

---

## Editorial

---

### Investigación

- 17 Parameter Determination of Coupled and Decoupled Admittance Matrix Methods of the Norton Equivalent Model for an Air Extractor  
Alejandra Martínez Peñaloza, German Osma-Pinto, Gabriel Ordóñez-Plata
- 35 Firefly Algorithm for Facility Layout Optimization  
Luisa Fernanda Vargas Pardo, Frank Nixon Giraldo-Ramos
- 49 Modelo en gerencia de proyectos para pymes de consultoría informática en Bogotá, basado en marcos ágiles de trabajo  
Yeraldin Arias Battle, Guillermo Roa Rodríguez
- 70 Reconocimiento de lengua de señas colombiana mediante redes neuronales convolucionales y captura de movimiento  
Juan José Gutiérrez Leguizamón, Jimmy Alejandro Plazas López, Marco Javier Suárez Barón, Juan Sebastián González Sanabria
- 87 Comparative Methods for Solving Optimal Power Flow in Distribution Networks Considering Distributed Generators: Metaheuristics vs. Convex Optimization  
Oscar Danilo Montoya Giraldo, Karen Julieth Bohórquez-Bautista, Daniel Alejandro Moreno-Arias, Walter Gil-González

---

### Estudio de caso

- 130 Evaluación de dos tipos de adsorbentes para la recuperación de vapores de hidrocarburos generados en Plantel de Recope en Ochoyogo  
Laura Vanessa Quesada Carvajal, Rafael Isaac Amón Pérez
- 149 Evaluación del número de publicaciones en ciencias de la computación en Suramérica en un periodo de veinte años  
Luis Fernando Restrepo Betancur
- 165 Ubicación de un operador logístico para varios periodos de un horizonte de planeación utilizando programación lineal  
Humberto Guerrero Salas

---

### Revisión

- 190 From Sustainable Development to Social Responsibility: A perspective of Scientific Production Indicators and General Interest in Spanish  
José Andrés Gómez Romero, Rosa-María Rivas-García, Adriana Valencia-Valencia, Hugo-Armando Fragoso-Cano, Omar García-Jiménez, José-Carlos-Alberto Ortíz-Acle
- 213 Human Activity Recognition via Feature Extraction and Artificial Intelligence Techniques: A Review  
José Camilo Eraso Guerrero, Elena Muñoz España, Mariela Muñoz Añasco
- 
- 237 Instructions for authors
- 250 Instrucciones para autores

# Tecnura

V.26  
N.74

Vol. 26 Núm. 74 • Octubre - Diciembre de 2022 • Bogotá, Colombia • Publicación trimestral - ISSN: 0123-921X • e-ISSN-e 2248-7638



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
Facultad Tecnológica

Revista Tecnura • Volumen 26 – Número 74 • Octubre - Diciembre de 2022  
ISSN (impreso): 0123-921X • e-ISSN: 2248-7638 • Bogotá D.C. Colombia



# Tecnura

Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica

Volumen 26 - Número 74  
Octubre - Diciembre de 2022

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

## EDITOR

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

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

Ph.D. Ing. Steven M. LaValle  
University of Illinois, Estados Unidos

## COMITÉ EDITORIAL

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

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

Ph.D. Ing. César Augusto Hernández Suárez  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

## EVALUADORES

Ph.D. Ing. Carlos Alberto Ramírez-Vanegas  
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

Ph.D. Ing. Edgar Francisco Vargas  
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Isaac Céspedes Camacho  
Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

Ph.D. Ing. Ingrid Patricia Páez Parra  
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. Jaime Francisco Pantoja Benavides  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. Johan José Sánchez Mora  
Universidad Simón Bolívar, Venezuela

Ph.D. Ing. Javier Antonio Ballesteros Ricaurte  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. José Antonio Velásquez Costa  
Universidad Ricardo Palma, Perú

Ph.D. Ing. Lucas Frizzera Encarnação  
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Ph.D. Ing. Mario Ricardo Arbulu Saavedra  
Universidad de La Sabana, Colombia

Ph.D. Ing. Luis Fernando Grisales Noreña  
Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colombia

Ph.D. Diego Luis González  
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italia

Ph.D. Nelson Antonio Moreno Monsalve  
Universidad EAN, Colombia

Ph.D. Julyan Cartwright  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España

Ph.D. Rocío Soto Flores  
Instituto Politécnico Nacional, Mexico

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

Ph.D. Ing. Yulieth Jimenez Manjarres  
Electricificadora de Santander – ESSA, Colombia

## COMITÉ CIENTÍFICO

Ph.D. Ing. Alfonso Prieto Guerrero  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

M. Carlos Bruno Fiscal  
Universidad De Sinaloa, Mexico

M. Gustavo Cáceres Castellanos  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. Enrique Rodríguez de la Colina  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

M. Ing. Jairo Naicipa Ojalora  
SENA, Colombia

M. Jorge Luis Martelo Gaviria  
Universidad EAN, Colombia

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

M. Moctezuma Xicoténcatl Sumuano Martínez  
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Mexico

Ph.D. Ing. Jorge Mario Gómez  
Universidad de Los Andes, Colombia

M. Ing. Orlando De Antonio Suarez  
Universidad Libre De Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. Juan Antonio Conesa  
Universidad de Alicante, España

## ASISTENTES DE LA REVISTA

Lizeth Viviana Urrea

## COORDINACIÓN EDITORIAL

Fernando Piraquive  
Centro de investigaciones y desarrollo tecnológico–CIDC  
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), IndexCernicus (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 Ing. Cesar Augusto García Ubaque  
Ph.D. Director y Editor Revista Tecnura  
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305  
Facultad Tecnológica  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Transversal 70B No. 73A-35 sur  
Teléfono: 571-3239300  
Celular: 57-3153614852  
Bogotá, D.C., Colombia  
Correo electrónico:  
[tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co)  
Tecnura en internet:  
<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

## CORRECCIÓN DE ESTILO PARA ESPAÑOL

Fernando Carretero Padilla

## CORRECCIÓN DE ESTILO PARA INGLÉS

Laura Ximena García

## DISEÑO DE CUBIERTA

Andrés Enciso

## DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X\*

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. Ing. César Augusto García Ubaque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

## EDITORIAL COMMITTEE

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. César Augusto Hernández Suárez  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. Edgar Francisco Vargas  
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Ingrid Patricia Pérez Parra  
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. Johan José Sánchez Mora  
Universidad Simón Bolívar, Venezuela

Ph.D. Ing. José Antonio Velásquez Costa  
Universidad Ricardo Palma, Perú

Ph.D. Ing. Mario Ricardo Arbulu Saavedra  
Universidad de La Sabana, Colombia

Ph.D. Diego Luis González  
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italia

Ph.D. Julyan Cartwright  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España

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

## SCIENTIFIC COMMITTEE

Ph.D. Ing. Alfonso Prieto Guerrero  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Enrique Rodríguez de la Colina  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

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

Ph.D. Ing. Jorge Mario Gómez  
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Juan Antonio Conesa  
Universidad de Alicante, España

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

Ph.D. Ing. Steven M. LaValle  
University of Illinois, Estados Unidos

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

## EVALUATORS

Ph.D. Ing. Carlos Alberto Ramírez-Vanegas  
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

Ph.D. Isaac Céspedes Camacho  
Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

Ph.D. Ing. Jaime Francisco Pantoja Benavides  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. Javier Antonio Ballesteros Ricaurte  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. Lucas Frizera Encarnação  
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Ph.D. Ing. Luis Fernando Grisales Noreña  
Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colombia

Ph.D. Nelson Antonio Moreno Monsalve  
Universidad EAN, Colombia

Ph.D. Rocio Soto Flores  
Instituto Politécnico Nacional, Mexico

Ph.D. Ing. Yulieth Jimenez Manjarres  
Electricadora de Santander - ESSA, Colombia

M. Carlos Bruno Fiscal  
Universidad De Sinaloa, Mexico

M. Gustavo Cáceres Castellanos  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia

M. Ing. Jairo Naicipa Otalora  
SENA, Colombia

M. Jorge Luis Martelo Gaviria  
Universidad EAN, Colombia

M. Moctezuma Xicoténcatl Sumuano Martínez  
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Mexico

M. Ing. Orlando De Antonio Suarez  
Universidad Libre De Colombia, Colombia

## TECNURA JOURNAL ASSISTANTS

Lizeth Viviana Urrea

## EDITORIAL COORDINATION

Fernando Piraquive  
Centro de investigaciones y desarrollo tecnológico-CIDC  
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

Send to Engr. Cesar Augusto García Ubaque, Ph.D.

Director and Editor Revista Tecnura

Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305

Faculty of Technology

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Transversal 70B No. 73A - 35 sur

Telephone Number: 571 - 3239300

Cell phone Number: 57 - 3153614852

Bogotá D.C., Colombia

E-mail:

[tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co)

Tecnura on internet:

<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

## STYLE CORRECTION IN SPANISH

Fernando Carretero Padilla

## STYLE CORRECTION IN ENGLISH

Laura Ximena García

## TITLE PAGE DISEGN

Andrés Enciso

## LAYOUT AND L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X\* 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.



## Editorial

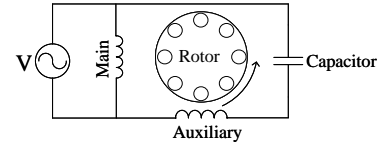
12

### Parameter Determination of Coupled and Decoupled Admittance Matrix Methods of the Norton Equivalent Model for an Air Extractor

17

Determinación de parámetros de métodos de matriz de admitancia acoplada y desacoplada del modelo Equivalente Norton para extractor de aire

Martínez-Peñaloza., A. Osma-Pinto., G. y Ordóñez-Plata., G.

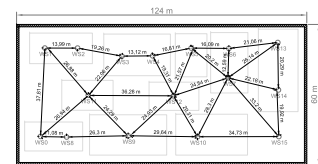


### Firefly Algorithm for Facility Layout Optimization

35

Algoritmo luciérnaga para la optimización de distribución en planta

Vargas-Pardo.,L.F. y Giraldo-Ramos., F.N.

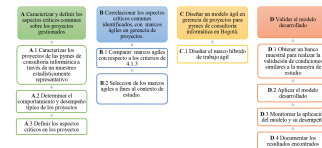


### Project management model for IT consulting SMEs in Bogotá, based on agile frameworks

49

Modelo en gerencia de proyectos para pymes de consultoría informática en Bogotá, basado en marcos ágiles de trabajo

Arias Battle., Y. y Roa Rodríguez., G.

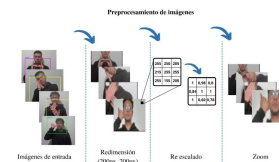


### Colombian sign language recognition using convolutional neural networks and motion capture

70

Reconocimiento de lengua de señas colombiana mediante redes neuronales convolucionales y captura de movimiento

Plazas López., J.A. Gutiérrez Leguizamón., J.J. Suárez Barón., M.J. y González Sanabria., J.S.

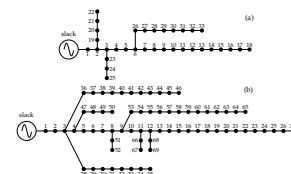


### Comparative Methods for Solving Optimal Power Flow in Distribution Networks Considering Distributed Generators: Metaheuristics vs. Convex Optimization

87

Métodos comparativos para la solución óptima del flujo de energía en redes de distribución considerando generadores distribuidos: metaheurística vs. optimización convexa

Bohórquez-Bautista., K.J. Moreno-Arias., D.A. Montoya-Giraldo., O.D. y Gil-González., W.J.

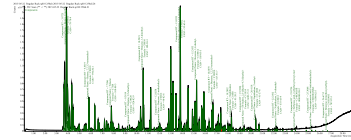




**E**valuation of two types of adsorbents for the recovery of hydrocarbon vapors generated at the RECOPE plant in Ochomogo **130**

Evaluación de dos tipos de adsorbentes para la recuperación de vapores de hidrocarburos generados en Plantel de Recope en Ochomogo

Quesada-Carvajal., L.V. y Amón-Pérez., R.I.



**E**valuation of the number of publications in computer science in South America in a period of 20 years **149**

Evaluación del número de publicaciones en ciencias de la computación en Suramérica en un periodo de veinte años

Restrepo-Betancur., L.F.

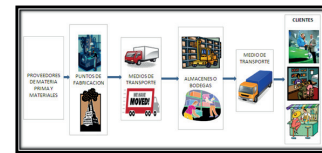
Tabla 1. Producción total de documentos por país y tema en Suramérica

Tema	ARG	BOL	BRA	CHI	COL	ECU	PER	URU	VEN
T1	1284	18	10425	1224	1490	491	19	136	396
T2	453	4	404	818	543	89	3	40	154
T3	253	1	325	287	303	48	13	44	69
T4	1596	17	1481	1524	1464	144	83	644	105
T5	3423	26	2370	4226	3428	1328	88	504	380
T6	561	2	326	508	881	252	18	148	147
T7	492	4	541	412	521	210	26	151	117
T8	307	4	1425	446	744	133	8	134	85
T9	948	23	915	1138	1214	707	44	279	182
T10	925	4	584	667	490	156	20	112	129
T11	2223	22	19330	2126	1997	491	88	149	433
Total	16	1	1	1	1	1	1	1	1

**L**ocation of a logistics operator for several periods of a planning horizon via linear programming **165**

Ubicación de un operador logístico para varios periodos de un horizonte de planeación mediante programación lineal

Guerrero Salas., H.



**F**rom Sustainable Development to Social Responsibility: A perspective of Scientific Production Indicators and General Interest in Spanish **190**

Del desarrollo sostenible a la responsabilidad social: una perspectiva de indicadores de producción científica e interés general en español

Gómez-Romero., J.A Rivas-García., R.M. Valencia-Valencia., A. Fragoso-Cano., H.A. García-Jiménez., O. y Ortiz-Acle., J.C.



**H**uman Activity Recognition via Feature Extraction and Artificial Intelligence Techniques: A Review **213**

Reconocimiento de actividades humanas por medio de extracción de características y técnicas de inteligencia artificial: una revisión

Eraso-Guerrero., J.C. Muñoz-España., E. y Muñoz-Añasco., M.

Table 2. Databases of human falls

Database	Videos	Data provided	Environment	Population	Type of falls
UKFD [10]Cobb & Kapadia (2014)	70 videos, 20 falls, and 40 daily activities	RGB depth images, depth, and accelerometer signals	Indoors	Adult people	Simple falling, walking, standing and sitting on a chair
IEE [11]Zhang et al. (2019)	100 videos, 40 falls and daily activities	RGB images	Realistic indoors, home environments, and offices with variable lighting, occlusion, and cluttered and textured background	Adult people	Simple, walking, standing, and sitting three-chairs

**I**nstrucciones para los autores **237**

**I**nstructions for authors **250**

**H**ace unos años, como parte de una sesión de trabajo conjunta entre las diferentes salas de la comisión nacional de calidad de educación superior del Ministerio de Educación Nacional en Colombia, el padre Gerardo Remolina, ex-Rector de la Universidad Javeriana; presentó sus reflexiones sobre CALIDAD Y PERTINENCIA DE LA EDUCACIÓN DESDE UNA PERSPECTIVA HUMANA. Su intervención continua siendo oportuna, y pertinente para nuestra Universidad Distrital; y es por ello he querido presentar en estas líneas, algunos aspectos importantes de su intervención, con el ánimo de contribuir a la reflexión permanente y la búsqueda de esos elementos que nos permitan materializar su misión: “formar profesionales, con bases sólidas que estén en capacidad de llevar a cabo, de forma autónoma, competente y ética, diferentes procesos de adaptación tecnológica, producción académica, e investigaciones originales, tanto en la industria como en la academia, para contribuir así a su desarrollo personal, familiar y de la sociedad en general”.

“El hablar de educación, es hablar del ser humano en cuanto tal y de su integridad. De nada valdría tener una educación que formara excelentes científicos y técnicos sin un soporte y una consistencia verdaderamente humanos”. En Colombia se ha venido insistiendo en la formación técnica y tecnológica como imprescindible y de gran importancia para el país. Sin embargo, ligado a esta insistencia, existe el peligro de caer en el inmediateismo pragmático, que privilegia los resultados a corto plazo en el campo de la innovación tecnológica, y descuida una visión que tenga como meta la formación humana. Se pretende, decía el padre Remolina; la humanización de los robots, y por otra, la robotización de los seres humanos. Esto es hacer robots dotados de inteligencia artificial, de sentimientos, de afectividad y aún de la capacidad de tomar decisiones responsables (éticas); y paradójicamente, hacer de los seres humanos robots cada vez más funcionales y efectivos, que a la manera de artefactos mecánicos o electrónicos, realicen operaciones altamente eficaces, económicamente productivas y competitivas para un mundo cuyo ideal se ha forjado a partir de expectativas materiales y utilitaristas; donde lo verdaderamente humano se ha venido silenciando o ha sido puesto al margen de nuestras intenciones.

Este problema de la concepción de educación no es exclusivo de los países en desarrollo; también se da en países desarrollados, como los Estados Unidos de Norteamérica o los países de la Unión Europea, determinados por la competitividad y la innovación, y guiados estos últimos por la famosa “Carta de Bolonia” por la cual los Ministros de Educación constituyeron “La Europa del conocimiento”. Ésta, según Reiser, transformó a la universidad europea en una “Fábrica de aprendizaje”, alterando de manera nefasta su esencia. El nuevo sistema trata de “estrategias de mercado”, de “capacidad para la competitividad”, de “procedimientos de reclutamiento de estudiantes y profesores” (no de su vocación), de “gerencia de las instituciones universitarias”, de la “creación de espacios de mercado basados en el conocimiento”, de



“eficiencia”, de “sinergias”, del “potencial para la innovación y desarrollo social y económico”. En ningún lugar se trata del espíritu que se forma con la educación. Nunca se habla de que el saber, el conocimiento y la sabiduría son valores que el ser humano procura y ama por sí mismos. Según el profesor Reiser, “este documento (la carta de Bolonia), manifiesta un espíritu de triste materialismo y utilitarismo”.

Es necesario tomar conciencia de la gravedad de lo que está ocurriendo y corregir el rumbo, con frecuencia implícito, que se ha venido trazando. La respuesta a la pregunta sobre los aportes de las ciencias, las artes y las humanidades para una educación con calidad y pertinencia para todos, parece ser obvia: no se trata de contraponer o excluir ciencias o disciplinas, sino de integrarlas. La educación con calidad debe propender por una auténtica formación integral del ser humano, en la que las ciencias, las artes y las humanidades no sean simples aportes, sino elementos constitutivos. A ella deben contribuir no sólo las ciencias, sino también las artes y todas las disciplinas, especialmente las Ciencias Humanas y Sociales; y de manera especial la Ética, la Pedagogía, la Psicología, la Antropología, y la Filosofía. La formación integral, no debe centrarse tanto en las ciencias o en las disciplinas, sino en la persona misma, en las facultades y en las estructuras fundamentales del ser humano. No es una integración desde fuera, sino desde dentro; es decir, el núcleo de integración no puede ser otro que la persona.

Reflexionar, sobre la educación y su calidad, exige que cada época se interrogue críticamente acerca del modelo de ser humano, de sociedad y de cultura que desea realizar, para contrastarlo con el modelo explícito o implícito, o con la ausencia de modelo, que de hecho está implementando. Es decir, exige una seria reflexión ética y moral como algo absolutamente imprescindible. Cuál es el modelo de ser humano que pretende formar nuestra sociedad colombiana? Y ¿Cómo lo fundamenta o justifica? Lo anterior hace evidente que quien colabora en el proceso de educación (docente o institución), debería tener muy claros y definidos su modelo antropológico, sus principios éticos, sus valores e ideales. La formación integral implica una concepción del hombre en su conjunto: es decir, implica una antropología y una visión del mundo o cosmovisión. Pero ¿sobre quién recae la responsabilidad definitiva de la formación integral? En últimas, sobre el sujeto mismo del proceso formativo, es decir, sobre la persona y, en nuestro caso, sobre el estudiante. Es claro también que las instituciones educativas no pueden ir más allá de orientar y estimular el proceso, de abrir horizontes, y de ofrecer posibilidades y ayudas.

Pero lo anterior plantea, de todas maneras la pregunta por los contenidos de la formación integral. En este sentido, la formación integral no puede confundirse con la articulación de determinadas asignaturas en un plan de estudios. Aunque hoy en día se distingue con mayor claridad lo que es un currículo de lo que es un plan de estudios, con mucha frecuencia para nosotros los ingenieros, esta diferencia no es clara. La formación integral puede descansar en



# Editorial

<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/issue/view/1129>

---

un currículo, pero no en un plan de estudios, ni siquiera en un plan de estudios humanísticos. El asunto no es el de combinar de manera complementaria diversas asignaturas “humanísticas” con las asignaturas propias de una profesión, ni el de darle a ésta un cierto sabor humanista combinado la enseñanza técnica.

Cesar Augusto García Ubaque 

DIRECTOR

[cagarciau@udistrital.edu.co](mailto:cagarciau@udistrital.edu.co)

A few years ago, as part of a joint working session in the Quality National Commission for Higher Education in Education Ministry in Colombia, Priest Gerardo Remolina, ex Rector of Javeriana University presented his reflections about QUALITY AND RELEVANCE OF EDUCATION FROM A HUMAN PERSPECTIVE. His speech seemed very timely and relevant for our University; and that is why I want to review some of its most important aspects, in contributing to the permanent reflection and search for those elements that allow us to carry out our mission: "To educate professionals with solid foundations, able to carry out, independently, competent and ethical, different processes of technological adaptation, academic production, and original research in both industry and academia to contribute to their personal and family development and the society in general".

"Talk about education is to speak of human being itself and his integrity. It would be worthless to have an education that forms excellent scientists and technicians without a support and consistency truly human". In Colombia has been insisting on technical and technological training as an essential and important for the country. However, linked to this insistence, there is a danger of falling into the pragmatic immediacy that favors short-term results in the field of technological innovation, and neglects a vision that has as its goal the human formation. Priest Remolina said that humans are intend humanization of robots on one side, and robotizing of humans for other. This means, to make robots endowed with artificial intelligence, feelings, emotions and even the ability to make responsible (ethical) decisions; and paradoxically, make human beings more and more functional and effective robots, that, like mechanical or electronic devices, can make highly efficient operations, economically productive and competitive for a world whose ideal is forged from material and utilitarian expectations; where the truly human has been silenced or been placed regardless of our intentions.

