1997 and up to now it has maintained its regularity.

The areas of interest of Tecnura journal are focused on all engineering fields such as electronics, telecommunications, electricity, systems, industrial, mechanics, cadastral, civil, environmental, among others. However, it is not restricted to those; it also has room for education and health issues, as long as they are related to engineering. The journal will only publish concerning scientific and technological research, reflection and revision. In consequence, during the initial editorial evaluation, short articles and case reports will be rejected.

Tecnura Journal is addressed for professors, researchers, students and professionals interested in permanent update of their knowledge and follow-up of scientific-technologic processes in the field of engineering. Tecnura Journal has as mission to disseminate results of research projects in the areas of engineering, through the publication of original and unpublished articles, conducted by academics and professionals accredited by public or private national or foreign institutions. Articles submitted to Tecnura journal must be unpublished works written in Spanish or English; nevertheless, preference will be given to articles that show innovative concepts of great interest, related to the objective and scope of the journal.

Tecnura is an academic publication indexed in the Regional Index Scielo Colombia (Colombia) and Redalyc (México); as well as of the following bibliographic databases: INSPEC of the Institution of Engineering and Technology (England), Fuente Académica Premier of EBSCO (United States), CABI (England), Index Copernicus (Poland), Informe Académico of Gale Cengage Learning (México), Periódica from the Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (Spain) and Dialnet from the Universidad de la Rioja (Spain). It is also part of the following directories: Online

Regional Information System for Scientific journals from Latin America, Caribbean, Spain and Portugal Latindex (México), Bibliographic Index Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (Spain), DOAJ (Sweden) and Ulrich of Proquest (United States).

Tecnura is a journal arbitrated by a revision process among double blind peers. The schedule of the conformation of its scientific and editorial committee is subject to the publication of articles in internationally indexed journals by their members.

District University Francisco José de Caldas, its directors, the editor, the editorial and scientific committee are not responsible for the opinions and the criteria expressed in the content of the articles and they are published under the exclusive responsibility of the authors and do not necessarily reflect the ideas of the editorial committee.

In addition to the printed version, Tecnura journal also has a digital version available in its web page: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>

TYPE OF ARTICLES ACCEPTED

According to the classification of the Scientific and Technological Publications National Index (Publindex-Colciencias), Tecnura journal receives nominations of unpublished articles on the following topics:

- **Scientific and technological research articles:** document that presents, in a detailed manner, the original results of research projects. The generally used structure contains four main parts: introduction, methodology, results and conclusions.
- **Reflection articles:** document that presents research results from an analytic, interpretative or critic perspective from the author, dealing with a specific topic and adopting original sources.
- **Review article:** document that results from a research where the results of published or unpublished research on a science or technology field are analyzed, systematized and integrated, in order to state the advances and tendencies in development. It is characterized for presenting a careful bibliographical review of at least 50 references.

ARTICLE FORMAT

About the appropriate language and style for articles writing

- Authors must use simple sentence structures, avoiding those too long or complex.
- The vocabulary used must be basic and common. Technical language must be briefly explained; also, the meaning of the acronyms must be given the first time they appear in the text.
- The authors are responsible for their work to be conducted in a professional and ethic manner.

About the length of articles

The articles should not exceed 25 pages in letter size and double space, with symmetric margins of 3 cm. Only in the case of review articles, these 25 pages do not include references.

About the presentation format

Submitted articles must be unpublished works written in Spanish or English, and must be typed in Microsoft Word (2003 and beyond), complying with the following indications:

- *Times New Roman* letter, 12 point (except it is required for some sections).
- One column, double-spaced.
- All the margins 3 cm.
- Paragraphs should be justified without spaces between consecutives and without cutting words.
- Do not include page breaks or section finals.
- If you want to emphasize words or phrases from the text, do not use bold letters but italic.
- Decimals should be pointed with comma (,) and not with period (.).
- Thousands and millions should be pointed with a fine space.
- Avoid footnotes.
- Arabic nomenclature must be used only until the third level.

About the article structure

The papers must have the following structure and comply with the following requirements:

Composition of an article

All the articles submitted for evaluation and possible publication by the Tecnura Journal must have at least the following components:

- Title in Spanish and English.
- Information about the authors.
- Abstract in Spanish and English.
- Key words in Spanish and English.
- Introduction.
- Conclusions.

- Future work (optional).
- Acknowledgements (optional).
- Bibliographical references.

If the article is related to scientific and technological research must have, in addition to the above, the following components:

- Methodology.
- Results.
- Financing.