This problem of the education concept is not exclusive to developing countries; also occurs in developed countries like the United States or the European Union countries, determined by the competitiveness and innovation, and guided, these last ones, by the famous "Bologna Letter" by which the Ministers of Education constituted "the Europe of knowledge". This, according Reiser, transformed the European university in a "Learning factory", altering in a nefarious way its essence. The new system is about: "market strategies", "capacity for competitiveness", "students and teachers recruitment procedures" (not their vocation), "universities management", "creating market spaces based on knowledge", "efficiency", "synergies" and "potential for innovation and social and economic development". Nobody talks about the spirit that forms with education. Nobody talks about that knowledge and wisdom are values that the mankind seeks and loves itself. According to Professor Reiser "this document (Bologna Letter), manifests a sad spirit of materialism and utilitarianism".



It is necessary to be aware of the seriousness of what is happening and correct the course, often implicit, that has been traced. The answer to the question about the contributions of science, the arts and humanities for an education with quality and relevance for all, it seems obvious: it is not to oppose or exclude sciences or disciplines, but to integrate them. Quality education must advocate for an authentic integral human formation in the sciences, arts and humanities contributions are not simple, but constituent elements. To this objective contribute not only science, but also the arts and all disciplines, especially the humanities and social sciences; and specifically ethics, pedagogy, psychology, anthropology, and philosophy. Comprehensive training should not focus on the sciences or disciplines, but on the individual, on the capacities and the fundamental structures of the human being. It is not integration from outside but inside out; the core of integration cannot be other than the person himself.



Reflect on education and its quality, requires each epoch be questioned critically about the human being model, society and culture to perform, to contrast with the explicit or implicit model or the absence of model, which actually is implemented. That requires serious ethical and moral reflection as absolutely essential. What is the human model which aims to train our Colombian society? And, how it is justified or based? This makes clear that who helps the educational process (teacher or institution) should have very clear and defined its anthropological model, its ethical principles, values and ideals. The integral training involves a conception of man as a whole: implies an anthropological and a worldview. But, who holds the ultimate responsibility for integral training? Ultimately, on the subject of the educational process itself, in our case, about the student. It is also clear that educational institutions cannot go beyond guiding and stimulating the process, of opening horizons and possibilities and offer aid.

But the above raises the question anyway for the contents of the integral training. In this sense, the integral formation cannot be confused with articulation of certain subjects in a curriculum. Although today is distinguished more clearly what is a curriculum and what is a studies plan, very often for us engineers, this difference is not clear. The integral formation can rest on a curriculum, but not in studies plan, even in a humanistic studies plan. The issue is not to combine in a complementary way "humanistic subjects" with the characteristics courses of a profession, nor to give it some humanist flavor with technical training.

Cesar Augusto García-Ubaque   
DIRECTOR  
[cagarciau@udistrital.edu.co](mailto:cagarciau@udistrital.edu.co)

## Parameter Determination of Coupled and Decoupled Admittance Matrix Methods of the Norton Equivalent Model for an Air Extractor

Determinación de parámetros de métodos de matriz de admitancia acoplada y desacoplada del modelo Equivalente Norton para extractor de aire

Alejandra Martínez-Peñaloza <sup>1</sup>, German Osma-Pinto <sup>2</sup>, Gabriel Ordóñez-Plata <sup>3</sup>

Fecha de Recepción: 19 de enero de 2022

Fecha de Aceptación: 04 de julio de 2022

**Cómo citar:** Martínez-Peñaloza, A. Osma-Pinto, G. y Ordóñez-Plata, G. (2022). Parameter Determination of Coupled and Decoupled Admittance Matrix Methods of the Norton Equivalent Model for an Air Extractor. *Tecnura*, 26(74), 17-34. <https://doi.org/10.14483/22487638.18806>

### Abstract

**Context:** Studies carried out in low voltage networks have explored the modeling of linear single-phase loads (such as motors) and non-linear ones (such as those based on power electronics). However, induction motors exhibit non-linear characteristics between voltage and current due to the saturation of their magnetic parts. Therefore, it is necessary to study induction motors in the frequency domain with a model that allows reviewing the characteristic nonlinearity of their voltage-current interaction.

**Methodology:** This article presents the frequency domain modeling of a single-phase induction motor used as a silent air extractor (127 V, 60 Hz, 66 W), which presents a capacitive behavior ( $f_p = 0,93$  in leading) and harmonic distortion due to a third-order component (7,0%) when fed with a pure sinusoidal voltage of 127 V.

**Results:** This work establishes the parameters of two approaches to the Norton equivalent model (coupled and decoupled admittance matrix) which are used to estimate the distorted current signal and the values of consumed active and non-active power. The results show comparisons errors of P, Q, THDi, and NRMSE indices of less than 7, 4, 14, and 3%, respectively.

**Conclusions:** The parameters of the Norton equivalent model estimated for the single-phase induction motor allow calculating the current signal with a high degree of precision. This signal exhibits nonlinear characteristics and a capacitive behavior due to the permanent presence of a capacitor aiding the start and operation of the engine.

<sup>1</sup>Electrical Engineer, Electrical Engineering Master's and PhD student at Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

Email: [alejandra2198146@correo.uis.edu.co](mailto:alejandra2198146@correo.uis.edu.co)

<sup>2</sup>Electrical and Industrial Engineering, Master's in Electrical Engineering, PhD in Engineering. Assistant Professor and researcher at Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

Email: [gealosma@uis.edu.co](mailto:gealosma@uis.edu.co)

<sup>3</sup>Electrical Engineer, PhD in Industrial Engineering. Associate Professor and researcher at Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

Email: [gaby@uis.edu.co](mailto:gaby@uis.edu.co)

**Funding:** MINCIENCIAS

**Keywords:** harmonic distortion, load modeling, Norton model, single-phase motor, NRMSE

## Resumen

**Contexto:** Estudios realizados en redes de baja tensión han explorado el modelado de cargas monofásicas lineales (como motores) y no lineales (como dispositivos basados en electrónica de potencia). No obstante, los motores de inducción presentan características no lineales entre tensión y corriente debido a la saturación de sus partes magnéticas. Por ello es necesario estudiar el motor de inducción en el dominio de la frecuencia con un modelo que permita revisar la no linealidad característica de su interacción tensión-corriente.

**Metodología:** Este artículo presenta el modelado en el dominio de la frecuencia de un motor de inducción monofásico usado como extractor de aire silencioso (127 V, 60 Hz, 66 W), el cual presenta un comportamiento capacitivo ( $f_p = 0,93$  en adelanto) y distorsión armónica debido a una componente del tercer orden (7,0%) al ser alimentado con una tensión sinusoidal pura de 127 V.

**Resultados:** Este trabajo establece los parámetros de dos enfoques del modelo equivalente de Norton (matriz de admitancias acoplada y desacoplada) usados para estimar la señal de corriente distorsionada y los valores de potencia activa y no activa consumidas. Los resultados muestran errores de comparación de P, Q, índices THDi y NRMSE menores al 7, 4, 14 y 3% respectivamente.

**Conclusiones:** Los parámetros del modelo equivalente de Norton estimados para el motor de inducción monofásico permiten calcular con un alto grado de precisión la señal de corriente, la cual presenta características no lineales y un comportamiento capacitivo por la presencia permanente de un capacitor que ayuda al arranque y funcionamiento del motor.

**Financiamiento:** MINCIENCIAS

**Palabras clave:** distorsión armónica, modelado de cargas, modelo de Norton, motor monofásico, NRMSE

## Table of Contents

	Page
<b>Introduction</b>	<b>19</b>
<b>Methodology</b>	<b>20</b>
Norton equivalent model . . . . .	20
Characteristics of the selected load . . . . .	21
Experimental assembly . . . . .	22
Test scenarios . . . . .	22
Power parameters and total harmonic distortion indices (THD) estimation . . . . .	23
Training and validation of the model . . . . .	23
<b>Results</b>	<b>24</b>
Analysis of power parameters . . . . .	24
Norton equivalent model parameters . . . . .	26

Model validation . . . . .	27
Power errors, NRMSE, and THDi indices analysis . . . . .	27
<b>Conclusions</b>	<b>30</b>
<b>Funding</b>	<b>30</b>
<b>Acknowledgments</b>	<b>30</b>
<b>References</b>	<b>31</b>

## INTRODUCTION

In recent years, the massive use of devices that affect the quality of the supply voltage waveform by introducing harmonic distortion in distribution networks has increased. Some single-phase loads that cause such distortion are fluorescent and LED lights, battery chargers, variable speed drives, PV inverters, computers, and TVs, among other devices that use wave rectifiers (Bosovic *et al.*, 2016, Busatto *et al.*, 2019, Dghim *et al.*, 2018, Roy *et al.*, 2020, Soni & Soni, 2014).

Moreover, there are devices which are regarded as harmonic sources for their non-linear voltage-current characteristics, such as saturated transformers, arc furnaces, and over-excited induction motors (Chang *et al.*, 2004 ). The intensive use of these non-linear devices in the network produces negative effects on it and in devices connected to it, such as the heating of conductors and components, equipment malfunction, and interference in communication equipment, among others (Blanco *et al.*, 2015, Brunoro *et al.*, 2017, Marulanda *et al.*, 2017, Moreno-Cañón *et al.*, 2014, Roy *et al.*, 2020, Soni & Soni, 2014).

Therefore, researchers have focused their efforts on understanding and modeling the behavior of non-linear loads, particularly single-phase induction motors (SPIM) since they are most used in industrial and household applications, as is the case of compressors, air conditioners, heating-circulating pumps, fans, centrifugal, sewing and washing machines, etc. (Chasiotis & Karnavas, 2020, Sharma & Singh, 2021).

Arif *et al.*, 2018 presented a state of the art of load modeling, which relates that an induction motor can be studied with a dynamic load model (IM), a complex load model (CLOD), or a circuit model based on wave rectifiers. Pérez-Londoño *et al.*, 2015 compiled methodologies to obtain composite load models and proposed one based on measurements which allows reproducing the dynamic nature of a load against a disturbance.

However, the inherent nonlinearities in the electromagnetic construction of these motors make their modeling and design difficult. Models in the frequency domain are used to represent the behavior of the non-linear voltage-current characteristics of the load. The most commonly used models are the current source model and the harmonic impedance model (Chang *et al.*, 2004 ). These help estimate the impact of voltage and current signals on the waveform and have proven be effective in

modeling non-linear loads, regardless of the characteristics of the distribution network (Caicedo *et al.*, 2017b, Fölting *et al.*, 2014, Ge, X & Liu, 2020, Guo *et al.*, 2019, Meyer *et al.*, 2016, Xiao *et al.*, 2017).

Although there are single-phase induction motors with a current waveform showing significant percentages of the third harmonic component due to the saturation of their magnetic elements (Soni & Soni, 2014), the application of frequency-domain models to study their nonlinear characteristics is rather scarce. Hasan & Parida, 2018 presented the modeling and analysis of a single-phase induction motor to study the effects of this kind of loads on a microgrid by using a two-axis model. Cale *et al.*, 2020 described an experiment to optimally obtain the parameters of a single-phase induction motor with a starter capacitor. Yao *et al.*, 2020 used the two-axis modeling of a single-phase motor to propose a speed control method with the purpose of improving its performance and efficiency.

For this reason, the objective of this work was to use the Norton equivalent model in order to model the behavior of a single-phase induction motor used as an air extractor with non-linear voltage-current characteristics. To this effect, two approaches were applied, *i.e.*, the Norton model with both coupled and decoupled admittance matrix (Caicedo *et al.*, 2017a, Fölting *et al.*, 2014, Senra *et al.*, 2017, Tavukcu *et al.*, 2019).

Likewise, the model parameters found were evaluated via the Training approach, and the models were validated from the estimation errors in the active and non-active power parameters, as well as by calculating the NRMSE error and THDi index, considering four specific stress signals.

## METHODOLOGY

This section presents the Norton equivalent model approaches used, the methodology for acquiring data from an experimental setup in a laboratory, the characteristics of the selected load, the test scenarios used to validate the load model, and the mathematical approach used to estimate the power parameters and current harmonic distortion indices (THDi).

### Norton equivalent model

Nassif *et al.*, 2010 proposed the solution of the Norton equivalent model from two approaches that consider the dependence between the harmonic distortions in voltage and current. The general expression of the model is  $\bar{I} = \bar{I}_{ref} + \bar{Y} \cdot \Delta\bar{V}$ , where  $\bar{I}$  is the current vector,  $\bar{I}_{ref}$  is the reference current vector,  $\Delta\bar{V}$  are the variations of the voltage signal, and  $\bar{Y}$  is the admittance matrix, whose dimensions are  $H$  for the highest odd harmonic components of the current signals and  $K$  for the highest odd harmonic components of the voltage signals.

Equation (1) describes the coupled admittance matrix model approach and Equation (2) the decoupled admittance matrix one.

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_3 \\ \vdots \\ \bar{I}_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{I}_{ref\ 1} \\ \bar{I}_{ref\ 3} \\ \vdots \\ \bar{I}_{ref\ H} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{Y}_{1,1} & \bar{Y}_{1,3} & \dots & \bar{Y}_{1,K} \\ \bar{Y}_{3,1} & \bar{Y}_{3,3} & \dots & \bar{Y}_{3,K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{Y}_{H,1} & \bar{Y}_{H,3} & \dots & \bar{Y}_{H,K} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\bar{V}_1 \\ \Delta\bar{V}_3 \\ \vdots \\ \Delta\bar{V}_K \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_3 \\ \vdots \\ \bar{I}_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{I}_{ref\ 1} \\ \bar{I}_{ref\ 3} \\ \vdots \\ \bar{I}_{ref\ H} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{Y}_{1,1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \bar{Y}_{3,3} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \bar{Y}_{H,K} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\bar{V}_1 \\ \Delta\bar{V}_3 \\ \vdots \\ \Delta\bar{V}_K \end{bmatrix} \quad (2)$$

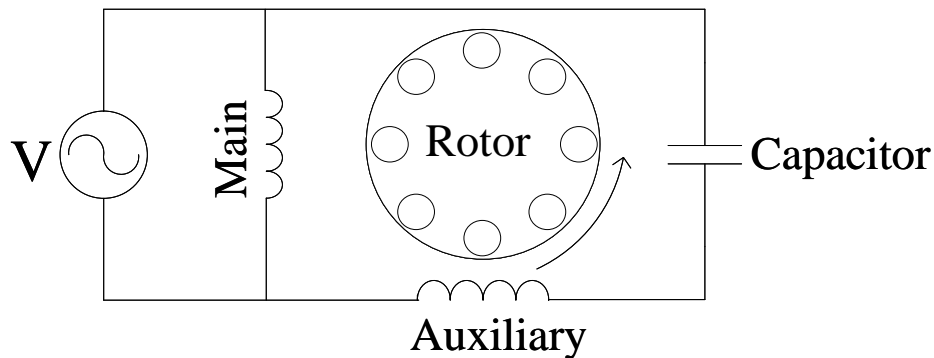
To obtain the parameters of the model, the matrix approach of the general equation  $\bar{I} = \bar{I}_{ref} + \bar{Y} \cdot \Delta\bar{V}$  must be carried out as follows:  $[\bar{I}] = [\bar{I}_{ref}\bar{Y}][1/\Delta\bar{V}] = [\bar{I}_{ref}\bar{Y}][\bar{A}]$ . Now, clearing the concatenated matrix  $[\bar{I}_{ref}\bar{Y}]$  from the general equation yields Equation (3), which can be applied to obtain the parameters with m measurements performed in the laboratory.

$$\underbrace{[\bar{I}_{ref}\bar{Y}]}_{H,K+1} = \underbrace{[\bar{I}]}_{H,m} \underbrace{[\bar{A}^T]}_{m,K+1} \left[ \underbrace{[\bar{A}]}_{K+1,m} \underbrace{[\bar{A}^T]}_{m,K+1} \right]^{-1} \quad (3)$$

### Characteristics of the selected load

The studied motor is a permanent split capacitor single-phase induction motor (PSCM), in which the main and auxiliary windings are connected to the power supply. Moreover, a capacitor in series is connected to the auxiliary winding for starting and running the motor.

Figure 1 shows the basic circuit diagram of a PSC single-phase induction motor.



**Figure 1.** Circuit diagram of a PSC single-phase induction motor

**Source:** Authors.

Moreover, the studied motor is a TD-SILENT 500/150-160 silent centrifugal air extractor, (127 V, 66 W, and 2.466 RPM). This extractor is used as a forced ventilation instrument in the intelligent air conditioning system installed in the interior spaces of a building located in the central campus of Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga, Colombia).

## Experimental assembly

Figure 2 shows the experimental setup for the study of the selected load. A Chroma programmable source, a PQube3 network analyzer, and a computer were used. The 1.500 VA Chroma 61701 source (3P-N-G) allows distorted signals to be generated. The PQube3 Class 0,2 s network analyzer is a monitoring instrument with features to identify power quality problems, which was configured to acquire 128 samples per cycle at a fundamental frequency of 60 Hz for the measured voltage and current signals.

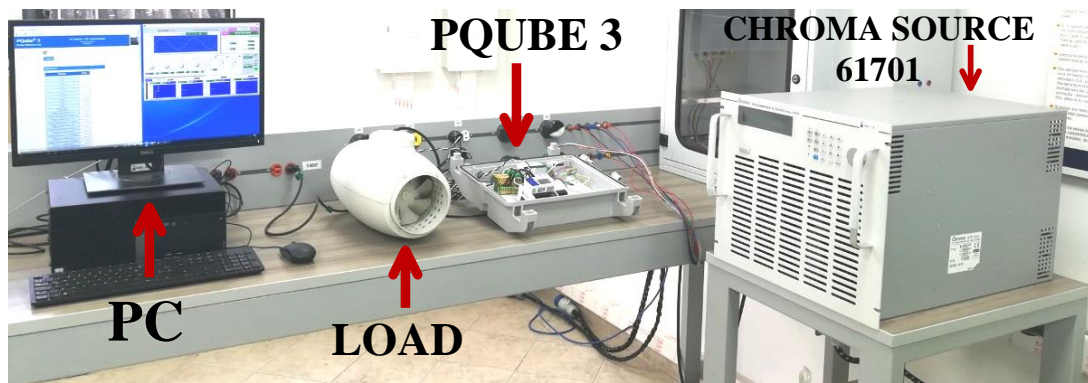


Figure 2. Laboratory equipment assembly

Source: Authors.

## Test scenarios

Experimentation was carried out in two stages: a frequency sweep with 144 measurements in order to obtain the Norton models and the application of four special signals used for validation.

**Frequency sweep:** First, the load was supplied with voltage signals at the fundamental frequency (60 Hz) with magnitude values between 115 and 150 V ( $\Delta V = 1$  V), as well as with phase angle equal to  $0^\circ$ . A total of 36 measurements were made. Second, the load was supplied with voltage signals made up only of a third, fifth, or seventh harmonic component, with magnitude values of 1, 3, 5, 10, 15, or 20 V, with variations in phase angles between 0 and  $300^\circ$  with a  $60^\circ$  step, considering an RMS value for the voltage of 127 V at 60 Hz, for a total of 108 measurements.

**Special voltage signals:** In order to validate the models obtained, four representative signals were selected: two voltage signals, typical of the university building where the load is installed (Signals 1 and 2), and two typical voltage signals for low-voltage networks: a flat-top waveform signal present

in residential networks (Signal 3) and a pointed-top waveform signal present in industrial networks (Signal 4) (Blanco *et al.*, 2015).

### Power parameters and total harmonic distortion indices (THD) estimation

The RMS values of the voltage and current signals were determined via Equations (4) and (5), where  $v_n$  and  $i_n$  represent the sample vectors of the voltage and current signals and  $N$  is the length of each sample vector. The values of the single-phase active power are calculated as  $P = \sum_{i=1}^N (v_n[i] \cdot i_n[i])/N$ , and the values of the single-phase apparent power are calculated as  $S = V_{RMS} \cdot I_{RMS}$ .

$$V_{RMS} = \sqrt{\sum_{i=1}^N v_n^2[i]/N} \quad (4)$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{i=1}^N i_n^2[i]/N} \quad (5)$$

Likewise, the non-active power can be calculated from two approaches: the Fryze model as  $Q_F = (S^2 - P^2)^{1/2}$  and the Budeanu model as  $Q_B = \sum_{i=1}^N (v_n[i] \cdot i_{Bn}[i])/N$ , where  $i_{Bn}$  is the sample vector of the Budeanu current signal. Furthermore, the total harmonic distortion indices of voltage ( $THD_v$ ) and current ( $THD_i$ ) are calculated via Equations (6) and (7), where  $h$  is the harmonic component order number,  $I_0$  and  $V_0$  are the DC components value of the voltage and current signals,  $I_1$  and  $V_1$  are the fundamental frequency components RMS value of the voltage and current signals, and  $I_h$  and  $V_h$  are the harmonic components RMS value of the current and voltage signals.

$$THD_v = \sqrt{V_0^2 + \sum_{h=2}^{\infty} V_h^2} \cdot 100 \% \quad (6)$$

$$THD_i = \sqrt{I_0^2 + \sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} \cdot 100 \% \quad (7)$$

### Training and validation of the model

The application of the Training approach allowed adapting or adjusting the estimated model parameters. This technique evaluates the level of unreliability or errors that a model could have from the measured data in order to verify its level of confidence. To this effect, current signals are estimated by applying the general equation of the Norton model. The input variables are the admittance matrix and the voltage signals of the frequency sweep used to estimate the Norton model parameters. The difference between the calculated and measured current signals is analyzed with the percentage error for the magnitude values and the absolute error for the phase angle. Boxplot diagrams were the tool used to show the results of the technique.



The validation of the models considered the four special voltage signals. For this quality verification process, results were obtained from calculating the percentage error for the measured and estimated active and non-active power values. Additionally, the NRMSE error index and the THDi values were calculated for the measurements, as well as estimated by the models.

## RESULTS

This section presents an analysis of the power parameters for the special signals selected, the results of estimating the admittance matrix of each method of the Norton equivalent model, and the validation process of each model.

Figure 3 presents the voltage signal at the fundamental frequency and the current signal demanded by the air extractor. Figure 3a shows a voltage signal with a magnitude of 127 V and a  $0^\circ$  phase angle (blue line), as well as a current signal (orange line) that is slightly distorted and ahead the voltage signal by approximately  $20^\circ$ . Figure 3b describes the distortion of the current signal from the harmonic spectrum. Specifically, there is a presence of the third and fifth harmonic components of 7,0 and 0,8 %, respectively. These harmonic components of the current signal when the load is connected to a sinusoidal power supply signal could be the result of the saturation of the motor's magnetic core. Furthermore, it should be noted that the active power value at nominal voltage is less than the nominal power value, and that a capacitive behavior is observed when obtaining a non-active power value of -22 VAR.

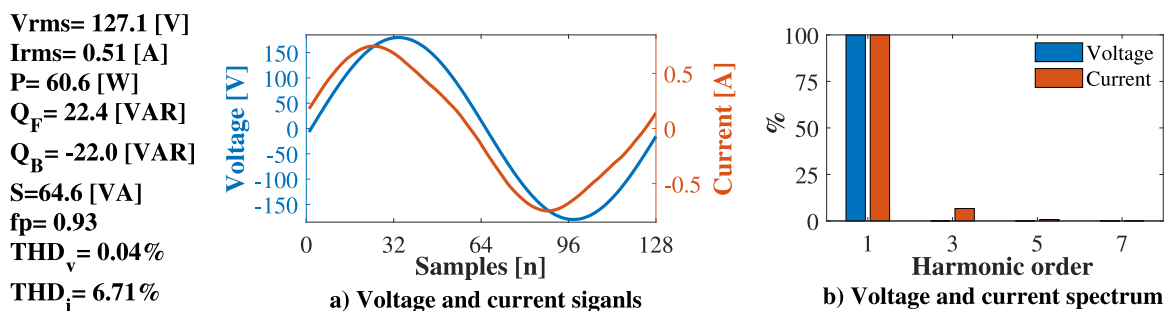


Figure 3. Characteristics of the voltage and current signal of the air extractor

Source: Authors.

### Analysis of power parameters

Tables 1 and 2 present information on the special signals used in the selected load, the power parameters, and the total harmonic distortion indices. They also show characteristic values of the selected load operation before the special voltage signals. The voltage values ( $V_1, V_3, V_5, V_7$ ) and the alpha values ( $\alpha_1, \alpha_3, \alpha_5, \alpha_7$ ) in Table 1 specify the magnitude values and the phase angle of each har-

monic component. The results of the non-active power values presented in Table 2 indicate a capacitive behavior of the air extractor, which is due to the capacitor in series of the auxiliary winding that allows the motor to start and run. The values calculated for the reactive power at the fundamental frequency component ( $Q_1$ ) and the values of the harmonic component of the non-active power calculated with the Budeanu approach ( $D_B$ ) confirm that the negative values of the non-active power are the result of the compensation of the capacitor while starting and running the motor.

**Table 1.** Characteristics values of the voltage special signals

Signal	$V_{RMS}$	$V_1$	$\alpha_1$	$V_3$	$\alpha_3$	$V_5$	$\alpha_5$	$V_7$	$\alpha_7$	$I_{RMS}$
	[V]	[V]	[°]	[V]	[°]	[V]	[°]	[V]	[°]	[A]
1	129,3	129,1	0	0,17	23,8	2,45	176,4	0,42	34,0	0,51
2	128,7	128,5	0	0,33	84,9	1,82	186,4	0,95	64,0	0,51
3	116,7	116,6	0	2,37	0,0	1,66	180,0	0,89	0,0	0,49
4	120,2	120,0	0	3,05	180	1,66	0,00	0,05	0,0	0,50

Source: Authors.

**Table 2.** Power parameters and total harmonic distortion indices of the voltage special signals

Signal	$P$	$Q_F$	$Q_B$	$Q_1$	$D_B$	$S$	$f_p$	$THD_v$	$THD_i$
	[W]	[VAR]	[VAR]	[VAR]	[VAR]	[VA]		[%]	[%]
1	61,4	23,9	-22,7	-22,9	7,33	65,9	0,93	2,5	11,5
2	60,7	23,5	-22,6	-22,7	6,22	65,1	0,93	2,1	9,4
3	54,3	19,4	-18,8	-18,8	4,72	57,6	0,94	3,0	10,4
4	56,2	20,8	-20,1	-20,2	5,38	59,9	0,94	3,5	10,7

Source: Authors.

Figure 4 presents the waveforms of the four special voltage signals selected for the validation of the models. Signals 1 and 2 show some similarities because they are voltage signals from the same network, albeit measured at different times of the day. The third signal is a flat-top waveform, where the third and fifth harmonic components are higher than the seventh harmonic component. Finally, the fourth signal is a pointed-top waveform, where the third harmonic component is higher than the others.

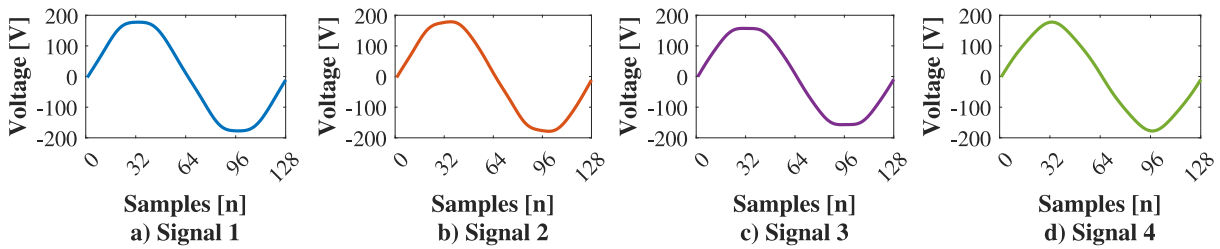


Figure 4. Waveforms of the voltage special signals

Source: Authors.

### Norton equivalent model parameters

Figure 5 presents the coupled admittance matrix and decoupled admittance matrix of the Norton model for the air extractor.

The admittance values obtained to form the  $Y$  matrix represent the interaction between the odd harmonics of current  $H$  and the odd harmonics of voltage  $K$  from the measurements carried out in the frequency sweep, considering that these experiments were performed using a single harmonic component at a time. It should be noted that the predominance of the relationship of the third-order harmonic component of voltage and current in the models describes the characteristic nature of the air extractor.

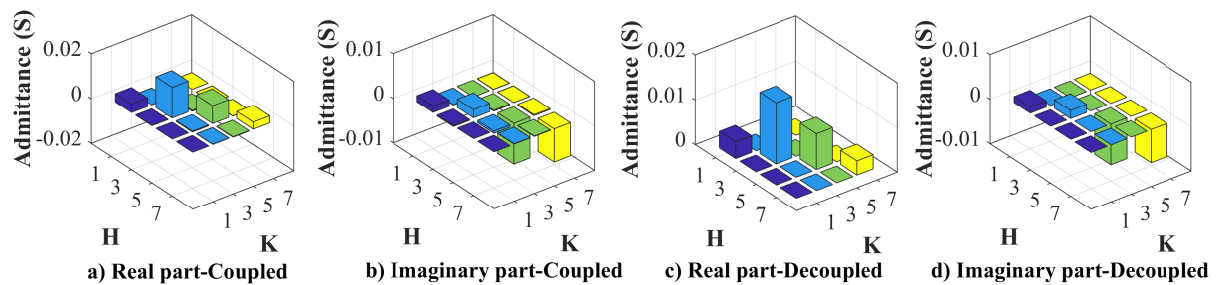
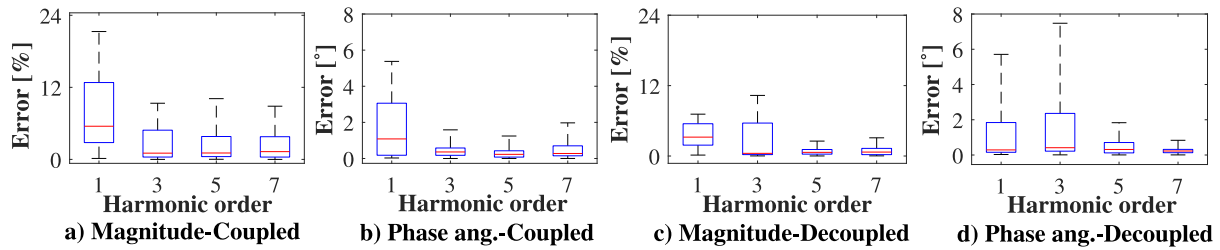


Figure 5. Air extractor matrices

Source: Authors.

Figure 6 presents the boxplot diagrams that analyze the behavior of the coupled and decoupled admittance matrix model parameters against the data measured for their estimation. Deviations in the percentage errors can be observed for the magnitude of the fundamental frequency component and the harmonic components, as well as deviations in the absolute errors in the phase angles.

The position of the blue boxes in the diagrams indicate that the distribution error is skewed positively, which happens when the red line (the mean value of all the data) is close to the bottom whisker in the diagram, which represents the minimum value.



**Figure 6.** Boxplot diagram of the Norton model

**Source:** Authors.

Likewise, it can be pointed out that 75 % of the magnitude errors of the fundamental frequency component of the coupled admittance matrix Norton model are below 12 % and 75 % of the errors of the harmonic components are below 5 %, while the errors of the decoupled admittance matrix Norton model are less than 6 %. On the other hand, 75 % of the absolute errors of the phase angles of the two models were between 0 and 4°.

### Model validation

The coupled and decoupled admittance matrix models were validated by measuring the estimation quality with the four special voltage signals. Figure 7 presents a comparison of the magnitude values and phase angles of the fundamental frequency and the harmonic components of the measured signals, as well as the signals estimated by each model.

The results indicate that the errors of the magnitude values of the coupled admittance matrix Norton model are less than 3 %, in contrast to those of the decoupled admittance matrix Norton model, which were less than 4 %. In general, it could be said that the studied models successfully estimate the behavior of the air extractor current.

### Power errors, NRMSE, and THDi indices analysis

Figure 8 presents the parameter estimation errors for the four specific signals. In Figures 8a and 8b, it is noted that the errors in the active power estimated by the coupled and decoupled admittance matrix Norton models are less than 6 %. On the other hand, the errors regarding non-active power obtained by the coupled admittance model are less than 2 %, unlike those of the decoupled admittance matrix model (less than 3 %).

Likewise, Figure 9 presents the NRMSE index for the current signal, which, for the coupled admittance matrix model, ranged between 0,7 and 2,3 %, whereas the decoupled matrix model errors were among 2 and 2,8 %.

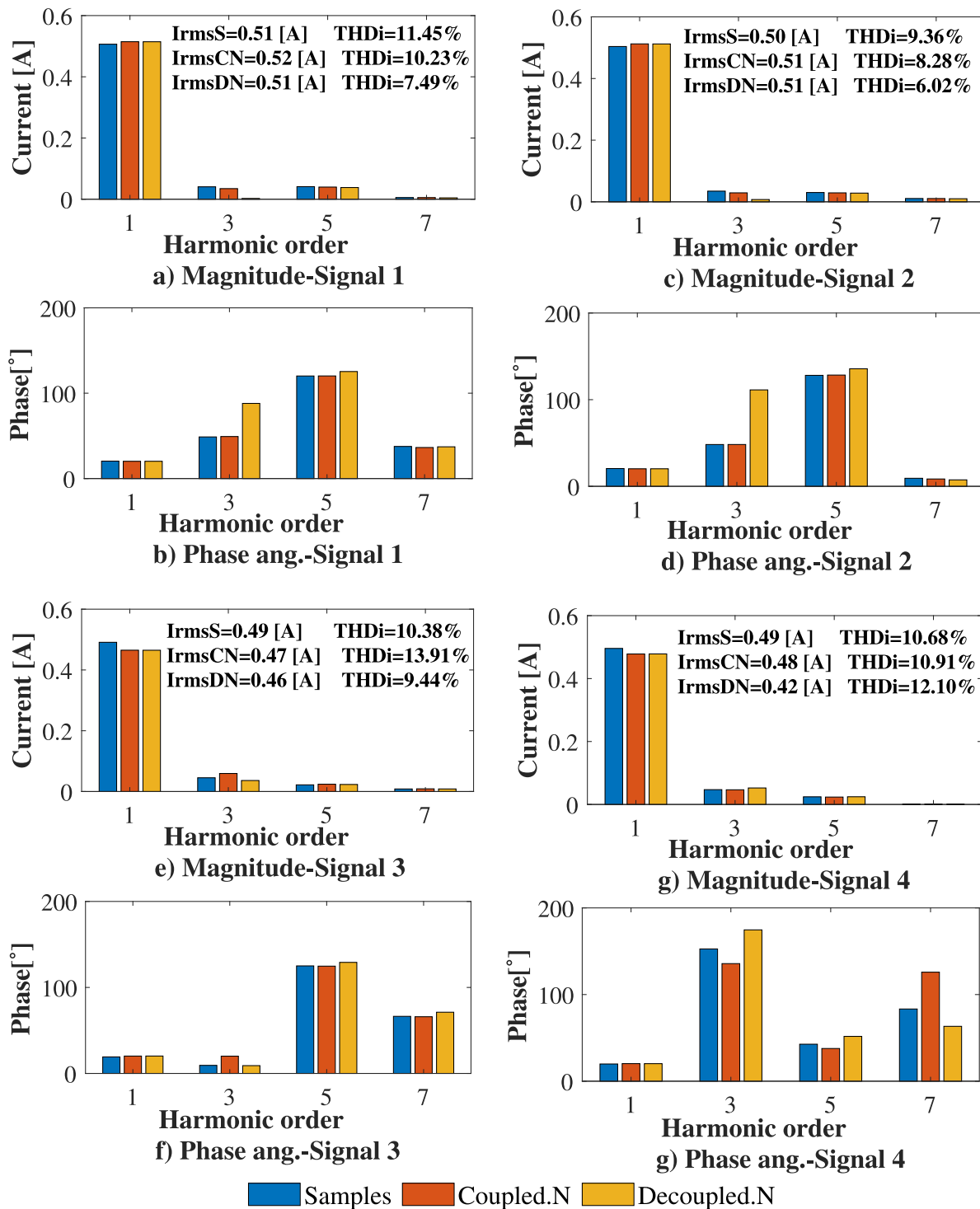


Figure 7. Current demanded spectrum for Signals 1, 2, 3, and 4

Source: Authors.

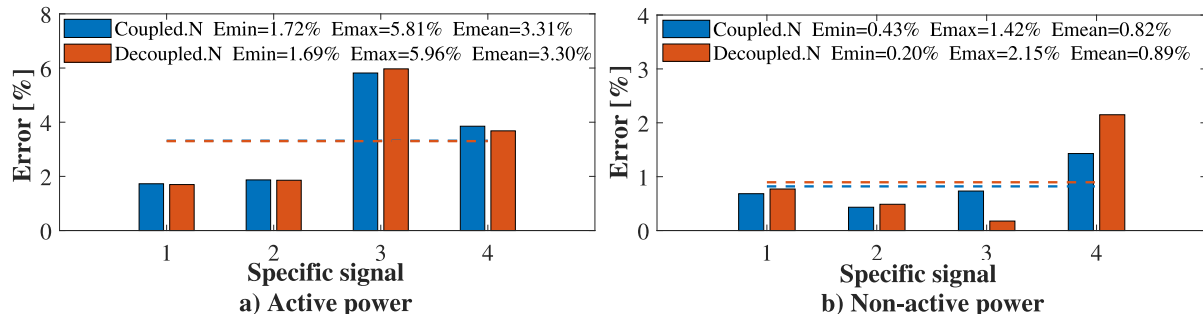


Figure 8. Active and non-active power errors for the four specific signals

Source: Authors.

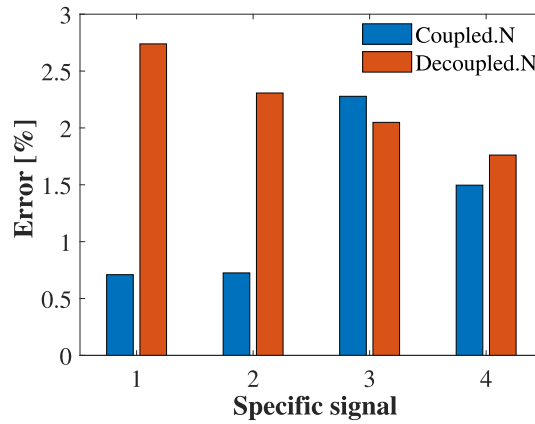


Figure 9. NRMSE current signal index for the four specific signals

Source: Authors.

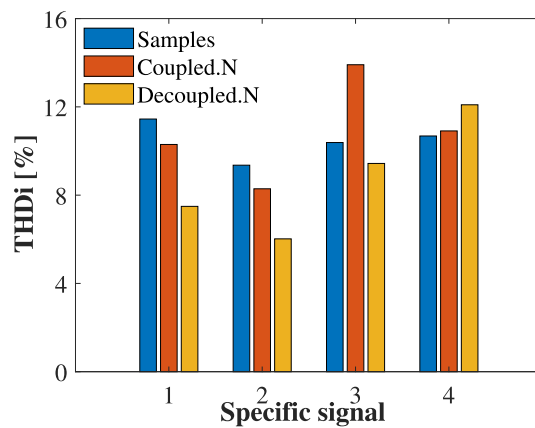


Figure 10. Total harmonic distortion indices (THDi) for the four specific signals

Source: Authors.

Figure 10 shows the THDi indices. In general, for the coupled admittance matrix model, better estimates of the index were obtained, as compared to the decoupled admittance matrix model. It was possible to observe an index close to 14 % as estimated by the model.

In general, the results obtained indicate that the models can estimate the current measured in the laboratory with a certain degree of accuracy, just as the power errors estimated by the two models do not show any considerable differences.

## CONCLUSIONS

This paper presents the parameter estimation of the Norton equivalent model under the coupled and decoupled admittance matrix approaches for a single-phase air extractor whose nature is non-linear due to the constant presence of harmonic components in the demanded current signal.

The results obtained indicate that the two approaches can estimate the current demanded by the air extractor with a certain degree of accuracy, with the estimation of the coupled matrix approach being more successful (NRMSE < 2 %). Likewise, the results showed the estimation quality of the approaches, obtaining errors of the order of 6 % regarding the active power and 3 % for the non-active power, as well as values of less than 14 % for the THDi index.

The increased use of devices based on power electronics has made it possible to explore the modeling of nonlinear loads in the frequency domain, as it does not require the circuit information of the load and exhibits ease of estimation when compared to time-domain modeling.

Frequency-domain modeling for motors is relatively unexplored in the literature. However, single-phase induction motors are essential loads present in any electrical system, so the results obtained in this work may allow the use of single-phase induction motor frequency-domain models in the power flow analysis of transmission or distribution networks.

## FUNDING

This work was funded by the Ministry of Science, Technology, and Innovation [MINCIENCIAS, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación] with resources from project *Improving the resilience of electrical networks both connected to the grid and isolated based on the integration of energy and energy storage applications* [Mejoramiento de la resiliencia de redes eléctricas conectadas a la red y aisladas a partir de la integración de aplicaciones energéticas y almacenamiento de energía] (Project – Contract No. 80740-191-2019).

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank the Department of Electrical, Electronics, and Telecommunications Engineering [Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones] and the Vice-

Principalship for Research and Extension [Vicerrectoría de Investigación y Extensión] of Universidad Industrial de Santander.