Title

The title of the article must be short or divided in title and subtitle, attractive for the potential reader and written in capital letters. It should appear centered between the margins, written in *Times New Roman* letter, in bold, font size 18. The title of the article has to be in Spanish and English separated by double space. Maximum 20 words.

Authors

After the title the complete name(s) of the author(s) must be written, with their basic biographical data: undergraduate degree, graduate degree, occupation or position, institutional affiliation (institution where they work), dependency, city, country and e-mail. The above information must be immediately below the author's name.

Abstract

The scope and purpose of the work must be established giving a clear and concise description of the methodology, results presented and the conclusions obtained. Maximum of 250 words.

Keywords

Between three and ten keywords must be chosen, written in English with *Times New Roman* letter in bold and italic.

Key words must be written in alphabetic order and must be as standard as possible, for which it is suggested the use of international databases according to the area of knowledge. For example, in the area of Electrics and Electronics it is suggested to use the IEEE thesaurus and World Bank thesaurus that can be accessed at the following web pages respectively:

http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy_v101.pdf

<http://multites.net/mtsql/wb/site/default.asp>

Abstract in Spanish

Translation to the Spanish language of the text that appears in the abstract, it must be correct and precise.

Keywords in Spanish

Translation to the English language of the keywords in Spanish, they must be correct and precise.

Keywords must be written in the order of the English version and must be as standard as possible, for which it is suggested the use of international databases according to the area of knowledge. For example, in the area of Electrics and Electronics it is suggested to use the UNESCO thesaurus that can be found at the following web pages:

<http://databases.unesco.org/thessp>

Introduction

The general idea of the work must be described, its context, backgrounds, state of the art of the topic, objectives and possible scope of the work.

Methodology

The writing of this part must allow any specialized professional in the topic to replicate the research.

Results

Explanation and interpretation of the findings. If necessary, a brief discussion focused on the interpretation of the results can be presented.

Conclusions

Implication of the results and their relation to the proposed objective.

Financing

Mention the associated research from which the article was derived and the entity that endorsed and financed the research.

Acknowledgments

They should preferably be brief and include the essential contributions for the development of the paper.

Equations

Equations must appear centered with respect to the main text. They must be referenced with consecutive numbers (written in parenthesis close to the right margin). Equations are cited in the main text employing the word equation, and followed by the number in parenthesis. Equations must be made in an appropriate equation editor and compatible with "InDesign" software, as for example the equation editor of Windows.

Tables

In the case of implementation of tables, it is recommended that these are not inserted as images, considering that in that format they cannot be modified. The title of each table must include the word table (in italic) followed by the corresponding consecutive number and a brief name of the table. The heading must be written in TNR letter, italic and font size 9.

Charts are not presented but tables and they should be automatically raised from the text processor. Tables should be named and referenced in the article, in strict order. Every table must have at the bottom the source from which it was taken, or to mention self-authorship if it is the case.

Figures

All the figures or pictures have to be sent in JPG or PNG format with a minimum resolution of 300 DPI, adapted to gray scale.

The footnote or name of each figure must include the word figure (in italic) followed by the corresponding consecutive number and a brief description of the content of the figure. The footnote of the figure must be written in Times New Roman letter, italic and font size 9. Figures must be named and referenced in the article, in strict order. Every figure must have at the bottom the source from which it was taken, or to mention self-authorship if it is the case.

Symbols

The symbols of the constants, variables and functions in Latin or Greek letters –included in the equations- must be in italic; the mathematical symbols and the numbers do not go in italic. The symbols must be identified immediately after the equation. Units, dimensions and symbols of the international system must be used.

When using acronyms or abbreviations, the complete equivalence should be written first, followed by the corresponding acronym or abbreviation in parenthesis and from there it is only written the respective acronym or abbreviation.

Bibliographic references

The adopted reference citation style by Tecnura journal is APA sixth edition. The cites, bibliographic references and infography are included in the last part of the article. The bibliographic references must be alphabetically ordered according to the author's first surname, without numbering.

There should only appear the cited references in the main body of the work, in tables or in figures. It means, in the list there should not appear other references although they have been consulted by the authors for the work preparation. We suggest using tools such as: Cites and bibliography from Microsoft Word (for APA sixth edition version 2013 or superior), Zotero, Mendeley, among others.