## REFERENCES

- [Arif *et al.*, 2018] Arif, A., Wang, Z., Wang, J., Mather, B., Bashualdo, H., & Zhao, D. (2018). Load Modeling-A Review. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(6), 5986-5999. <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2700436> ↑Ver página 19
- [Blanco *et al.*, 2012] Blanco, A. M., Stiegler, R., & Meyer, J. (2013, June 16-20). *Power quality disturbances caused by modern lighting equipment (CFL and LED)* [Conference presentation]. 2013 IEEE Grenoble Conference, Grenoble, France. <https://doi.org/10.1109/PTC.2013.6652431> ↑Ver página 19, 23
- [Blanco *et al.*, 2015] Blanco, A. M., Yanchenko, S., Meyer, J., & Schegner, P. (2015). Impact of supply voltage distortion on the current harmonic emission of non-linear loads. *Dyna*, 82(192), 150-159. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n192.48591> ↑Ver página 19, 23
- [Bosovic *et al.*, 2016] Bosovic, A., Renner, H., Abart, A., Traxler, E., Meyer, J., Domagk, M., & Music, M. (2016). Validation of aggregated harmonic current source models based on different customer type configurations. In IEEE (Eds.), *2016 Electric Power Quality and Supply Reliability, PQ 2016* (pp. 77-84). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PQ.2016.7724093> ↑Ver página 19
- [Brunoro *et al.*, 2017] Brunoro, M., Encarnação, L. F., & Fardin, J. F. (2017). Modeling of loads dependent on harmonic voltages. *Electric Power Systems Research*, 152, 367-376. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.07.030> ↑Ver página 19
- [Busatto *et al.*, 2019] Busatto, T., Ravidran, V., Larsson, A., Ronnberg, S. K., Bollen, M. H. J., & Meyer, J. (2019, June 12-15). *Experimental harmonic analysis of the impact of LED lamps on PV inverters performance* [Conference presentation]. 2019 Electric Power Quality and Supply Reliability Conference and 2019 Symposium on Electrical Engineering and Mechatronics, Kärđla, Estonia. <https://doi.org/10.1109/PQ.2019.8818231> ↑Ver página 19
- [Caicedo *et al.*, 2017a] Caicedo, J. E., Romero, A. A., & Zini, H. C. (2017a). *Frequency domain modeling of nonlinear loads, considering harmonic interaction* [Conference presentation]. 2017 3rd IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications, Bogotá, Colombia. <https://doi.org/10.1109/PEPQA.2017.7981641> ↑Ver página 20
- [Caicedo *et al.*, 2017b] Caicedo, J. E., Romero, A. A., & Zini, H. C. (2017b). Assessment of the harmonic distortion in residential distribution networks: literature review. *Ingeniería e Investigación*, 37(3), 72-84. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v37n3.64913> ↑Ver página 20



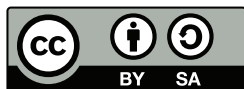
- [Cale *et al.*, 2020] Cale, J., Lute, C., Ross, G., & Othee, A. (2020). Characterization procedure for unsymmetrical single-phase capacitor-start induction machines. *IEEE Open Access Journal of Power and Energy*, 8, 2-10. <https://doi.org/10.1109/OAJPE.2020.3034210> ↑Ver página 20
- [Chang *et al.*, 2004] Chang, G., Hatziadoniu, C., Xu, W., Ribeiro, P., Burch, R., Grady, W. M., Halpin, M., Liu, Y., Ranade, S., Ruthman, D., Watson, N., Ortmeier, T., Wikston, J., Medina, A., Testa, A., Gardinier, R., Dinavahi, V., Acram, F., & Lehn, P. (2004). Modeling devices with nonlinear voltage-current characteristics for harmonic studies. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 19(4), 1802-1811. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2004.835429> ↑Ver página 19
- [Chasiotis & Karnavas, 2020] Chasiotis, I. D., & Karnavas, Y. L. (2020). On the design and manufacturing of small single phase induction motors toward super premium efficiency standards. In IEEE (Eds.), *Proceedings - 2020 International Conference on Electrical Machines, ICEM 2020* (pp. 2321-2327). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEM49940.2020.9270791> ↑Ver página 19
- [Dghim *et al.*, 2018] Dghim, H., El-Naggar, A., & Erlich, I. (2018, May 13-16). *Harmonic distortion in low voltage grid with grid-connected photovoltaic* [Conference presentation]. 2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Ljubljana, Slovenia. <https://doi.org/10.1109/ICHQP.2018.8378851> ↑Ver página 19
- [Fölting *et al.*, 2014] Fölting, A. S., Myrzik, J. M. A., Wiesner, T., & Jendernalik, L. (2014, August 18-22). *Practical implementation of the coupled norton approach for nonlinear harmonic models* [Conference presentation]. 2014 Power Systems Computation Conference, Wroclaw, Poland. <https://doi.org/10.1109/PSCC.2014.7038372> ↑Ver página 20
- [Ge, X & Liu, 2020] Ge, X., & Liu, Y. (2020). A dynamic parameter model of harmonic source networks. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 35(3), 1093-1101. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2019.2932433> ↑Ver página 20
- [Guo *et al.*, 2019] Guo, Z., Al-Shibli, N., Xiao, X., Djokic, S., Collin, A., Langella, R., Testa, A., Papic, I., Blanco, A., & Meyer, J. (2019). Aggregate harmonic load models of residential customers. Part 2: Frequency-domain models [Conference presentation]. *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe Bucharest, Romania*. <https://doi.org/10.1109/ISGTEurope.2019.8905746> ↑Ver página 20
- [Hasan & Parida, 2018] Hasan, M. A., & Parida, S. K. (2018). *Modeling and analysis of single phase induction motor as a dynamic load in inverter dominated microgrid system* [Conference presentation]. 2017 7th International Conference on Power Systems, ICPS 2017, Pune, India. <https://doi.org/10.1109/ICPES.2017.8387367> ↑Ver página 20
- [Marulanda *et al.*, 2017] Marulanda, J. J., Escobar, A., & Alzate, A. (2017). Estudio comparativo de cinco estrategias de compensación de armónicos en filtros activos de potencia. *Revista Tecnura*, 21(52),

- 15-31. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.2.a01> ↑Ver página 19
- [Meyer *et al.*, 2016] Meyer, J., Müller, S., Schegner, P., Djokic, S. Z., Collin, A. J., & Xu, X. (2016, June 20-24). *Comparison of methods for modelling electric vehicle chargers for harmonic studies* [Conference presentation]. 19th Power Systems Computation Conference, Genoa, Italy. <https://doi.org/10.1109/PSCC.2016.7540993> ↑Ver página 20
- [Moreno-Cañón *et al.*, 2014] Moreno-Cañón, J. C., Aguirre-Buitrago, C., & Noguera-Vega, L. A. (2014). Modelo para identificación de cargas perturbadoras de la calidad de potencia eléctrica en cuanto al fenómeno armónico en una s/e. *Revista Tecnura, SE1*, 65-79. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.SE1.a05> ↑Ver página 19
- [Nassif *et al.*, 2010] Nassif, A. B., Yong, J., & Xu, W. (2010). Measurement-based approach for constructing harmonic models of electronic home appliances. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 4(3), 363. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2009.0240> ↑Ver página 20
- [Pérez-Londoño *et al.*, 2015] Pérez-Londoño, S. M., Rodríguez-García, L. F., & Mora-Flórez, J. J. (2015). Obtención de modelos de carga compuestos en sistemas de potencia para análisis dinámico: revisión y aplicación. *Revista Tecnura*, 19(44), 171. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a13> ↑Ver página 19
- [Roy *et al.*, 2020] Roy, J., Jain, A. K., & Mather, B. (2020, February, 6-7). Impacts of experimentally obtained harmonic spectrums of residential appliances on distribution feeder [Conference presentation]. *2020 IEEE Texas Power and Energy Conference*, College Station, TX, USA. <https://doi.org/10.1109/TPEC48276.2020.9042573> ↑Ver página 19
- [Senra *et al.*, 2017] Senra, R., Boaventura, W. C., & Mendes, E. M. A. M. (2017). Assessment of the harmonic currents generated by single-phase nonlinear loads. *Electric Power Systems Research*, 147, 272-279. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.02.028> ↑Ver página 20
- [Sharma & Singh, 2021] Sharma, U., & Singh, B. (2021). Design and development of energy efficient single phase induction motor for ceiling fan using Taguchi's orthogonal arrays. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 57(4), 3562-3572. <https://doi.org/10.1109/TIA.2021.3072020> ↑Ver página 19
- [Soni & Soni, 2014] Soni, M. K., & Soni, N. (2014). Review of causes and effect of harmonics on power system. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, 3(2), 214-220. ↑Ver página 19, 20
- [Tavukcu *et al.*, 2019] Tavukcu, E., Müller, S., & Meyer, J. (2019). Assessment of the performance of frequency domain models based on different reference points for linearization. *Renewable Energy*

*and Power Quality Journal*, 17(17), 435-440. <https://doi.org/10.24084/repqj17.337> ↑Ver página 20

[Xiao *et al.*, 2017] Xiao, X., Collin, A. J., Djokic, S. Z., Yanchenko, S., Möller, F., Meyer, J., Langella, R., & Testa, A. (2017). Analysis and modelling of power-dependent harmonic characteristics of modern PE devices in LV networks. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(2), 1014-1023. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2016.2574566> ↑Ver página 20

[Yao *et al.*, 2020] Yao, K., & Xiao, H. (2020, November 1-4). *Analysis of frequency control system in single-phase asynchronous motor* [Conference presentation]. 2020 IEEE 1st China International Youth Conference on Electrical Engineering, Wuhan, China. <https://doi.org/10.1109/CIYCEE49808.2020.9332777> ↑Ver página 20



## Firefly Algorithm for Facility Layout Optimization

### Algoritmo luciérnaga para la optimización de distribución en planta

Luisa Fernanda Vargas-Pardo <sup>1</sup>, Frank Nixon Giraldo-Ramos <sup>2</sup>

Fecha de Recepción: 20 de enero de 2022

Fecha de Aceptación: 04 de julio de 2022

**Cómo citar:** Vargas-Pardo, L.F. y Giraldo-Ramos, F.N. (2022). Firefly Algorithm for Facility Layout Optimization. *Tecnura*, 26(74), 35-48. <https://doi.org/10.14483/22487638.17731>

### Abstract

**Objective:** This paper presents a review of the results obtained by an optimization methodology based on the application of the firefly algorithm (FA) as a metaheuristic planning tool with the purpose of finding the optimal facility layout in order to reduce the distances and flow times between processes of the production chain. **Methodology:** By means of implementing the MATLAB script, the goal was to evaluate the FA as applied to the facility layout distribution optimization problem, conducting a test of two facility layout cases with the algorithm. The FA was applied in order to evaluate the performance with respect to the initial facility layout configuration, as well as in comparison with a conventional heuristic algorithm.

**Results:** The most relevant result was the verification of the FA's degree of efficiency regarding the convergence time, as expressed in terms of the number of cycles required to reach an optimal solution in comparison with the conventional heuristic algorithm used for validation.

**Conclusions:** The total optimized distance in the plant achieves a low significant value. A reduced number of iterations is required to reach an optimal value in the case of a complex facility layout.

**Keywords:** facility layout problem, firefly optimization, metaheuristics, combinatorial optimization.

### Resumen

**Objetivo:** Este artículo presenta una revisión de los resultados de una metodología de optimización enfocada en la aplicación del algoritmo de luciérnaga (FA) como una herramienta de planificación metaheurística con el fin de encontrar una distribución en planta óptima para reducir las distancias y los tiempos de flujo de procesos en la cadena de producción.

**Metodología:** A través de la implementación del script de MATLAB, el objetivo fue evaluar el FA aplicado al problema de optimización de diseño de distribución en planta, realizando una prueba de dos casos de diseño de instalaciones con el algoritmo. Se aplicó el FA para evaluar el rendimiento con respecto a la configuración inicial de distribución en planta, así como en contraste con un algoritmo heurístico convencional.

<sup>1</sup>Student of the Industrial Production Management technological program. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Email: [lfvargasp@udistrital.edu.co](mailto:lfvargasp@udistrital.edu.co)

<sup>2</sup>Instrumentation and electronic control engineer. Professor at Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Email: [fngiraldor@udistrital.edu.co](mailto:fngiraldor@udistrital.edu.co)

**Resultados:** El resultado más relevante fue la verificación del grado de eficiencia del FA con respecto al tiempo de convergencia, expresado en función de la cantidad de ciclos requeridos para alcanzar una solución óptima, en comparación con el algoritmo heurístico convencional utilizado para la validación.

**Conclusiones:** La distancia total optimizada en la planta logra un valor bajo significativo. Se requiere un número reducido de iteraciones para alcanzar un valor óptimo en el caso de una distribución en planta compleja.

*Palabras clave:* problema de distribución en planta, algoritmo luciérnaga, metaheurística, optimización combinatorial

---

## Table of Contents

	Page
<b>Introduction</b>	36
<b>Methodology</b>	38
Firefly algorithm . . . . .	38
Objective function . . . . .	39
Path evaluation . . . . .	39
<b>Results</b>	40
<b>Discussion</b>	43
<b>Conclusions</b>	45
<b>References</b>	46

## INTRODUCTION

According to [Hernández-Santibáñez et al. \(2017\)](#) and [Solarte et al. \(2018\)](#), the facility layout problem (FLP) aims to obtain an optimal design for the allocation and flexible configuration of available machines, equipment, resources, and physical space in order to facilitate the movement and handling of material, as well as to allow plants to have optimized performance and production flow, *i.e.*, with respect to a minimum production cost and total time. Traditionally, the study of such problems regarding distribution, spatial flow, and optimization has been addressed via dynamic programming techniques and combinatorial optimization, as per [Jara-Estupiñan et al. \(2020\)](#) and [Dey \(2020\)](#).

In this study, the FA is applied to such problems. This algorithm is inspired by the intermittent and rhythmic behavior of fireflies, which are winged insects capable of producing flashes of light to attract possible prey or companions. In FA applications, an initial population of fireflies must be configured at random node locations defined as a search space, where the fireflies represent a feasible solution. Each firefly's flashing light intensity is the way to evaluate the target function to be optimized, as reported by [Yang \(2013\)](#).

This algorithm was introduced in 2009 by Xin-She Yang, who was inspired by the behavior and characteristics of fireflies such as their flickering. He established three essential rules:

- Each firefly is configured to be attracted to the others regardless of its gender.
- Brightness is equivalent to the proportional degree of attraction. For each two blinking fireflies, the one with the lower brightness will follow to the brighter one. The attraction degree is directly related to the brightness, depends directly on the objective function, and decreases with increasing distance. If no particular firefly is brighter, they all will move randomly.
- The brightness of a firefly is affected or determined by the objective function. The layout optimization problem is similar to that of the traveling salesman problem (TSP): symmetric, uni-objective and Euclidean, according to [Patle et al. \(2018\)](#) and [Trachanatzi et al. \(2020\)](#). Configuring the layout of a plant is like outlining a movement in the  $XY$  plane. The total travel time can be determined as the time it takes to go through the process flow path plus the time at each station, as expressed in Equation (1):

$$t = nt_m + t(x, y) \quad (1)$$

where  $n$  is the quantity of workstations,  $t_m$  the operation time per station, and  $t(x, y)$  the time it takes to follow the process flow path on the layout. The objective function is to optimize the time it takes to follow the process throughout the layout  $t(x, y)$ , thus optimizing the cost of operation ([Saraei et al. \(2015\)](#), [Hernández-Santibáñez et al. \(2017\)](#)). Here, the distance between the workstations  $i$  and  $j$  of the layout is considered to be rectilinear and corresponds to the Euclidean distance of the two points with coordinates  $(x_i, y_i)$  and  $(x_j, y_j)$ . It can be calculated via Equation (2):

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (2)$$

The equation to calculate the process flow on the layout plane  $XY$  (*i.e.*, moving from point  $i$  to point  $j$ ) implies a problem similar to that of the traveling agent. Therefore, the distance of the route can be calculated via Equations (3) and (4):

$$t_{ij} = \frac{1}{v} \left( \sum |x_i - x_j| + \sum |y_i - y_j| \right) \quad (3)$$

$$t_{ij} = \left( \sum \frac{|x_i - x_j|}{v_x} - \sum \frac{|y_i - y_j|}{v_y} \right) \quad (4)$$

where  $v_x$  and  $v_y$  correspond to the process flow displacement speeds in  $x$  and  $y$ , respectively. This problem is simplified:  $v_x$  and  $v_y$  have the same value, so  $v_x = v_y = v$ .

## METHODOLOGY

This paper applies the FA as a solving tool for combinatorial optimization problems such as the facility layout distribution problem in an industrial manufacturing plant. To this effect, many optimization algorithms have been proposed (Yang (2013), Lukasik, S., & Žak, 2009). In this case, optimization can be carried out while considering the following requirements:

- a. Minimizing material handling and the total distance between machines and layout stations.
- b. Minimizing material flow.
- c. Minimizing the total distance traveled by the material.

### Firefly algorithm

In the FA discretization proposed by Jati (2011), a firefly represents a possible trajectory or path that gives an approximation to the optimal solution of the TSP, which is made up of a number of points or cities to be visited according to an order established by the fireflies' movements. In the TSP, the function to be minimized is the length of the layout flow. Therefore, the brightest firefly is the one with the shortest path length, taking the Euclidean distance between all the layout points or nodes, in line with Wu *et al.* (2020), Kumar & Kumar (2021), and Saraei *et al.* (2015).

From the layout map containing the  $(x, y)$  coordinates corresponding to the location of each of the nodes or workstations distributed across the plant, the paths between nodes are defined, which conform a set of initial solutions that fireflies must optimize in each cycle (Yang (2013)).

The FA was initially implemented in continuous optimization applications such as the traveling agent problem, and later as a discretized way to solve permutation problems such as the one in this study case. The FA could be implemented in the optimization of maximization problems, taking the initial solution as a distance function  $x_i, x_j$ , according to the TSP model (Quiroga *et al.*, 2015). According to Kumbharana & Pandey (2013), firefly movements must be redefined as the search space  $S_n$ , which includes all possible permutations  $\{1, 2, \dots, n\}$ . Firefly brightness  $I$  in each position  $x$  could be defined as  $I(x)$ . Light intensity  $I(r)$  as seen by the other fireflies in the distance function  $r\{ij\}$  has an impact on the degree of attraction  $\beta$ . The light intensity changes according to the inverse square law equation (5), where the light source intensity is  $I_s$ :

$$I(r) = \frac{I_s}{r^2} \quad (5)$$

By taking a constant light absorption medium  $\gamma$ , the light intensity only changes as a distance function, as shown in Equation (6), where  $I_0$  is the initial light intensity:

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r} \quad (6)$$

Avoiding singularity at  $r = 0$  in  $\frac{I_s}{R^2}$  Equation (7) is as follows:

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad (7)$$

By taking a degree of attraction  $\beta$ , Equation (8) is obtained:

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (8)$$

where  $\beta_0$  denotes the maximum degree of attraction when  $r = 0$ .

The distance formula at firefly positions  $(x_i, x_j)$  is applied as defined by Equation (9):

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (9)$$

Finally, the position of each firefly  $i$  can be determined via Equation (10):

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{i,j}^2} (x_i - x_j) + \alpha (\text{rand} - \frac{1}{2}) \quad (10)$$

which presents two terms. In the first one, position  $ij$  of each firefly is indicated, and, in the second one, a random value is generated to arbitrarily adjust the displacement, where a smooth factor constant  $\alpha$  and the random function are introduced.

## Objective function

Each initialized path should be evaluated by an objective function with the purpose of determining its quality rate. This comprises the evaluation of the sum of each of the distances between nodes in the path in order to determine the best sequences by taking the Euclidean distance objective function, as reported by [Obando-Solano et al. \(2016\)](#) and [Ramírez-Ramírez et al. \(2016\)](#). Thus, the sum of the distance between the current node  $(x_i, y_i)$  and the next node  $(x_{(i+1)}, y_{(i+1)})$ , including all nodes or workstations in the layout, yields the total length of the path in Equation (11):

$$d_{ij} = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (11)$$

## Path evaluation

The cost can be represented by the flow and distance matrix through Equation (12):

$$d_{ij} = |x_i - x_k| + |y_i - y_j| \quad (12)$$

where  $d_{ij}$  corresponds to the distance between nodes –or objective function– which corresponds to the Euclidean distance between points in this case.

The algorithm uses a maximum number of iterations as a stopping criterion. Once this value is reached, the process ends. However, not all paths can ensure that this solution is reached, but they can achieve an optimized one.



## RESULTS

The experimental testing of the FA in the facility layout optimization problem was conducted in MATLAB, version 2020, running on a computer with an Intel CORE i7 and 8 GB RAM. First, an initial solution is generated at random by each firefly. By taking initial values for parameters such as light intensity  $i$ , the initial degree of attraction  $\beta$  and  $\gamma$  are defined. Thus every firefly finds the brightest one. If the brightness of one firefly is lower than that of the other, it will move to the next brightest one. When a firefly moves along a path, its degree of attraction and its light intensity decreases, the best firefly is chosen as the initial solution for the next iteration based on the objective function. This condition is maintained until the end of iteration cycles is reached. [Dhillon & Goyal \(2013\)](#) propose an FA pseudo-code as follows:

Begin Initialize parameters: fireflies population  $n$ , objective function, maximum number of iterations, coefficients  $\alpha, \beta, \gamma$  and initialization of fireflies  $x_i$ , with  $n$  initial solutions and firefly light intensity  $I_i$  as a function of position  $x_i$ , calculated by the objective function  $f(x_i)$ .

While  $k_i < \text{Maximum Number of Iterations}$

for  $k_i = 1$  to  $n$  (Firefly Layout),

for  $k_j = 1$  to  $n$  (Firefly Layout),

If ( $I_j > I_i$ ) moves from  $i$  to  $j$ ;

Determine the degree of attraction reached as a function of distance  $r$  according to Equation (3):

$$t_{ij} = \frac{1}{v} \left( \sum |x_i - x_j| + \sum |y_i - y_j| \right) \quad (13)$$

Calculate new solutions and update the light intensity.

End            *End*

*End*

Select the best solution.

*End*

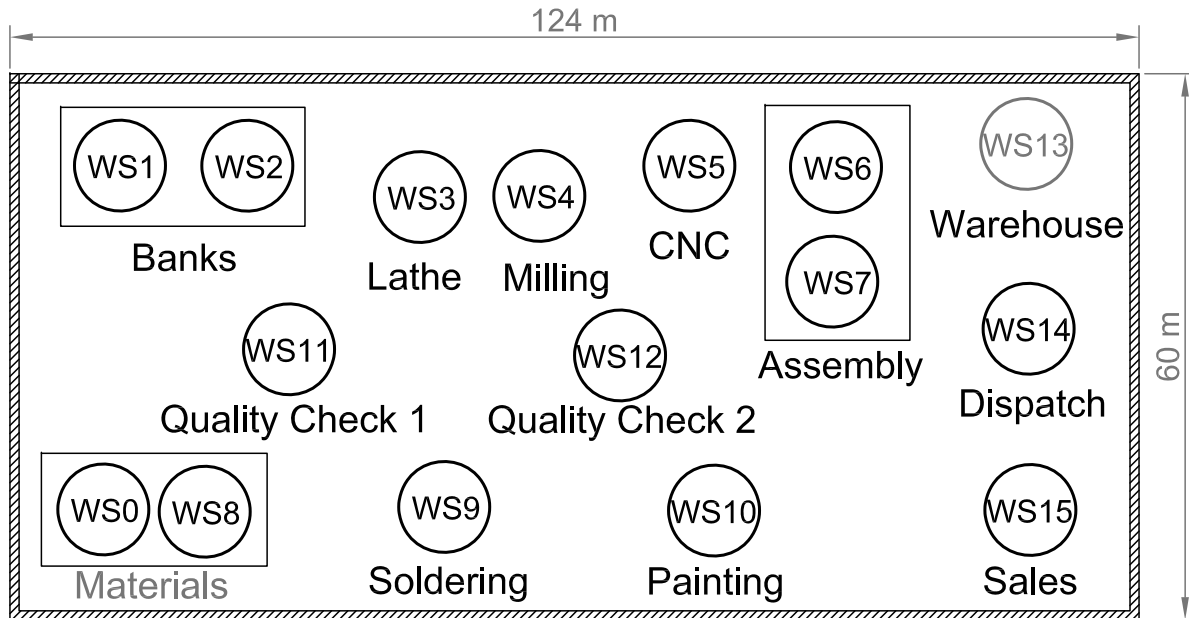
Determine the firefly with the highest light intensity.

End

Figure 1 shows layout 1 of a mechanical factory with 15 workstations or nodes, where the path is optimized across a 124 x 60 m area. The workstations are also indicated. The previously proposed algorithm was implemented as a MATLAB script. The location coordinates  $(x, y)$  of each station were entered as vectors  $(x, y)$  in the software.

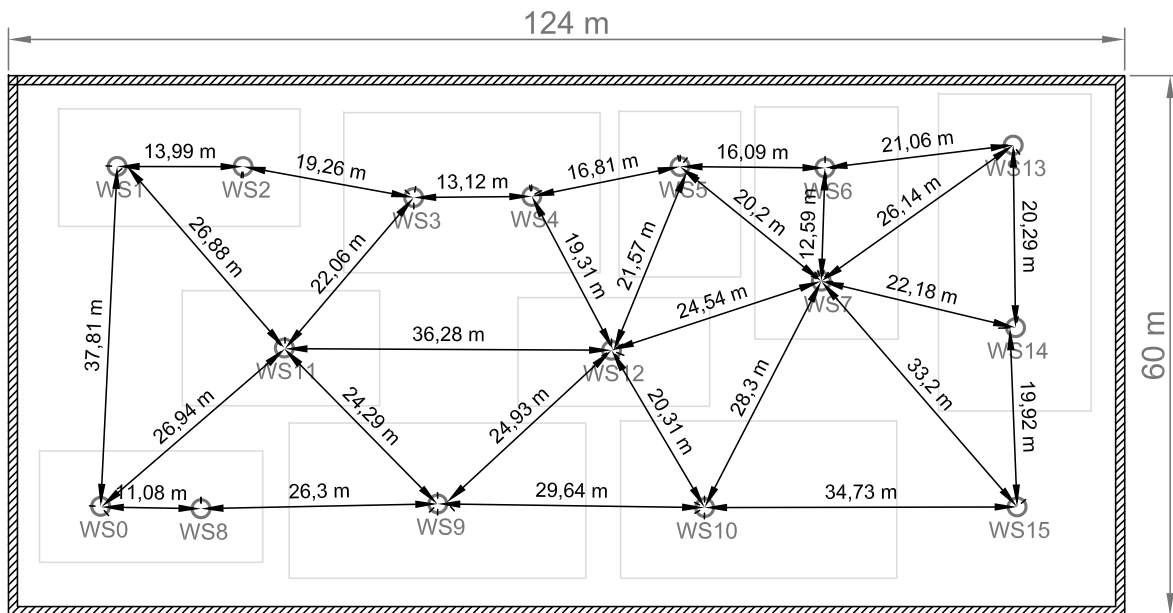
The plant layout path covers an initial distance of 283,34 m (Figure 2).

The assumption upon which the simulation was developed was established upon the following



**Figure 1.** Initial workstations on layout 1

**Source:** Authors.



**Figure 2.** Initial layout 1 path distances

**Source:** Authors.

considerations. The algorithm ends when 50 iterations are performed. The minimum number of fireflies should be at least equal to the number of nodes or workstations, which was 100 in this case. The brightness function of the FA was set at  $m = 2$ . The weight parameters information at start were established arbitrarily:  $\alpha = 0,5$ ,  $\beta = 0,1$ ,  $\gamma = 2$ , and  $\beta = 10$ . The number of best solutions groups was assumed to be equal to 25 % of the number of fireflies.

To determine the value of the absorptivity coefficient, the attractiveness function was estimated by varying the distance  $r_{ij}$  and keeping  $\beta = 10$ . This value of  $\beta$  was chosen arbitrarily, although, during the experimentation phase, it was observed that a very large value of  $\beta$  drastically increases the simulation time and a very small value reduces the possibility of achieving an optimal solution. In the discretion of a firefly, movements are performed by permutating the visit sequence as a subset of the workstation nodes chosen at random by means of the random function, which in turn assume random positions  $(i, j)$ ; they are a subset that will be reordered. The probability that firefly  $i$  or  $j$  is permuted or moved more times is given by the brightness and the distance between fireflies. In this way, the solutions that give off less light are brought closer to those with a higher brightness.

A path is assigned to each workstation from  $i$  to  $j$  until all the nodes in the set are initialized, progressively evaluating the cost associated with each path to find the optimal value of cost or total distance in terms of the iterations performed.

A comparison was made against a conventional nearest neighbor constructive heuristic algorithm, or Local Optimization Algorithm (LOA). The results are shown in Figures 3 and 4.

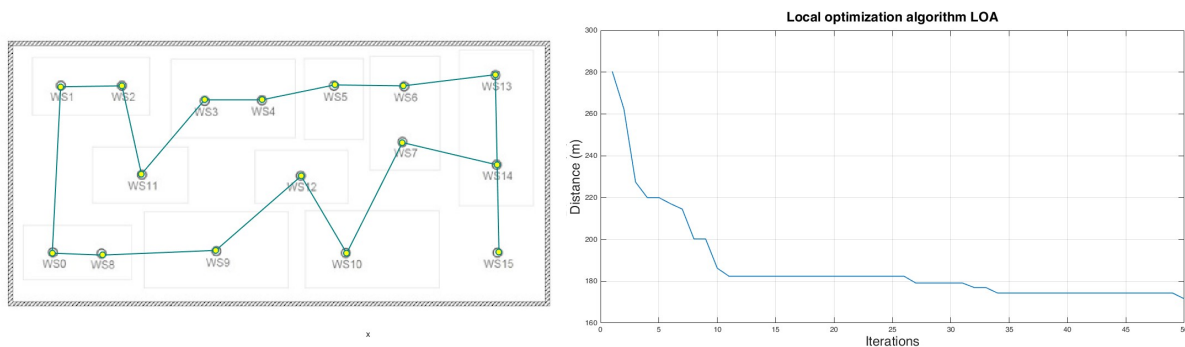
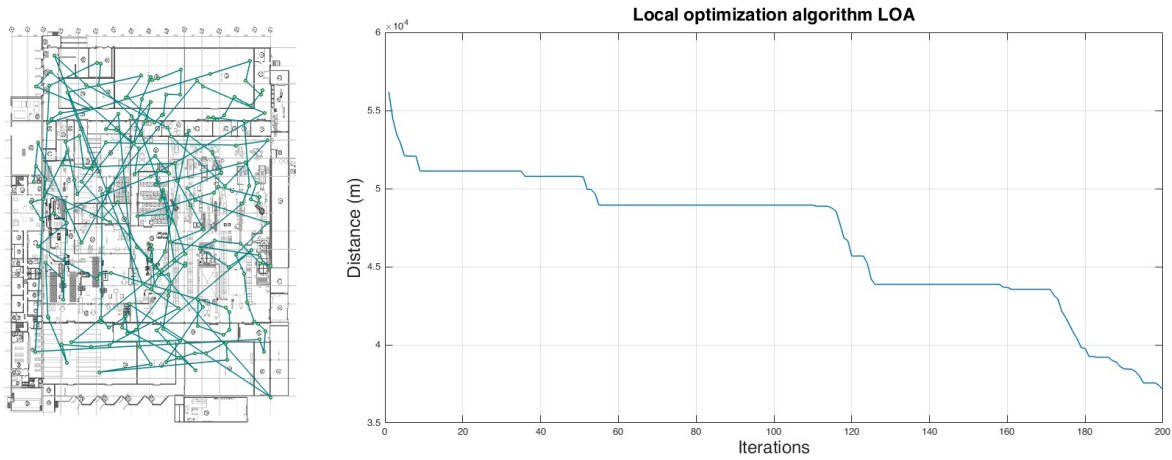


Figure 3. LOA for facility layout 1

Source: Authors.

After 31 iterations of the algorithm, the best solution corresponded to the combination shown in Table 1, with 156,0187 meters for the FA and 157,21 meters with 38 iterations for the LOA. Compared with the initial configuration of the path that was at a value of 283.34 meters.

In order to evaluate the performance of the algorithm with a more robust test, a second layout corresponding to a food product factory with 200 workstations was considered. The results are shown in Figures 5 and 6.



**Figure 4.** FA optimization of facility layout 1

**Source:** Authors.

**Table 1.** Results for facility layout 1 (LOA vs. FA)

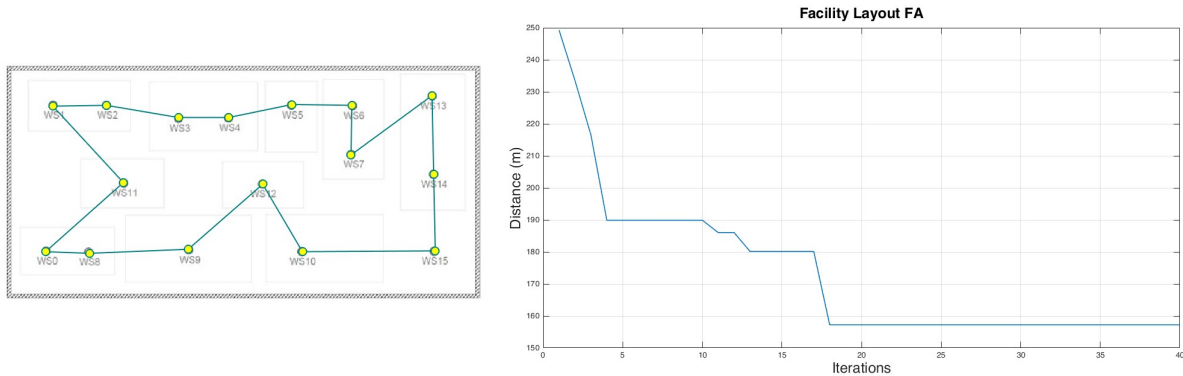
Local Optimization Algorithm		Firefly Algorithm	
<i>Iterations</i>	<i>Distance (m)</i>	<i>Iterations</i>	<i>Distance (m)</i>
46	163,8553	27	158,4811
45	158,2495	31	156,0187
42	160,3966	35	159,3212
38	157,2173	34	157,21737

**Source:** Authors

The best solution corresponded to the combination shown in Table 2, with 8.096,936 m and 129 iterations for FA and 39.153,53 m and 200 iterations for the LOA. It is evident that, in the case of a plant with a higher degree of complexity, the FA algorithm performs better than the LOA, which, despite reaching 200 iterations, still fails to find an optimal minimum.

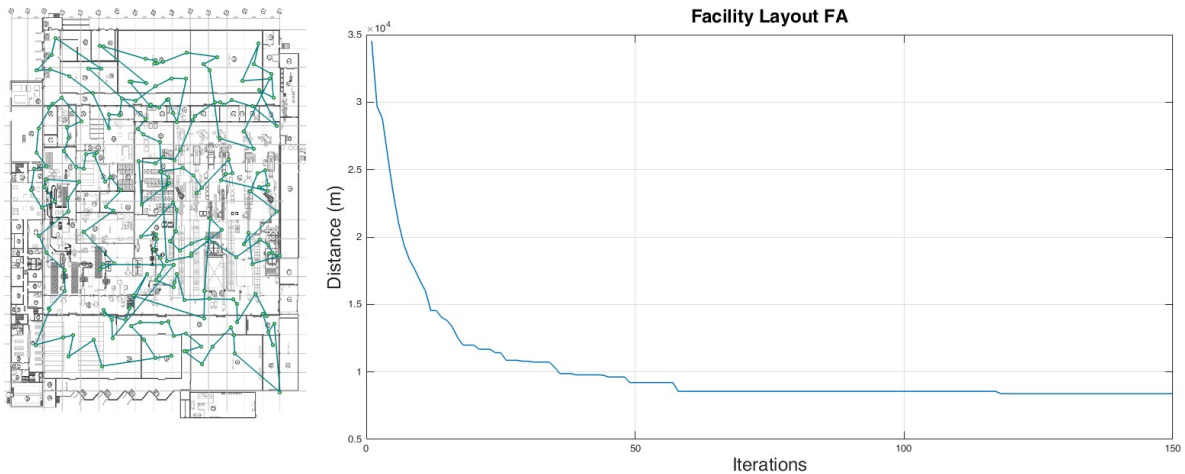
## DISCUSSION

A two-dimensional FA representation was developed, and the algorithm showed a good performance in the test scenarios. It has optimal and fast convergence with a reasonable amount of running time over ten generations once the maximum light intensity is chosen as the optimal solution.



**Figure 5.** LOA for facility layout 2

**Source:** Authors.



**Figure 6.** FA optimization of facility layout 2

**Source:** Authors.

The optimized distances associated with the layout plan in these tests were 156,0187 and 8.096,936 m, depending on the ability to optimize time, flows, and the handling of materials, among many other aspects, until a finished product is achieved. Under that premise, the scope of the results evidenced a final strategy for saving money, but also for optimizing the material flow.

The results achieved for layout 1 by the developed FA algorithm show a similar performance to that of the conventional heuristic LOA (Table 3). After the maximum number of iterations for each generation was reached in each test, the cost function was calculated in order to validate the best option.

In the case of a more complex layout distribution, it is evident that the FA achieves a minimum optimum with fewer iterations than the LOA algorithm (Table 4).

**Table 2.** Results for facility layout 2 (LOA vs. FA)

Local Optimization Algorithm		Firefly Algorithm	
<i>Iterations</i>	<i>Distance (m)</i>	<i>Iterations</i>	<i>Distance (m)</i>
200	40.546,77	141	8.144,797
200	40.727,99	129	8.096,936
200	40.234,65	136	8.136,360
200	39.153,53	133	8.189,162

**Source:** Authors

**Table 3.** Best performances for facility layout 1

Algorithm	Iterations	Distance (m)
LOA	38	157,2173
FA	31	156,0187

**Source:** Authors

**Table 4.** Best performances for facility layout 2

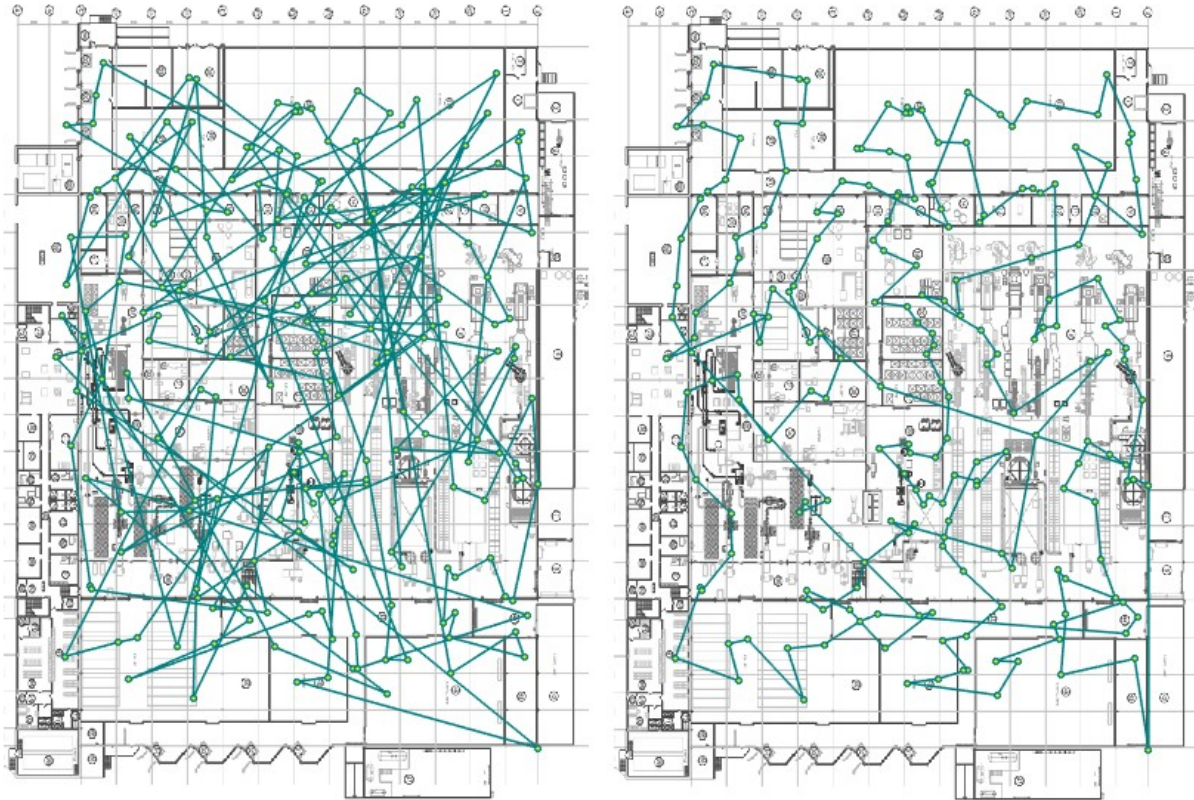
Algorithm	Iterations	Distance (m)
LOA	200	39.153,53
FA	129	8.096,936

**Source:** Authors

Finally, Figure 7 shows the comparison of the initial solution with respect to the optimized layout for a plant of greater complexity, which evidences how the algorithm performs the optimization task.

## CONCLUSIONS

In this research, the FA was used to define a model for representing the layout of a facility. It is important to define the objective function, ensuring that the best solution for the given problem is found. This algorithm offers a better path length, similar to other heuristic algorithms. In this case, a final optimized value of 156,0187 m was obtained for a simple facility layout, as well as 8.096.936 m for a complex facility layout –much better than the conventional heuristic algorithm.



**Figure 7.** Initial solution and final plan for facility layout 2

**Source:** Authors.

The FA works particularly well at solving combinatorial problems whose feasible solution space is too large to carry out a comprehensive search with reasonable computation times. In this case, the FA achieved a significant reduction in iteration times and speed of optimization.

The potential applications of the FA in logistic and combinatorial optimization problems, as is the case of path planning, shows good promise for facilitating decision-making.

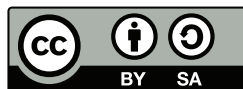
## REFERENCES

- [Dey (2020)] Dey, N. (2020). *Applications of firefly algorithm and its variants*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-0306-1> ↑Ver página 36
- [Dhillon & Goyal (2013)] Dhillon, A., & Goyal, S. (2013). PAPR reduction in multicarrier modulations using firefly algorithm. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 1(5), 1270-1275. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1074.509&rep=rep1&type=pdf> ↑Ver página 40

- [Hernández-Santibáñez *et al.* (2017)] Hernández-Santibáñez, M. I., Giraldo-Correa, L. F.; Gaviria-Ramírez., L. A., Wilches-David, A. M., & Osorio-Gómez, J. C. (2017). Priorización de despachos con AHP difuso y Topsis. *Revista Tecnura*, 21(52), 102-110. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.2.a08> ↑Ver página 36, 37
- [Jara-Estupiñan *et al.* (2020)] Jara-Estupiñan, J., Hernández-Suárez, C. A., & Giral-Ramírez, D. A. (2020) Optimal value of past samples for decision making in cognitive radio networks. *Revista Tecnura*, 24(65), 13-26. <https://doi.org/10.14483/22487638.15278> ↑Ver página 36
- [Jati (2011)] Jati, G. K. (2011). Evolutionary discrete firefly algorithm for travelling salesman problem. In International conference on adaptive and intelligent systems. In A. Bouchachia (Ed.), *Adaptive and Intelligent Systems* (pp. 393-403). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23857-4\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23857-4_38) ↑Ver página 38
- [Kumar & Kumar (2021)] Kumar, V., & Kumar, D. (2021). A systematic review on firefly algorithm: Past, present, and future. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(4), 3269-3291. <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09498-y> ↑Ver página 38
- [Kumbharana & Pandey (2013)] Kumbharana, S. N., & Pandey, G. M. (2013). Solving travelling salesman problem using firefly algorithm. *International Journal for Research in Science & Advanced Technologies*, 2(2), 53-57. <https://www.academia.edu/download/35300356/IJRSAT-Vol2-Issue2-0002.pdf> ↑Ver página 38
- [Łukasik, S., & Żak, 2009] Łukasik, S., & Żak, S. (2009). Firefly algorithm for continuous constrained optimization tasks. In N. T. Nguyen, R. Kowalczyk, & S.-M. Chen (Eds.) *Computational Collective Intelligence. Semantic Web, Social Networks and Multiagent Systems* (pp. 97-106). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-04441-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-04441-0_8) ↑Ver página 38
- [Obando-Solano *et al.* (2016)] Obando-Solano, J. P., Zamora -Moreno, J. A., & Giraldo -Ramos, F. N. (2016). Algoritmo de optimización de colonias de hormigas para el problema de distribución en planta. *Revista Visión Electrónica*, 10(2), 184-189. <https://doi.org/10.14483/22484728.11897> ↑Ver página 39
- [Patle *et al.* (2018)] Patle, B. K., Pandey, A., Jagadeesh, A., & Parhi, D. R. (2018). Path planning in uncertain environment by using firefly algorithm. *Defence Technology*, 14(6), 691-701. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2018.06.004> ↑Ver página 37
- [Quiroga *et al.*, 2015] Quiroga, J., Cáceres, E., & Padilla, C. (2015). Optimización de trayectorias de fresado en cavidades utilizando el algoritmo Luciérnaga. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 30(1), 93-104. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652015000100010](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652015000100010) ↑Ver página 38



- [Ramírez-Ramírez *et al.* (2016)] Ramírez-Ramírez, J. D., Arrieta-Giraldo, J. S., & Garcés-Ruiz, A. (2016). Distribución óptima de turbinas en parques eólicos mediante PSO considerando el efecto sombra. *Revista Tecnura*, 20(47), 49-55. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.1.a04> ↑Ver página 39
- [Saraei *et al.* (2015)] Saraei, M., Analouei, R., & Mansouri, P. (2015). Solving of travelling salesman problem using firefly algorithm with greedy approach. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (CFD)*, 36(6), 267-273. [https://arastirmax.com/sites/default/files/filefield\\_paths/5000142870-5000238948-1-pb.pdf](https://arastirmax.com/sites/default/files/filefield_paths/5000142870-5000238948-1-pb.pdf) ↑Ver página 37, 38
- [Solarte *et al.* (2018)] Solarte, G. R., Soto-Mejía, J., & Muñoz-Guerrero, L. E. (2018). Localización del punto óptimo de partida en el problema de ruteo vehicular con capacidad restringida (CVRP). *Revista Tecnura*, 23(59), 27-46. <https://doi.org/10.14483/22487638.13653> ↑Ver página 36
- [Trachanatzi *et al.* (2020)] Trachanatzi, D., Rigakis, M., Marinaki, M., & Marinakis, Y. (2020). A firefly algorithm for the environmental prize-collecting vehicle routing problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 57, 100712. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2020.100712> ↑Ver página 37
- [Yang (2013)] Yang, X. S. (2013). Multiobjective firefly algorithm for continuous optimization. *Engineering with Computers*, 29(2), 175-184. <https://doi.org/10.1007/s00366-012-0254-1> ↑Ver página 36, 38
- [Wu *et al.* (2020)] Wu, J., Wang, Y. G., Burrage, K., Tian, Y. C., Lawson, B., & Ding, Z. (2020). An improved firefly algorithm for global continuous optimization problems. *Expert Systems with Applications*, 149, 113340. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113340> ↑Ver página 38



## Modelo en gerencia de proyectos para pymes de consultoría informática en Bogotá, basado en marcos ágiles de trabajo

### Project management model for IT consulting SMEs in Bogotá, based on agile frameworks

Yeraldin Arias Battle <sup>1</sup>, Guillermo Roa Rodríguez <sup>2</sup>

Fecha de Recepción: 14 de enero de 2022

Fecha de Aceptación: 04 de julio de 2022

**Cómo citar:** Arias Battle, Y. y Roa Rodríguez, G. (2022). Modelo en gerencia de proyectos para pymes de consultoría informática en Bogotá, basado en marcos ágiles de trabajo. *Tecnura*, 26(74), 49-69. <https://doi.org/10.14483/22487638.17094>

## Resumen

**Contexto:** Las pymes, en general, cumplen un papel muy importante en la economía y en la generación de empleo para Colombia, como país en desarrollo. Particularmente inmersas en este gran conjunto de empresas se encuentran las pymes de consultoría informática, las cuales, dentro de las empresas asociadas al área de tecnologías de información, generaron las mayores ventas del sector para 2015 (Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia [MinTIC], 2015). Sin embargo, a pesar de su gran representación y crecimiento, uno de los principales factores que inciden en sus problemáticas son los métodos de gestión de proyectos utilizados; de hecho, autores como [Silveira Campanelli & Silva Parreiras, 2015](#) indican la creciente tendencia y necesidad de la adaptación de marcos ágiles en las empresas. Así mismo, [Whitney y Daniels, 2013](#) refuerzan la idea del potencial de la adopción de estas metodologías en proyectos de tecnologías de información (TI), debido a su flexibilidad ante situaciones cambiantes y maleabilidad frente a controles formales.