The call for a bibliographic reference is inserted in the text, at the pertinent point, under certain characteristics:

- If the sentence includes the author's surname, it should only be written the date into a parenthesis, for instance:
Cuando Vasco (2012), analizó el problema de presentado en
- When the author is not included in the sentence, surname and date must be into a parenthesis.
La investigación de materiales dio una visión en el área (Martínez, 2012).
- If the document or work has more than two authors, the first cite must include all the surnames.
1990. (Fernández Morales, Villa Krieg & Caro de Villa, 2008)
- In the following mentions, it must only be written the author's first surname, followed by "et al.". En cuanto al estudio de las aguas, Fernández Morales et al. (2008) encontraron que . . .
- When the document or work has more than six authors, it must be used from the first mention "et al."

Next it is described a series of examples of the more used references, according to the reference style adopted by Tecnura journal:

Periodical Publications:

Basic Form

Surnames, A. A., Surnames, B. B. & Surnames, C. C. (Date). Article's title. Title of the publication, volume (number), pp. xx-xx. doi: xx.xxxxxxx

Basic article

Guevara López, P., Valdez Martínez, J., Agudelo González, J., & Delgado Reyes, G. (2014). Aproximación numérica del modelo epidemiológico SI para la propagación de gusanos informáticos, simulación y análisis de su error. Revista Tecnura, 18(42), 12-23. doi:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.4.a01>

Web article

Rodríguez Páez, S., Fajardo Jaimes, A., & Páez Rueda, C. (2014). Híbrido rat-race miniaturizado para la banda ISM 2,4 GHZ. Revista Tecnura, 18(42), 38-52. Recuperado de <http://revistas.>

Books:

Basic Form

Surnames, A. A. (Year). Title. City: Editorial.

Surnames, A. A. (Year). Title. Recovered from <http://www.xxxxxx.xxx>

Surnames, A. A. (Year). Title. doi: xx.xxxxxxxx

Surnames, A. A. (Ed.). (Year). Title. City: Editorial.

Book with author

Goleman, D. (2000). La inteligencia emocional: Por qué es más importante que el cociente intelectual. México: Ediciones B.

Book with editor:

Castillo Ortiz, A. M. (Ed.). (2000). Administración educativa: Técnicas, estrategias y prácticas gerenciales. San Juan: Publicaciones Puertorriqueñas.

Book electronic version:

Montero, M. & Sonn, C. C. (Eds.). (2009). Psychology of Liberation: Theory and applications. [Versión de Springer]. doi: 10.1007/978-0-387-85784-8

Technical report:

Basic Form

Surnames, A. A. (Year). Title. (Report No. xxx). City: Editorial

Report with authors

Weaver, P. L., & Schwagerl, J. J. (2009). U. S. Fish and Wildlife Service refuges and other nearby reserves in Southwestern Puerto Rico. (General Technical Report IITF-40). San Juan: International Institute of Tropical Forestry.

Report from a Government agency

Federal Interagency Forum on Child and Family Statistics. America's Children: Key National Indicators of Well-Being, 2009. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. Recuperado de <http://www.childstats.gov/pubs/index.asp>

Thesis

Basic form

Surnames, A. A. (Year). Title. (Unpublished master or doctorate thesis). Institution name, Location.

Unpublished thesis, printed

Muñoz Castillo, L. (2004). *Determinación del conocimiento sobre inteligencia emocional que poseen los maestros y la importancia que le adscriben al concepto en el aprovechamiento de los estudiantes*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Metropolitana, San Juan, PR.

Commercial database thesis

Santini Rivera, M. (1998). *The effects of various types of verbal feedback on the performance of selected motor development skills of adolescent males with Down syndrome*. (Tesis doctoral). Disponible en la base de datos ProQuest Dissertations and Theses. (AAT 9832765).

Web thesis

Aquino Ríos, A. (2008). *Análisis en el desarrollo de los temas transversales en los currículos de español, matemáticas, ciencias y estudios sociales del Departamento de Educación*. (Tesis de maestría, Universidad Metropolitana). Recuperado de http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf

Standards or patents

Basic form

Surnames, A. A. Title of the patent. Country and number of the patente. Classification of the patent, date of official license. Number and date of patent request, pagination.

Hernández Suárez, C. A., Gómez Saavedra, V. A., & Peña Lote, R. A. Equipo medidor de indicadores de calidad del servicio de energía eléctrica para usuario residencial. Colombia., 655. G4F 10/0, 15 de Marzo 2013. 27 de Octubre 2011, 147

ARTICLE SUBMISSION

Authors must submit their articles through the application Open Journal System in digital format, attaching the cover letter and the article-authors format.