**Método:** Como metodología se planteó la caracterización y definición de los aspectos críticos comunes sobre los proyectos gestionados del sector de consultoría informática, lo cual permitió continuar con la correlación de los aspectos críticos comunes identificados con marcos ágiles en gerencia de proyectos para así, usando la información obtenida, diseñar un modelo ágil en gerencia de proyectos para pymes de consultoría informática en Bogotá, finalizando con su respectiva validación.

**Resultados:** Se diseñó y validó el modelo para pymes de consultoría informática en Bogotá, sobre un proyecto desarrollado por una de las empresas de la muestra representativa, que cumplía con las características del estudio, sobre el cual se observó un porcentaje de mejora del 77%, en el tiempo de entrega, del 57% en la gestión de costo sin afectaciones a su alcance, en cumplimiento con lo requerido por el cliente.

<sup>1</sup>Ingeniera de Sistemas, magíster en Gerencia de Proyectos de la Universidad Militar Nueva Granada. Data Analyst de la compañía Seidor Analytics. Bogotá, Colombia.

Email: [u21100080@unimilitar.edu.co](mailto:u21100080@unimilitar.edu.co)

<sup>2</sup>Ingeniero en Mecatrónica, especialista en Gerencia Integral de Proyectos, magíster en Ingeniería Mecatrónica. Docente de la Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

Email: [guillermo.roa@unimilitar.edu.co](mailto:guillermo.roa@unimilitar.edu.co)

**Conclusiones:** Tomando como base los resultados obtenidos al implementar el modelo desarrollado, se infiere que, al implementar el modelo en los proyectos desarrollados por empresas de consultoría informática en Bogotá (Colombia), pueden llegar a tener resultados satisfactorios en el desarrollo de sus proyectos, en cuanto al tiempo, costo y alcance, pues la validación permitió observar una mejora del 77% en cuanto a las desviaciones de tiempo y un 57% respecto a las desviaciones de costo precisando una mínima afectación al cumplimiento de los alcances comprometidos.

**Financiamiento:** Universidad Militar Nueva Granada.

**Palabras clave:** consultoría informática, gerencia de proyectos, marcos de trabajos ágiles, modelo, Prince2, pyme, Scrum.

---

## Abstract

**Context:** Small and medium enterprises (SMEs) are critic for economic development and job creation in Colombia, as a developing country. Specifically, those in the IT consulting subsector produced the highest profits in the technological area, according to the 2015 records (Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia, 2015). However, despite their growing rate and huge impact, one of the main factors that affects their problems is the selection of the project management method; actually, authors as Campanelli and Parreiras show a remarkable trend into the agile frameworks adaptation inside the companies (Silveira Campanelli & Silva Parreiras, 2015). Also, Whitney and Daniels, strengthen the idea of the potential that have the agile framework on IT projects due to its flexibility when changing situations appear with respect to predictive methods (Whitney y Daniels, 2013).

**Method:** For the development of the research, it was proposed, to characterize and define the common critical aspects of the managed projects, correlate the common critical aspects identified, with agile frameworks in project management, design an agile model in project management for IT consulting SMEs in Bogotá and finally Validate the model developed.

**Results:** As a result of the research carried out, the model for IT consulting SMEs in Bogotá was designed and validated, on a project developed by one of the companies in the representative sample, which met the characteristics of the study, on which a percentage was observed improvement of 77%, over time, 57% in costs and its scope was not affected, complying with what the client requires. Based on the results obtained when implementing the developed model.

**Conclusions:** It is inferred that by implementing the model in the projects developed by IT consulting companies in Bogotá, they can have satisfactory results in the development of their projects, in terms of time, cost and scope.

**Support:** Universidad Militar Nueva Granada

**Keywords:** IT Consulting, Project Management, Agile Work Frameworks, Model, PRINCE2, SME, SCRUM

---

## Tabla de Contenidos

	<b>Página</b>
<b>Introducción</b>	<b>51</b>
<b>Metodología</b>	<b>52</b>
Técnicas e instrumentos de recolección de información . . . . .	52
<b>Resultados</b>	<b>52</b>
Caracterización y definición los aspectos críticos comunes sobre los proyectos gestionados .	53
Correlación de los aspectos críticos comunes identificados, con marcos ágiles en gerencia de proyectos . . . . .	54

Diseño de modelo ágil en gerencia de proyectos, para pymes de consultoría informática en Bogotá . . . . .	61
Inicio . . . . .	62
Planeación y diseño . . . . .	62
Desarrollo . . . . .	63
Fase cierre . . . . .	64
Validación del modelo desarrollado . . . . .	64
<b>Conclusiones</b>	<b>66</b>
<b>Agradecimiento</b>	<b>66</b>
<b>Referencias</b>	<b>66</b>

## INTRODUCCIÓN

Las pymes en general tienen un papel muy importante en la economía y en la generación de empleo; inmersas en este gran conjunto de empresas, se encuentran las de consultoría informática, de las cuales, las de tecnologías de información (TI) en Colombia, de acuerdo con el informe de caracterización de 2015, generaron las mayores ventas del sector ([MinTIC, 2015](#)). Las de consultoría informática desarrollan proyectos tecnológicos que apoyan las actividades elementales de las organizaciones. Con los nuevos avances, para las organizaciones se hace indispensable implementar tecnologías que soporten sus procesos, y que mejoren su rendimiento, productividad y eficiencia. Sin embargo, la literatura indica que una gran cantidad de proyectos propios de dicha naturaleza fallan por incumplimiento en alguna de las restricciones básicas, como el tiempo, el costo o el alcance ([Whitney y Daniels, 2013](#), [Gallo et al., 2022](#)).

Algunos informes como *CHAOS Report* ([The Standish Group, 2020](#)) indican que, si bien son muchos los proyectos que no fueron exitosos en el área de TI, aquellos que aplican un método ágil tienen más probabilidad de éxito, que los que utilizan metodologías tradicionales. Para los proyectos de TI, se identifica que los marcos de trabajo ágiles tienen mayor compatibilidad, esto partiendo de las características propias de los desarrollos tecnológicos, dado que son complejos, adaptables en los requerimientos del usuario, y el producto generado debe cumplir con las especificaciones solicitadas por los usuarios ([Peña Abreu et al., 2016](#)). Se identifica que el fracaso de muchos de estos proyectos se debe a la gerencia de proyectos, específicamente a los métodos utilizados y sobre todo a su adaptación ([Ardila Albarracín et al., 2014](#)). El modelo planteado ayuda a incrementar las posibilidades de éxito en los proyectos ejecutados por las empresas del estudio, siguiendo su naturaleza propia.

## METODOLOGÍA

El tipo de estudio seleccionado para la investigación fue correlacional, pues asocia los factores que inciden en los proyectos de consultoría informática y las metodologías ágiles adaptadas a la naturaleza de la empresa. Los participantes que participan en el estudio son las pequeñas y mediana empresas de consultoría informática en Bogotá, así como los gerentes de proyectos o personas que lideran los proyectos de dichas empresas. Para el progreso del objetivo general se desarrollaron varias fases, enfocadas en los objetivos específicos, como se muestra en la figura 1. El desarrollo de la metodología consta de cuatro fases (A, B, C y D), cada una constituida por uno o más procesos secuenciados, cuyo fin es contribuir al avance del objetivo general.

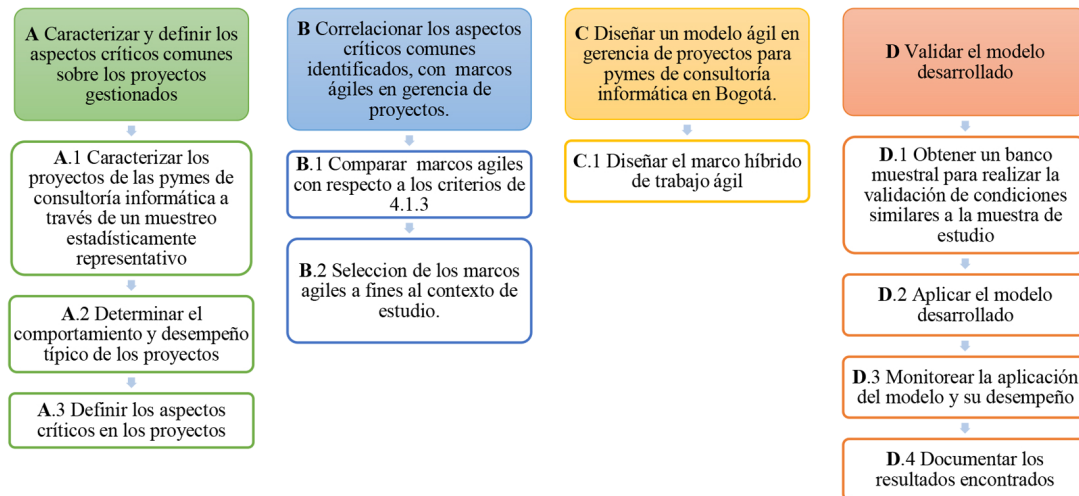


Figura 1. Desarrollo de la metodología, elaboración propia

Fuente: Autores.

## Técnicas e instrumentos de recolección de información

Se diseñaron y aplicaron dos encuestas: la primera, dirigida a todas las empresas de consultoría informática de la muestra representativa; y la segunda, aplicada al conjunto de empresas que indicaron utilizar alguna metodología para gerenciar sus proyectos.

## RESULTADOS

Siguiendo la metodología planteada en la figura 1, se obtuvieron los resultados correspondientes a las fases ilustradas. Se inició con la caracterización de los aspectos críticos comunes sobre los proyectos gestionados en la muestra representativa, para luego correlacionarlos con los marcos ágiles

más afines para su gestión y así proyectar un diseño de modelo ágil en gerencia de proyectos orientado a las pymes objeto de estudio, y finalmente ejecutar su validación en un sujeto de la muestra.

### **Caracterización y definición los aspectos críticos comunes sobre los proyectos gestionados**

Para esta investigación se tomó como población 82 empresas, las cuales fueron el resultado del proceso de análisis a partir de la herramienta, base de datos en línea de la Cámara de Comercio de Bogotá (CCB), entidad privada sin ánimo de lucro que registra y administra la información de las empresas constituidas en la ciudad de Bogotá (CCB, 2020); para obtener dicha población, se establecieron y aplicaron los siguientes filtros de análisis:

- Cámara de Comercio y ubicación Bogotá, Colombia.
- Actividad económica CIIU J6202.
- Tamaño de empresas: medianas y pequeñas.
- Renovadas en 2019 (pues el estudio se realizó a corte de 2020).
- Rango de empleados 11-200.
- Fecha de matrícula vigente mínimo desde 2015.

Por otra parte, también se tomó en cuenta la garantía de los campos *e-mail*, *teléfono* y *dirección* dentro de la base de datos generada, con el fin de contactar a las empresas por dichos medios. El proceso se realizó en dos partes: la primera, enfocada en las pequeñas empresas y, segundo, en las medianas. Unificando los resultados, se obtuvo un universo de 82 empresas de categoría pyme cuya actividad económica se asocia con la consultoría informática; luego se aplicó el muestreo aleatorio simple para poblaciones finitas para establecer la muestra, de la cual se obtuvieron 45 empresas, donde  $N$  corresponde al universo de estudio conocido,  $Z$  asociado a un nivel de confianza del 95 % y usando un margen de error máximo del 10 % para  $e$ , como se muestra en la ecuación (1).

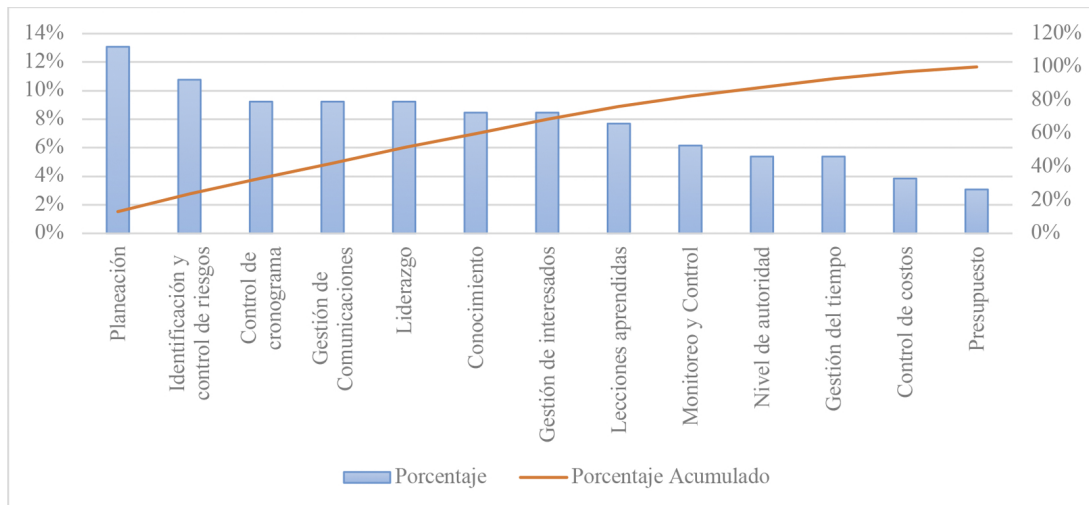
$$n = \frac{NG^2Z^2}{e^2(N-1) + G^2Z^2} = \frac{82 \cdot 0,5^2 \cdot 1,96^2}{0,1^2(82-1) + (0,5^2 \cdot 1,96^2)} = 44,48 \quad (1)$$

Como resultado para esta fase, se determinó que los proyectos de las empresas de consultoría informática:

- Suelen ser de consultoría informática o integran esta actividad con administración de instalaciones informáticas.
- Se ejecutan en cronogramas menores a un mes y no mayores a doce meses.
- Se ejecutan con costos entre COP 1 000 000 y hasta COP 2 000 000 000.

- Se presupuestan con valores menores o iguales a COP 3 000 000 y hasta COP 3 000 000 000.

Los proyectos de consultoría informática normalmente se desarrollan bajo enfoques de gestión de proyectos ágiles y combinadas. Esta clase de proyectos se desfasan en su mayoría en un 48 % en el alcance, un 28 % en el tiempo y en un 12 % en el tiempo y costo, y debido a este incumplimiento pueden fallar con una probabilidad de hasta un 80 %. Parte del 71 % de las empresas indicaron que no se están aplicando las lecciones aprendidas que pueden ser adquiridas de otros proyectos desarrollados. Luego se aplicó un análisis para seleccionar los principales aspectos en los proyectos de consultoría informática por medio del principio de Pareto, el cual indica que, como regla, el 80 % de los impactos o resultados son provocados por solo el 20 % de las fuentes o causas (Muhammad Khan y Ramzan, 2018). En la figura 2, se muestran los resultados, donde el eje vertical izquierdo corresponde a los porcentajes individuales y el eje vertical derecho a los porcentajes acumulados.



**Figura 2.** Diagrama de Pareto

**Fuente:** Autores.

De acuerdo con la figura 2, y con el principio de Pareto, se identificaron ocho aspectos críticos. En los proyectos de consultoría informática en orden descendente, de acuerdo con su importancia, corresponden a la planeación, identificación y control de riesgos, control del cronograma, gestión de comunicaciones, liderazgo, conocimiento, gestión de interesados, lecciones aprendidas.

### **Correlación de los aspectos críticos comunes identificados, con marcos ágiles en gerencia de proyectos**

Para determinar los marcos ágiles afines a la investigación, se realizó inicialmente una revisión de literatura, sobre investigaciones de los últimos cinco años, sobre metodologías que suelen ser utilizadas en los proyectos de tecnología (tabla 1).

**Tabla 1.** Metodologías y marcos de trabajo usados en proyectos TI según revisión de literatura

Autor	Año de publicación	Artículo	Metodología o marco trabajo utilizado
(Higuchi y Nakano (2017))	2017	Agile design: A combined model based on design thinking and agile methodologies for digital games projects	Scrum Design thinking
(Tarwani y Chug, 2016)	2016	Agile methodologies in software maintenance: A systematic review	XP Scrum Crystal Test Driven Development (TDD)
(Shama y Shivamant, 2015)	2015	A review of agile software development methodologies	XP Scrum Feature Driven Development (FDD)
(Stoica <i>et al.</i> , 2016)	2016	Analyzing agile development – from waterfall style to scrumban	Scrumban
(Mircea, 2019)	2019	Project management using agile frameworks	Scrum Kanban
(Imandi <i>et al.</i> , 2015)	2015	A critical analysis of project management models and it potential risks in software development	Scrum Scrumban Kanban
(Singh y Dhirendra, 2017)	2017	Implementation of requirement engineering in extreme programing and SCRUM	XP
(Shabbir <i>et al.</i> , 2018)	2018	A hybrid approach for mapping scrum to capability maturity model integration key process areas for web environment applications	Scrum, Feature Driven Development (FDD), Dynamic System, Development Method (DSDM), Adaptive Software Development (ASD)
(Muñoz-Mata <i>et al.</i> , 2015)	2015	Helping organizations to address their effort toward the implementation of improvements in their software process	Scrum
(Qureshi <i>et al.</i> , 2017)	2017	Evaluating the Quality of Proposed Agile XScrum Model	Xscrum, XP, Scrum
(Andrei <i>et al.</i> , 2019)	2019	A study on using waterfall and agile methods in software project management	Scrum, Kanban
(Ozieranska <i>et al.</i> , 2016)	2016	The critical factors of Scrum implementation in IT project - The case study	Scrum
(Williams <i>et al.</i> , 2017)	2017	Business intelligence-success through agile implementation	Scrum
(Banica <i>et al.</i> , 2017)	2017	Is DevOps another project management methodology?	Desarrollo y operaciones (DevOps)
(Vargas, 2016)	2016	Project Agile Management For Software Development: A Comparative Study On The Applicability Of Scrum Together With Pmbok And / Or Prince2	PMBOK, Prince2, scrum
(Kotaiah y Khalil, 2017)	2017	Approaches for development of software projects: Agile methodology	Ciclo de vida de desarrollo de software (SDLC), XP Crystal, Scrum, Desarrollo basado en funciones (FDD)
(Hamad <i>et al.</i> , 2018)	2018	IT Project Management Techniques for Development Professionals	Prince2



A partir de dichos resultados, se analizó la frecuencia para determinar las metodologías con mayor uso, según los artículos revisados. En la tabla 2 se registran los valores resultantes.

**Tabla 2.** Frecuencia de metodologías utilizadas en proyectos TI

Metodología	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Scrum	13	13	0,351351351	0,351351351
XP	5	18	0,135135135	0,486486486
Kanban	3	21	0,081081081	0,567567568
FDD	3	24	0,081081081	0,648648649
Scrumban	2	26	0,054054054	0,702702703
Crystal	2	28	0,054054054	0,756756757
Prince2	2	30	0,054054054	0,810810811
PMBOK	1	31	0,027027027	0,837837838
Design thinking	1	32	0,027027027	0,864864865
TDD	1	33	0,027027027	0,891891892
DSDM	1	34	0,027027027	0,918918919
ASD	1	35	0,027027027	0,945945946
DevOps	1	36	0,027027027	0,972972973
SDLC	1	37	0,027027027	1
<b>Total</b>	<b>37</b>		<b>1</b>	

Aplicando el análisis de estadística descriptiva, sobre la frecuencia relativa acumulada, para determinar la mediana como medida centralizada de los datos, se obtuvieron las siguientes metodologías o marcos candidatas a usarse en el contexto de estudio en orden descendente:

*Scrum – XP – Kanban – FDD – Scrumban – Crystal – Prince2*

Posteriormente se utilizó la matriz de decisión ponderada, como herramienta para calificar los marcos ágiles candidatos respecto a los aspectos críticos identificados y su desglose. Este último fue sometido a criterio de expertos, quienes calificaron su porcentaje en importancia dentro del aspecto según su experiencia; a cada aspecto se le dio un porcentaje del 100%. Para el análisis de experto fue necesario un profesional con amplia experiencia en gerencia de proyectos, preferiblemente con certificación *Scrum*, *PMI* o *Prince2*, con al menos diez años de trabajo en proyectos de tecnología informática, para la implementación de proyectos transaccionales, de bodegas de datos o digitales. También fue necesario un rol complementario de especialista con experiencia de entre diez y veinte años en desarrollo de proyectos de tecnología informática, en calidad de gerente, director o consultor, con manejo de metodologías tradicionales de gestión de proyectos y metodologías ágiles. De los roles descritos se pudo contactar a tres expertos que cumplieran con las características descritas. De acuerdo

con la tabla 3, para establecer el puntaje o peso definitivo de los ítems, se usó la media aritmética como medida para integrar los puntajes establecidos por los diferentes expertos, siguiendo lo evaluado por Vinogradova *et al.*, 2018, quienes indican que, al utilizar métodos de evaluación de criterio múltiples, se puede trabajar la media aritmética o la media geométrica como integrador.

Una vez obtenidos los pesos o puntajes para cada desglose del aspecto crítico, se realizó la calificación por marcos ágiles candidatos, los expertos calificaron según el conocimiento y experiencia con un puntaje de 1 a 5, donde 1 indica que la metodología o marco no es adaptable al criterio, y 5 es muy adaptable; las calificaciones por metodología y experto fueron organizadas según la tabla 4.

Posteriormente se obtuvo la matriz de decisión ponderada, mostrada en la tabla 5.

Al obtener los resultados de la matriz de decisión ponderada, mostrada en la tabla 5, se realizó una agrupación primaria, y se revisó la distancia entre estos, para identificar los marcos clasificados; sin embargo, el marco *Scrum* resultó ser el más afín a los criterios, según los puntajes, por lo cual se procedió con una segunda clasificación para no sesgar los resultados a un solo marco. En este segundo análisis se revisaron los puntajes por aspectos, y su afinidad con estos; el resultado fue la metodología *Prince2* para los aspectos de identificación y control de riesgo y lecciones aprendidas, tomando un enfoque ágil.

**Tabla 3.** Calificación desglose de aspectos críticos

Aspectos	Calificación final (%)
<b>Planificación</b>	
Ítem 1 - Levantamiento de requerimiento y alcance con el cliente	21
Ítem 2 - Socialización del requerimiento y alcance con el cliente y aceptación	10
Ítem 3 - Identificación y creación del flujo de proceso para el desarrollo del producto o servicio	12
Ítem 4 - Identificación de los insumos por parte del cliente para el desarrollo	13
Ítem 5 - Creación de los perfiles del equipo de trabajo necesarios según el flujo de procesos	10
Ítem 6 - Socialización del requerimiento y alcance del proyecto con el equipo de trabajo	9
Ítem 7 - Desglose de actividades en cada proceso con ayuda del equipo de trabajo	13
Ítem 8 - Estimación de las actividades con ayuda del equipo de trabajo	12
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Identificación y control de riesgos</b>	
Ítem 1 - Identificación de riesgos por parte del cliente o interesados	20

Ítem 2 - Identificación de riesgos por parte del equipo de trabajo	20
Ítem 3 - Clasificación del riesgo según su importancia	20
Ítem 4 - Socialización de los riesgos	20
Ítem 5 - Prevenir, mitigar o asumir el riesgo según su clasificación	20
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Control de cronograma</b>	
Ítem 1 - Socializar el cronograma con el equipo de trabajo y los interesados	38
Ítem 2 - Modificar el cronograma con cada ajuste que sufra el equipo, el requerimiento o el insumo fuente para el desarrollo	15
Ítem 3 - Socialización del nuevo cronograma	13
Ítem 4 - Controlar el inicio, finalización y retraso de las tareas	33
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Gestión de comunicaciones</b>	
Item1 - Reuniones de seguimiento semanal o a mitad de semana	23
Ítem 2 - Fomentar comunicación informal entre los miembros del equipo del proyecto	25
Ítem 3 - Transmitir por medio de canales formales información o solicitudes o actas de importancia para el proyecto.	30
Ítem 4 - Comunicar Inconvenientes, logros y avances en el proyecto con el equipo de trabajo	22
<b>Liderazgo</b>	<b>100</b>
Ítem 1 - Fomentar e incentivar el liderazgo en el equipo	42
Ítem 2 - Generar motivación hacia el equipo de trabajo, por medio de incentivos que pueden ser económicos, laborales, educativos o culturales.	33
Ítem 3 - Realizar Actividades de grupales entre el equipo de trabajo que generen un buen clima laboral	25
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Conocimiento</b>	
Ítem 1 - Validar el nivel de conocimiento requerido para el desarrollo de las tareas en el equipo de trabajo	28
Ítem 2 - Socializar, planes, cronogramas e información de importancia con el equipo de trabajo	23
Ítem 3 - Capacitar al equipo de trabajo	23
Ítem 4 - Transferir conocimiento entre los integrantes del equipo de trabajo	25
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Gestión de interesados</b>	

Ítem 1 - Incluir a los interesados en el desarrollo del proyecto	40
Ítem 2 - Mantener contacto y disponibilidad con los interesados para validaciones, aclaraciones y pruebas	30
Ítem 3 - Hacer seguimiento al interesado del producto o servicio entregado para validar el valor de negocio ganado con el proyecto	30
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Lecciones aprendidas</b>	
Ítem 1 - Identificar y aplicar las lecciones aprendidas de proyectos similares	35
Ítem 2 - Establecer socialización de lecciones aprendidas en cada proceso	31
Ítem 3 - Documentar las lecciones aprendidas a lo largo del proyecto	34
<b>Total</b>	<b>100</b>

**Tabla 4.** Distribución de los expertos por metodologías o marcos

Experto	Metodología o marco
Experto 1	Scrum Prince2
Experto 2	XP FDD Cystal
Experto 3	Kanban Scrumban

**Tabla 5.** Matriz de decisión ponderada

Aspectos	Peso	Scrum		XP		Kanban		FDD		Scrumban		Crystal		Prince2	
		1-5	Total	1-5	Total	1-5	Total	1-5	Total	1-5	Total	1-5	Total	1-5	Total
<b>Planificación</b>															
Ítem 1	0,21	4	0,84	4	0,84	2	0,42	2	0,42	2	0,42	4	0,84	1	0,21
Ítem 2	0,10	4	0,40	3	0,30	2	0,20	2	0,20	2	0,20	5	0,50	1	0,10
Ítem 3	0,12	4	0,47	3	0,35	4	0,47	2	0,23	1	0,12	4	0,47	1	0,12
Ítem 4	0,13	3	0,38	3	0,38	3	0,38	1	0,13	1	0,13	2	0,25	2	0,25
Ítem 5	0,10	4	0,40	4	0,40	1	0,10	4	0,40	4	0,40	3	0,30	5	0,50
Ítem 6	0,09	3	0,28	5	0,47	4	0,37	4	0,37		0,00	2	0,19	4	0,37
Ítem 7	0,13	3	0,40	4	0,53	5	0,67	3	0,40	2	0,27	3	0,40	2	0,27

Ítem 8	0,12	3	0,35	4	0,47	5	0,58	3	0,35	1	0,12	2	0,23	2	0,23
<b>Subtotal</b>	<b>1</b>	<b>28</b>	<b>3,52</b>	<b>30</b>	<b>3,74</b>	<b>26</b>	<b>3,19</b>	<b>21</b>	<b>2,50</b>	<b>13,00</b>	<b>1,65</b>	<b>25,00</b>	<b>3,18</b>	<b>18</b>	<b>2,05</b>
<b>Identificación y control de riesgos</b>															
Ítem 1	0,20	3	0,60	2	0,40	1	0,20	2	0,40	1	0,20	2	0,40	5	1,00
Ítem 2	0,20	2	0,40	3	0,60	3	0,60	3	0,60	4	0,80	4	0,80	4	0,80
Ítem 3	0,20	3	0,60	2	0,40	1	0,20	1	0,20	1	0,20	2	0,40	4	0,80
Ítem 4	0,20	2	0,40	2	0,40	2	0,40	1	0,20	3	0,60	2	0,40	4	0,80
Ítem 5	0,20	3	0,60	2	0,40	4	0,80	2	0,40	3	0,60	2	0,40	4	0,80
<b>Subtotal</b>	<b>1</b>	<b>13,00</b>	<b>2,60</b>	<b>11,00</b>	<b>2,20</b>	<b>11,00</b>	<b>2,20</b>	<b>9,00</b>	<b>1,80</b>	<b>12,00</b>	<b>2,40</b>	<b>12,00</b>	<b>2,40</b>	<b>21</b>	<b>4,20</b>
<b>Control de cronograma</b>															
Ítem 1	0,38	4	1,53	3	1,15	3	1,15	3	1,15	4	1,53	2	0,77	3	1,15
Ítem 2	0,15	3	0,45	4	0,60	4	0,60	2	0,30	3	0,45	2	0,30	5	0,75
Ítem 3	0,13	3	0,40	3	0,40	3	0,40	2	0,27	4	0,53	2	0,27	2	0,27
Ítem 4	0,33	4	1,33	3	1,00	3	1,00	4	1,33	4	1,33	2	0,67	3	1,00
<b>Subtotal</b>	<b>1</b>	<b>14,00</b>	<b>3,72</b>	<b>13,00</b>	<b>3,15</b>	<b>13,00</b>	<b>3,15</b>	<b>11,00</b>	<b>3,05</b>	<b>15,00</b>	<b>3,85</b>	<b>8,00</b>	<b>2,00</b>	<b>13,00</b>	<b>3,17</b>
<b>Gestión de comunicaciones</b>															
Ítem 1	0,23	5	1,17	2	0,47	2	0,47	5	1,17	4	0,93	1	0,23	2	0,47
Ítem 2	0,25	5	1,25	5	1,25	4	1,00	5	1,25	4	1,00	4	1,00	2	0,50
Ítem 3	0,30	2	0,60	1	0,30	2	0,60	1	0,30	1	0,30	2	0,60	4	1,20
Ítem 4	0,22	4	0,87	1	0,22	4	0,87	3	0,65	4	0,87	2	0,43	2	0,43
<b>Subtotal</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>3,88</b>	<b>9</b>	<b>2,23</b>	<b>12</b>	<b>2,93</b>	<b>14,00</b>	<b>3,37</b>	<b>13,00</b>	<b>3,10</b>	<b>9,00</b>	<b>2,27</b>	<b>10,00</b>	<b>2,60</b>
<b>Liderazgo</b>															
Ítem 1	0,42	5	2,08	1	0,42	5	2,08	2	0,83	3	1,25	2	0,83	1	0,42
Ítem 2	0,33	5	1,67	1	0,33	5	1,67	2	0,67	3	1,00	2	0,67	1	0,33
Ítem 3	0,25	5	1,25	1	0,25	1	0,25	2	0,50	3	0,75	1	0,25	1	0,25
<b>Subtotal</b>	<b>1</b>	<b>15,00</b>	<b>5,00</b>	<b>3,00</b>	<b>1,00</b>	<b>11,00</b>	<b>4,00</b>	<b>6,00</b>	<b>2,00</b>	<b>9,00</b>	<b>3,00</b>	<b>5,00</b>	<b>1,75</b>	<b>3,00</b>	<b>1,00</b>
<b>Conocimiento</b>															
Ítem 1	0,28	3	0,85	3	0,85	3	0,85	4	1,13	3	0,85	4	1,13	4	1,13
Ítem 2	0,23	5	1,17	3	0,70	4	0,93	2	0,47	4	0,93	2	0,47	3	0,70
Ítem 3	0,23	4	0,93	1	0,23	4	0,93	4	0,93	3	0,70	2	0,47	1	0,23
Ítem 4	0,25	4	1,00	4	1,00	5	1,25	4	1,00	3	0,75	2	0,50	1	0,25
<b>Subtotal</b>	<b>1</b>	<b>16,00</b>	<b>3,95</b>	<b>11,00</b>	<b>2,78</b>	<b>16,00</b>	<b>3,97</b>	<b>14,00</b>	<b>3,53</b>	<b>13,00</b>	<b>3,23</b>	<b>10,00</b>	<b>2,57</b>	<b>9,00</b>	<b>2,32</b>
<b>Gestión de interesados</b>															
Ítem 1	0,40	5	2,00	4	1,60	4	1,60	2	0,80	3	1,20	2	0,80	1	0,40
Ítem 2	0,30	4	1,20	5	1,50	3	0,90	3	0,90	3	0,90	2	0,60	1	0,30
Ítem 3	0,30	3	0,90	2	0,60	2	0,60	3	0,90	1	0,30	1	0,30	1	0,30
<b>Subtotal</b>	<b>1</b>	<b>12,00</b>	<b>4,10</b>	<b>11,00</b>	<b>3,70</b>	<b>9,00</b>	<b>3,10</b>	<b>8,00</b>	<b>2,60</b>	<b>7,00</b>	<b>2,40</b>	<b>5,00</b>	<b>1,70</b>	<b>3,00</b>	<b>1,00</b>
<b>Lecciones aprendidas</b>															

Ítem 1	0,35	4	1,40	1	0,35	1	0,35	1	0,35	2	0,70	2	0,70	5	1,75
Ítem 2	0,31	4	1,24	2	0,62	2	0,62	2	0,62	2	0,62	3	0,93	5	1,55
Ítem 3	0,34	4	1,36	1	0,34	1	0,34	1	0,34	1	0,34	2	0,68	5	1,70
Subtotal	1	12,00	4,00	4,00	1,31	4,00	1,31	4,00	1,31	5,00	1,66	7,00	2,31	15,00	5,00
Total			30,77		20,11		23,85		20,16		21,29		18,17		21,34

### Diseño de modelo ágil en gerencia de proyectos, para pymes de consultoría informática en Bogotá

El modelo en gestión de proyectos para pymes de consultoría informática, basado en marcos ágiles de trabajo, se estructuró en cuatro fases: inicio, planeación y diseño, desarrollo y cierre, las cuales buscan ser aplicables a la naturaleza de los proyectos de empresas de consultoría informática en Bogotá caracterizados, previamente, en proyectos de corta duración y de una duración de hasta 12 meses. Aquí el alcance suele ser un producto de consultoría informática, desarrollado para clientes de diferentes sectores, entre los que destaca el sector financiero, de servicio, y de tecnología y comunicaciones. El modelo se basa en el marco *Scrum* y en aspectos de la metodología *Prince2*. En la figura 3 se describe cada fase del modelo mostrado.

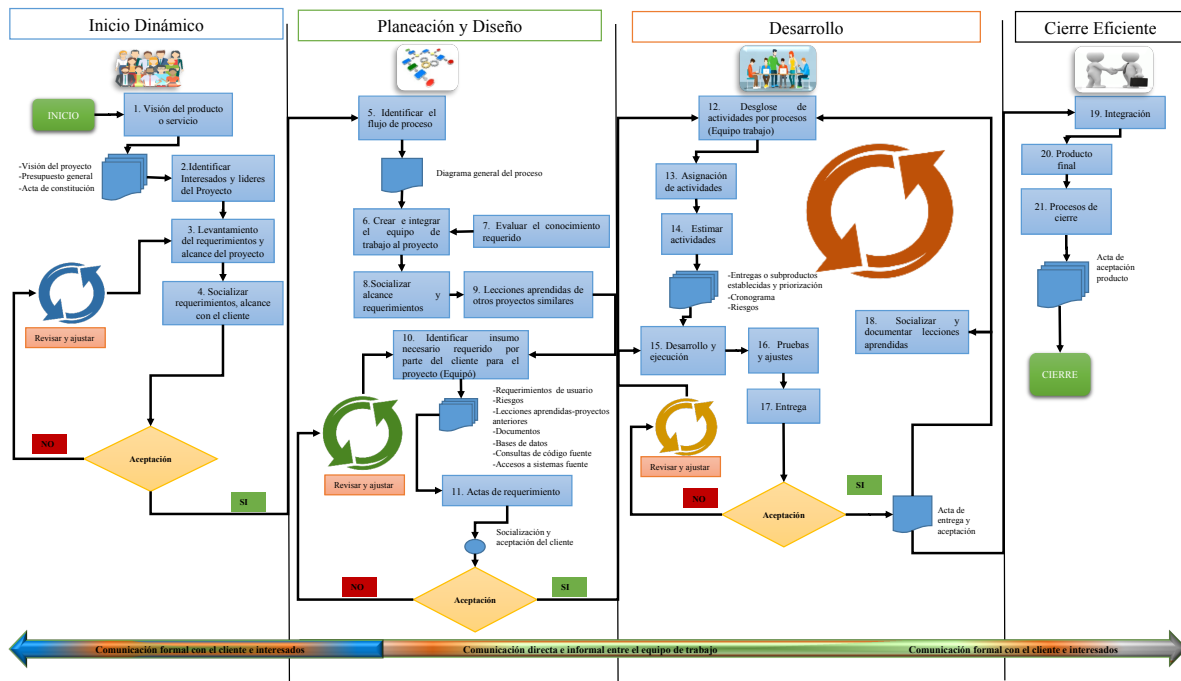


Figura 3. Modelo híbrido para gerencia de proyectos de consultoría informática

Fuente: Autores.

## ***Inicio***

Involucra la apropiación del proyecto tanto por parte del cliente como de la empresa desarrolladora, aun cuando se busca simplificar la gestión de los proyectos de consultoría informática. En esta fase se hace hincapié en la formalidad y la documentación. El primer proceso que se plantea es describir y establecer claramente la visión del proyecto, y se crea el acta de constitución del mismo proyecto.

Luego se identifican a los interesados y líderes de proyecto; proceso en el cual se debe incluir a la empresa de consultoría informática, cuando es establecida la empresa de consultoría informática que participará en el proyecto o dará soporte al mismo. El líder por parte de la empresa de consultoría informática debe hacer un levantamiento de requerimiento, definir el alcance del proyecto y asegurar la socialización y aceptación por parte del cliente, lo cual debe generar un acta de aceptación antes de pasar a la siguiente fase. Aquí, se recomienda tener una comunicación mayormente formal, para que así que el proceso quede debidamente respaldado. Se sugiere asignar el 5 % del tiempo total del proyecto.

## ***Planeación y diseño***

Se integran los riesgos y las lecciones aprendidas, a partir de la metodología *Prince2*, dada la importancia que confiere a estas dos dimensiones, las cuales deben ser integradas de manera temprana para incluir sus análisis en el planteamiento y diseño del producto. Por otra parte, se tiene en cuenta el marco *Scrum*, que puntualiza la importancia del equipo de trabajo y los roles a establecer. El primer proceso de la fase consiste en identificar y diseñar el flujo de procesos para el desarrollo del producto de consultoría informática, o el flujo para el subproducto o entregable, dependiendo de la magnitud del proyecto; para esto se debe organizar un diagrama general para el desarrollo del producto. A partir de este diagrama, se debe conformar el equipo de trabajo del proyecto. Es importante que el equipo tenga claridad del alcance y requerimientos del proyecto; punto en el que se recomienda socializar entre el equipo de trabajo las lecciones aprendidas de proyectos similares, recabar entre la documentación disponible de los proyectos culminados, o sobre la experiencia o anécdotas recopiladas. Las lecciones aprendidas deben manejarse en todo el proceso, y ser documentadas gradualmente o al finalizar cada entregable.

El siguiente paso sería la identificación, por parte del equipo, del insumo que debe obtenerse de los usuarios o cliente, como la fuente para desarrollar el producto de consultoría informática. Estos insumos se pueden traducir en documentos, planos, conexiones a bases de datos para extraer información o transformarla, consultas de código fuente, o simplemente el detalle paso a paso de las actividades o procesos que realizan los usuarios para generar un resultado o valor. Por otra parte, se deben identificar los posibles riesgos que puedan generarse por parte del usuario, o de la información o insumo que este debe entregar, y que pueden impactar de forma directa el desarrollo del produc-

to. Se sugiere indagar con los usuarios sobre las experiencias o lecciones aprendidas de proyectos similares que puedan ser de utilidad para el proyecto iniciado.

Esta fase debe tener documentado el proceso del insumo o del que ejecutan los usuarios para obtener información, o el análisis también debe ser socializado con los mismos y aceptado para seguir a la siguiente fase.

Se recomienda tener identificados los riesgos que pudieran generarse por parte de los usuarios directos. En el caso de que el requerimiento detallado que se recopiló no sea aceptado por el usuario, se debe revisar y validar nuevamente el proceso para la identificación del insumo. La comunicación en este proceso debe ser formal con el cliente o usuario; mientras que entre los grupos del equipo se sugiere una comunicación directa e informal, en busca de facilitar la comprensión y el trabajo en equipo. Para esta fase se recomienda asignar el 35 % del tiempo total del proyecto.

### **Desarrollo**

Aquí, se siguen contemplando los riesgos y las lecciones aprendidas de la metodología *Prince2*, y se integra el proceso de incremento basado en el marco *Scrum*. Esta fase busca detallar las actividades a seguir, y otorgarle un papel activo al equipo de trabajo en la identificación de las tareas a ejecutar: ¿cómo realizarlas y en cuánto tiempo? También busca garantizar la satisfacción del cliente y minimizar la repetición de trabajos, que hayan provocado los ajustes y cambios.

Se debe elaborar un desglose de las actividades por los procesos identificados en la fase de planeación y diseño; dicho desglose debe estar a cargo del equipo de trabajo. Posteriormente se deben asignar las actividades según los conocimientos necesarios requeridos para su desarrollo. Se establecen los entregables o subproductos, el cronograma y se tienen en cuenta los riesgos previamente identificados; también, es pertinente hacerles seguimiento constante a estos para un control eficiente.

En esta fase se desarrollan los subproductos o entregables establecidos, para lo cual se debe tener un control de las actividades identificadas, y socializar el cronograma para garantizar entregas sin retraso. También ajustar el cronograma con los retrasos que se presenten, y mantener al equipo de trabajo, usuarios y cliente, informados al respecto.

En el desarrollo se debe hacer un seguimiento continuo al avance de las actividades, para detectar problemas, retrasos, riesgos y demás variables que puedan impactar las fechas de entrega, o el alcance de estas. Es importante contar con los usuarios directos, para hacer aclaraciones y pruebas, y así garantizar que las entregas cumplan con lo requerido, y que los ajustes puedan impactar el tiempo y los costos del proyecto.

Una vez realizada la entrega, si el usuario o cliente no aprueba, se debe proceder con los ajustes pertinentes y validar nuevamente con el usuario directamente implicado; sin embargo, se espera que los cambios sean menores por el hecho de incluir al usuario en todo el proceso antes de la entrega. Si esta última es aceptada, debe quedar formalizada mediante un acta o canal formal de información; igualmente, se debe garantizar que el documento de lecciones aprendidas se encuentre actualizado,



y socializarlas con el equipo de trabajo para no incurrir en los mismos errores o repetir las acciones que fueron favorables. Si el producto final no está terminado con la entrega, es necesario iniciar nuevamente la fase de desarrollo.