Cover letter

The article must be submitted with a cover letter addressed to the director and editor of the journal, Engineer Cesar Augusto Garcia Ubaque, including:

- Specific request to consider your article to be published in Tecnura journal.
- Full title of the article.
- Full names of all the authors of the paper.

-
- Certification of the originality and unpublished character of the paper.
 - Exclusivity of submission to Tecnura journal.
 - Authoring confirmation with signature of all the authors.

This letter must be signed by all the authors, scanned and sent with the remaining requested documents.

Article-authors information format

The article has to be submitted with an information format about the article and its authors which can be downloaded from the web page of Tecnura journal <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>, in the section "Forms and Documents". It is important to complete all the fields of information requested, some of them have comments to clarify better what is being requested. The format must not be scanned.

Article

Article in digital format (Word 2003 and later editions) that complies with all the presentation rules described in chapter three, "Article structure", of this guide of instructions for authors.

PUBLICATION PROCEDURE

The procedure to be followed by Tecnura journal for the evaluation and possible publication of the papers sent by the authors is the following in chronological order:

1. Delivery of the article with the cover letter and the information format by the authors.
2. Notification to the author about the reception of the article.
3. Verification of the presentation rules by the monitor of the journal.
4. Notification to the author about the evaluation of the presentation rules.
5. Submission of corrections made by the authors related to the evaluation of presentation rules.
6. Submission of the articles to the selected arbitrators.
7. Notification of the beginning of the arbitration process of the article.
8. Notification to the authors about the decision made by the editorial committee, and about the evaluations made by the arbitrators.
9. Delivery of the corrections made by the authors with respect to the evaluations made by the arbitrators.

10. Study of the final version of the article and the evaluations of the arbitrators by the editorial committee.
11. Delivery by the authors of the letter that surrenders right to the editor of the journal.
12. Submission of the version with style corrections and diagrammed to the authors.
13. Verification of errors and final approval of the version with style corrections and diagrammed by the authors.
14. Publication of the article in the corresponding number of Tecnura journal.
15. Notification to the authors of the number of interest.
16. Delivery of a copy of the journal to each one of the authors of the published article.

ARTICLE ARBITARION PROCESS

Considering the quarterly periodicity of the journal, the Editorial Committee makes four calls every year for the submission of articles, approximately in the months of February, May, August and November. The articles will be received until the date established in the call.

Once received the articles, the monitor of the journal will make an initial form evaluation to verify the completion of the elements mentioned in this guide of instructions to authors. After receiving again the article with the requested corrections by the journal's monitor, the paper will be submitted to evaluation by three academic peers (through time it is expected to include more external peers to participate in the process).

Each article sent to Tecnura journal is checked by two expert academic peers external to the institution of the authors, by a process of "Peer-review" of double blind, guaranteeing the anonymity of authors and evaluators; every paper sent is considered confidential and so it is demanded to evaluators.

Possible conclusions of the result of the evaluation by the judges are only three: publish the article without modifications, publish the article with modifications and not publish the article.

Subsequently, the Editorial Committee takes the decision to publish or not the articles, based on the results of the evaluations made by the assigned arbitrators. In case of contradictions in the evaluations with respect to the publication of an article, the editorial committee will send the article to a third peer and will be inclined for the two evaluations that have the same concept with respect to the publication of the article.

In each call the main author must suggest at least four possible external arbitrators to his work institution evaluators, who must be specialists in the specific topic of the article sent and must have at least Masters level, and at least two must to be international. Potential evaluators can belong to

a university or industry, public or private; their complete names must be provided, highest academic formation, institutional affiliation and e-mail. The editorial committee will analyze these four potential evaluators in order to enrich the database of arbitrators of Tecnura journal.

The Editorial Committee of Tecnura journal reserves the right to print, reproduce total or partially the article, as the right to accept or reject it. In the same way, it has the right to make any editorial modification that considers necessary; in this case the author will receive written recommendations from the evaluators. If accepted, authors must deliver the article with the suggested adjustments within the dates given by the journal to guarantee its publication in the programmed number.

CONTACT

For any additional information request, please send an e-mail to Tecnura journal tecnura@udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com or by mail to Cesar Augusto Garcia Ubaque, Director and Publisher of Tecnura Journal, to the following address:

Tecnura Journal

Journals Room, Block 5, Office 305.

Faculty of Technology

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Transversal 70 B N. 73 a 35 sur

Phone: 571-3239300 Extension: 5003

Mobile: 57-3153614852

Bogotá D.C., Colombia

Email:

tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com

Web page:

<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>