Al igual que en las otras fases, la comunicación con el cliente o usuarios debe ser formal; entre integrantes del equipo de trabajo, directa e informal. Para esta fase, se recomienda asignar el 50 % del tiempo total del proyecto.

### ***Fase cierre***

Contempla la integración de los entregables o subproductos del marco *Scrum*, de ser necesario, con la garantía de que el producto final se encuentre en armonía en todos sus componentes. En esta fase se debe realizar la integración del producto, y tener la aceptación general del cliente, también se deben elaborar y entregar algunos documentos como manuales de usuario, manuales técnicos, el documento final de las lecciones aprendidas en el proyecto y, por último, el acta de cierre de terminación del proyecto. Para esta fase, se recomienda asignar el 10 % del tiempo total del proyecto.

### **Validación del modelo desarrollado**

El modelo desarrollado fue aplicado en un proyecto de una de las empresas de consultoría informática, de la muestra representativa con las características estudiadas, denominada "A", dado el carácter de confidencialidad establecido con la empresa y con el cliente para el cual se desarrolló el proyecto. En la validación, se evidenciaron diferentes aportes del modelo diseñado sobre el proyecto B; en la planeación se detallaron los requerimientos, lo que se tradujo en ajustes o cambios mínimos. Por su parte, la integración y socialización de las tareas aprendidas de proyectos similares permitieron al equipo de trabajo prevenir o mitigar riesgos como inconsistencias en las estructuras y planos suministrados por el cliente, o información inconsistente en la creación de los reportes y tableros; riesgos que podían repercutir en el alcance, tiempo y costo del proyecto. Por su parte la comunicación directa entre el equipo de trabajo ayudó a crear compañerismo, lo que se tradujo en la solución problemas con mayor prontitud. Algunos de los inconvenientes se presentaron en los procesos de ETL (*extract, transform y load*), los cuales causaron que las cadenas de textos mostradas en los reportes se visualizaran incompletas; el inconveniente fue detectado por uno de los diseñadores de reportes antes de realizar las pruebas con el usuario, y se solucionó con la intervención conjunta del consultor BI (*business intelligence*) y del diseñador de ETL; el tiempo reportado para estos ajustes fue de dos días.

Uno de los beneficios que se logró al integrar al equipo de trabajo en las estimaciones de las actividades fue tener unos tiempos realistas para los entregables; antes de las pruebas con el usuario, esto se tradujo en entregas en los tiempos establecidos con desviaciones mínimas, reportadas en máximo un día de diferencia con la aprobación del cliente. Por otra parte, dado que en todo el proceso

se mantuvo una comunicación con los usuarios y funcionales por canales formales, todos los ajustes, requerimientos y modificaciones quedaron debidamente soportados, lo que fue de ayuda para evitar inconvenientes con los usuarios y el cliente en general. Teniendo en cuenta lo anterior y lo indicado por el equipo, el proyecto concluyó con una desviación mínima en el tiempo de 0,7, es decir una semana de diferencia respecto a lo estimado, sin mayores costos, y una desviación de 3,5, es decir con COP 5 000 000 de diferencia respecto a los costos estimados y con la satisfacción del cliente, dado que se entregaron y aceptaron los cuatro entregables propuestos en el proyecto. Así, el modelo diseñado evidenció mejoras positivas en el desarrollo del proyecto y mostró a la empresa “A” un modelo simple que puede ser adaptado por parte de la empresa de consultoría, sin generar grandes esfuerzos, pero ayudando a obtener buenos resultados en el desarrollo de sus proyectos.

Para medir el desempeño del proyecto B con la aplicación del modelo propuesto, se realizó un análisis de la desviación del proyecto, respecto a otros similares desarrollados en el último año, dentro de la empresa de consultoría, respecto al tiempo, costo y alcance. En la tabla 6, se muestran los resultados.

**Tabla 6.** Desviaciones proyecto B vs. otros proyectos similares

Variables	Proyectos		
	B	C	D
Tiempo estimado en semanas	12	16	12
Tiempo de ejecución total	13	24	16
<b>Desviación tiempo</b>	0,7	5,7	2,8
Costo estimado en millones	30	130	50
Costo Total	35	190	70
<b>Desviación costo</b>	3,5	42,4	14,1
Entregables definidos	4	4	3
Entregables aceptados	4	4	3
<b>Desviación alcance</b>	0,0	0,0	0,0

Como se muestra en la tabla 6, en el proyecto B las desviaciones fueron menores, en cuanto al tiempo y costo, respecto a los proyectos C y D, aun cuando el alcance del proyecto en los tres casos no fue impactado, pues se dio la aceptación de todos los entregables. Se mostraron mayores desviaciones en los otros aspectos. En la tabla 7, se detallan los porcentajes de mejora del proyecto B respecto a los proyectos C y D, se evidencia mejora de un 77 % para el tiempo y un 57 % para el costo.

Estos resultados indican que el modelo diseñado puede ayudar a generar un buen desempeño en los proyectos de consultoría informática desarrollados por las empresas pequeñas y medias de la ciudad de Bogotá.

**Tabla 7.** Porcentaje mejora proyecto B respecto a C-D

	B	C	D		
	% desviación			Promedio C-D	%Mejora
<b>Tiempo</b>	6 %	28 %	20 %	24 %	77 %
<b>Costo</b>	11 %	27 %	24 %	25 %	57 %
<b>Alcance</b>	0 %	0 %	0 %	No afectado	<b>No afectado</b>

## CONCLUSIONES

El objetivo principal de la investigación fue desarrollar un modelo en gerencia de proyectos para pymes de consultoría informática en Bogotá, basado en marcos de trabajo ágil. Por su parte, la hipótesis a comprobar fue que las pymes de consultoría informática, en Bogotá, pueden llegar a aplicar una gerencia de proyectos positiva, al adaptar los marcos de trabajos ágiles a la naturaleza propia de este tipo de empresas, a partir de los factores de mayor relevancia, como planeación, comunicación y lecciones aprendidas, por medio del cumplimiento de las tolerancias en tiempo, costo y alcance. Dicha hipótesis fue comprobada con el cumplimiento del objetivo y los resultados de la validación del modelo, los cuales arrojaron una mejora de un 77 % para el tiempo, un 57 % para el costo y el alcance no sufrió ajustes y fue aceptado por el cliente.

## AGRADECIMIENTO

Producto resultado del ejercicio académico como profesor de la Universidad Militar Nueva Granada.

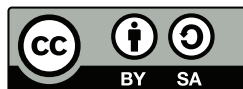
## REFERENCIAS

- [Andrei *et al.*, 2019] Andrei, B.-A., Casu-Pop, A.-C., Gheorghe, S.-C. y Boiangiu, C.-A. (2019). A study on using waterfall and agile methods in software project management. *Journal of Information Systems & Operations Management*, 13(1), 125-135. ↑Ver página 55
- [Ardila Albarracín *et al.*, 2014] Ardila Albarracín, C. A., Pino Correa, F. J. y Pardo Calvache, C. J. (2014). MaTGeC: hacia un marco de trabajo para la gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de software en pequeñas organizaciones. *Tecnura*, 18(42), 126-138. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.4.a10> ↑Ver página 51
- [Banica *et al.*, 2017] Banica, L., Radulescu, M., Rosca, D. y Hagiú, A. (2017). Is DevOps another project management methodology? *Informatica Economică*, 21(3), 39-51. <https://doi.org/10.12948/issn14531305/21.3.2017.04> ↑Ver página 55

- [CCB, 2020] Cámara de Comercio de Bogotá (CCB). (02 de febrero de 2020). *Quiénes somos*. <https://www.ccb.org.co/La-Camara-CCB> ↑Ver página 53
- [Gallo *et al.*, 2022] Gallo, J. A., López, L. M., Duque, G. R. y Galeano, A. G. (2022). Nuevos desafíos de las pequeñas y medianas empresas en tiempos de pandemia. *Tecnura*, 26(72). <https://doi.org/10.14483/22487638.17879> ↑Ver página 51
- [Hamad *et al.*, 2018] Hamad, D. R., Fadhil, D. S. y Rasaul, A. I. (2018). IT project management techniques for development professionals. *International Journal of Computer Engineering and Information Technology*, 10(9), 175-179. ↑Ver página 55
- [Higuchi y Nakano (2017)] Higuchi, M. y Noboru Nakano, D. (2017). Agile design: A combined model based on design thinking and agile methodologies for digital games projects. *Revista de Gestão e Projetos*, 8(02), 109-126. 10.5585/gep.v8i2.528 <https://doi.org/10.5585/gep.v8i2.528> ↑Ver página 55
- [Imandi *et al.*, 2015] Imandi, O., Popescu, S., Dragomir, M. y Morariu, C. (2015). A critical analysis of project management models and its potential risks in software development. *Calitatea*, 16(149), 55-61. ↑Ver página 55
- [Kotaiah y Khalil, 2017] Kotaiah, B. y Khalil, M. A. (2017). Approaches for development of software projects: Agile methodology. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(1), 237-242, <https://doi.org/10.26483/ijarcs.v8i1.2893> ↑Ver página 55
- [MinTIC, 2015] Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia (MinTIC). (2015). *Estudio de la caracterización de productos y servicios de la industria de software y servicios asociados*. Informe sectorial de la industria de software y servicios asociados de Colombia 2015. [https://observatorioti.mintic.gov.co/703/articles-101665\\_boletin\\_pdf.pdf](https://observatorioti.mintic.gov.co/703/articles-101665_boletin_pdf.pdf) ↑Ver página 51
- [Mircea, 2019] Mircea, E. (2019). Project management using agile frameworks. *Economy Informatics*, 18(1), 34-44. 10.12948/ei2019.01.04 ↑Ver página 55
- [Muhammad Khan y Ramzan, 2018] Muhammad Khan, A. y Ramzan, A. (2018). Relationship between Pareto Law and Maxwell's stages of leadership at university level. *Journal of Educational Research*, 21(2), 38-44. 10.30971/pje.v35i3.777 ↑Ver página 54
- [Muñoz-Mata *et al.*, 2015] Muñoz-Mata, M. A., Mejía-Miranda, J. y Valtierra-Alvarado, C. (2015). Helping organizations to address their effort toward the implementation of improvements in their software process. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (77), 115-126. 10.17533/udea.redin.n77a14 <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n77a14> ↑Ver página 55





- [Ozieranska *et al.*, 2016] Ozieranska, A., Kutcha, D., Skomra, A. y Rola, P. (2016). The critical factors of Scrum implementation in IT Project - The case study. *Journal of Economics and Management*, 25, 79-96. <https://doi.org/10.22367/jem.2016.25.06> ↑Ver página 55
- [Peña Abreu *et al.*, 2016] Peña Abreu, M., Rodríguez Rodríguez, C. R. y Piñero Pérez, P. Y. (2016). Computing with words to feasibility study of software projects. *Tecnura*, 20(50), 69-84. <https://doi.org/10.14483/22487638.11562> ↑Ver página 51
- [Qureshi *et al.*, 2017] Qureshi, M. (2017). Evaluating the quality of proposed agile. *International Journal of Modern Education & Computer Science*, 9, 41-48. <https://doi.org/10.5815/ijmecs.2017.11.05> ↑Ver página 55
- [Shabbir *et al.*, 2018] Shabbir, S., Tauseef, H., Farhan, S. y Tahir, F. (2018). A hybrid approach for mapping SCRUM to capability maturity model integration key process areas for web environment applications. *Pakistan Journal of Science*, 70(1), 79-84. ↑Ver página 55
- [Shama y Shivamant, 2015] Shama, P. y Shivamant, A. (2015). A review of agile software development methodologies. *International Journal of Advanced Studies in Computer Science and Engineering*, 4(11), 1-6. ↑Ver página 55
- [Silveira Campanelli & Silva Parreiras, 2015] Silveira Campanelli, A. y Silva Parreiras, F. (2015). Agile methods tailoring - A systematic literature review. *Journal of Systems and Sofyware*, 110, 85-100. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2015.08.035> ↑Ver página 49, 50
- [Singh y Dhirendra, 2017] Singh, A. y Dhirendra, P. (2017). Implementation of requirement engineering in extreme programming and SCRUM. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(5), 621-624. ↑Ver página 55
- [Stoica *et al.*, 2016] Stoica, M., Ghilic-Micu, B., Mircea, M. y Uscatu, C. (2016). Analyzing agile development – from waterfall style to scrumban. *Informatica Economică*, 20(4), 5-14. <https://doi.org/10.12948/issn14531305/20.4.2016.01> ↑Ver página 55
- [Tarwani y Chug, 2016] Tarwani, S. y Chug, A. (2016). Agile methodologies in software maintenance: A systematic review. *Informatica*, 40(4), 415-426. ↑Ver página 55
- [The Standish Group, 2020] The Standish Group. (2020). CHAOS Report. <https://standishgroup.myshopify.com/collections/frontpage/products/chaos-report-beyond-infinity-hardcover-printed-version> ↑Ver página 51
- [Vargas, 2016] Vargas, L. M. (2016). Project agile management for software development: A comparative study on the applicability of Scrum together with Pmbok and/or Prince2. *Revista de Gestao e Projetos*, 7(3), 48-60. <https://doi.org/10.5585/gep.v7i3.398> ↑Ver página 55

- [Vinogradova *et al.*, 2018] Vinogradova, I., Podvezko, V. y Zavadskas, E. K. (2018). The recalculation of the weights of criteria in MCDM methods using the bayes approach. *Symmetry*, 10(6), 205-222. <https://doi.org/10.3390/sym10060205> ↑Ver página 57
- [Whitney y Daniels, 2013] Whitney, K. M. y Daniels, C. B. (2013). The root cause of failure in complex IT projects: Complexity itself. *Procedia Computer Science*, 20, 325-330. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.280> ↑Ver página 49, 50, 51
- [Williams *et al.*, 2017] Williams, M., Ariyachandra, T. y Frolick, M. (2017). Business intelligence-success through agile implementation. *Journal of Management & Engineering Integration*, 10(1), 14-21. ↑Ver página 55



## Reconocimiento de lengua de señas colombiana mediante redes neuronales convolucionales y captura de movimiento

### Colombian sign language recognition using convolutional neural networks and motion capture

Jimmy Alejandro Plazas López <sup>1</sup>, Juan José Gutiérrez Leguizamón <sup>2</sup>, Marco Javier Suárez Barón <sup>3</sup> Juan Sebastián González Sanabria <sup>4</sup>

Fecha de Recepción: 20 de enero de 2022

Fecha de Aceptación: 04 de julio de 2022

**Cómo citar:** Plazas López, J.A. Gutiérrez Leguizamón, J.J. Suárez Barón, M.J. y González Sanabria, J.S. (2022). Reconocimiento de lengua de señas colombiana mediante redes neuronales convolucionales y captura de movimiento. *Tecnura*, 26(74), 70-86. <https://doi.org/10.14483/22487638.19213>

## Resumen

**Contexto:** Este artículo presenta el diseño de un modelo predictivo computacional que facilita el reconocimiento de la lengua de señas colombiana (LSC) en un entorno hotelero y turístico.

**Método:** Se aplicaron técnicas de inteligencia artificial y redes neuronales profundas en el aprendizaje y la predicción de gestos en tiempo real, los cuales permitieron construir una herramienta para disminuir la brecha y fortalecer la comunicación. Se implementaron algoritmos de redes neuronales convolucionales sobre captura de datos en tiempo real. Se capturó movimiento mediante cámaras de video de dispositivos móviles; así, se obtuvieron las imágenes que forman el conjunto de datos. Las imágenes se utilizaron como datos de entrenamiento para un modelo computacional óptimo que puede predecir el significado de una imagen recién presentada.

**Resultados:** Se evaluó el rendimiento del modelo usando medidas categóricas y comparando diferentes configuraciones para la red neuronal. Adicional a esto, todo está soportado con el uso de herramientas como *Tensorflow*, *OpenCV* y *MediaPipe*.

**Conclusiones:** Se obtuvo un modelo capaz de identificar y traducir 39 señas diferentes entre palabras, números y frases básicas enfocadas al sector hotelero, donde se logró una tasa de éxito del 97,6% en un ambiente de uso controlado.

**Agradecimientos:** Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC).

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería de Sistemas y Computación. Sogamoso, Colombia.

Email: [jimmy.plazas@uptc.edu.co](mailto:jimmy.plazas@uptc.edu.co)

<sup>2</sup>Estudiante de Ingeniería de Sistemas y Computación. Sogamoso, Colombia.

Email: [juan.gutierrez04@uptc.edu.co](mailto:juan.gutierrez04@uptc.edu.co)

<sup>3</sup>Ingeniero de Sistemas, magíster en Gestión de Información, doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología. Docente asociado de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso, Colombia.

Email: [marco.suarez@uptc.edu.co](mailto:marco.suarez@uptc.edu.co)

<sup>4</sup>Ingeniero de Sistemas y Computación, magíster en Ingeniería del Software. Docente asistente de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia.

Email: [juansebastian.gonzalez@uptc.edu.co](mailto:juansebastian.gonzalez@uptc.edu.co)

**Palabras clave:** ambiente hotelero, analítica de datos, aprendizaje profundo, comunicación, discapacidad fonoauditiva, lengua de señas colombiana, redes neuronales.

---

## Abstract

**Context:** This article presents the design of a computational predictive model that facilitates the recognition of Colombian Sign Language (LSC) in a hotel and tourism environment.

**Method:** Artificial intelligence techniques and deep neural networks were applied in the learning and prediction of gestures in real time, which allowed the construction of a tool to reduce the gap and strengthen communication. Convolutional neural network algorithms were applied to real-time data capture. Movement was captured using mobile device video cameras, thus obtaining the images that make up the data set. The images were used as training data for an optimal computational model that can predict the meaning of a newly presented image.

**Results:** The performance of the model was evaluated using categorical measures and comparing different configurations for the neural network. In addition to this, everything is supported with the use of tools such as Tensorflow, OpenCV and MediaPipe.

**Conclusions:** Finally, a model capable of identifying and translating 39 different signs between words, numbers and basic phrases focused on the hotel sector was obtained, where a success rate of 97.6 % was obtained in a controlled use environment.

**Acknowledgements:** Pedagogical and Technological University of Colombia – UPTC

**Keywords:** hotel environment, data analytics, deep learning, communication, phono-hearing disability, colombian sign language, convolutional neural network.

---

## Tabla de Contenidos

	<b>Página</b>
<b>Introducción</b>	72
<b>Metodología</b>	74
Captura de datos . . . . .	74
Preprocesamiento de datos . . . . .	76
Implementación de la red neuronal convolucional . . . . .	76
Clasificación y entrenamiento . . . . .	77
Métricas de calidad . . . . .	78
<b>Resultados</b>	79
<b>Conclusiones</b>	84
<b>Financiamiento</b>	84
<b>Agradecimientos</b>	84
<b>Referencias</b>	85



## INTRODUCCIÓN

La comunicación es de vital importancia en nuestra vida diaria, ya que permite expresar necesidades, ideas, entre otras emociones, además de los sentidos como medio que facilita la relación con el entorno turístico. Ahora bien, en el sector hotelero la población con discapacidad fonoauditiva aún tiene barreras de comunicación. Aunque algunos hoteles han mejorado sus instalaciones al hacerlas accesibles, el personal no se encuentra capacitado para atender los diferentes tipos de discapacidades que puede presentar una persona. De otra parte, algunos establecimientos hoteleros expresan que para ellos no es necesario hacer capacitaciones debido a la alta rotación de personal, la mayoría de veces no contratan por más de tres meses o permiten la práctica de aprendices para solventar algunos cargos.

Este proyecto está limitado al desarrollo de un prototipo que reconozca y traduzca en tiempo real el lenguaje de señas colombiana, posteriormente se desarrolló la aplicación de un algoritmo de aprendizaje profundo enfocado en el modelo de predicción a partir del conjunto de datos haciendo uso de Python, OpenCV, Tensorflow y Keras como base para la construcción y entrenamiento del modelo predictivo, donde se implementaron métodos para las etapas de procesamiento de imágenes y aplicación de una red neuronal convolucional (Llanos Mosquera, 2021). A su vez, se analizó el desempeño del algoritmo implementado para conocer el nivel de eficacia.

El impacto que se obtiene al establecer una comunicación asertiva es la fuente de oportunidades para la comunidad sorda en Colombia. Sumado a lo anterior, los hoteles deben solventar las necesidades de accesibilidad no solo físicas sino de cualquier tipo de discapacidad, mediante la oferta de equidad tanto a clientes como a empleados (Congreso de la República de Colombia., 2020). En este sentido, se espera que las personas se involucren más en el turismo, sin miedo a no poder comunicarse en los hoteles que se implemente el modelo.

El modelo predictivo interpreta señas básicas de conversaciones cotidianas en un ambiente de recepción hotelera. El propósito es llegar a personas de diferentes edades y estratos sociales que sean identificados como personas con discapacidad fonoauditiva, teniendo en cuenta que en Boyacá (Colombia) hay 5644 personas sordomudas, de los cuales el 48 % son mujeres y el 52 % hombres (Inсор, 2020), sin embargo, esta situación se replica a nivel país, donde según el mismo Instituto existen 166 619 personas con limitación y de las cuales 47,8 % son de género femenino y el 52,2 % restante hombres. El uso de tecnologías emergentes debe ser un elemento vital en el diseño de los componentes físicos y lógicos de modelos computacionales. Por consiguiente, la población con discapacidad se verá beneficiada, ya que se proyectará un patrón de reconocimiento de información en los diferentes ambientes sociales, para que así se puedan utilizar servicios de almacenamiento e inteligencia artificial (IA) y dar una correcta optimización de cada lenguaje a la hora de tener una comunicación asertiva.

En este proyecto, se dan a conocer artículos y trabajos relacionados directa o indirectamente con una solución tecnológica al problema de comunicación entre personas oyentes que no dominan la lengua de señas colombiana, y aquellas con discapacidad fonoauditiva. En particular, se basa en el uso y la forma del lenguaje de señas al no ser universal; el cual, cada región o país puede tener diversas formas de expresarse, lo que hace complejo el desarrollo de un modelo tecnológico (Rostand *et al.*, 2019).

Para disminuir el problema de comunicación entre personas con deficiencia auditiva y personas oyentes. Se propone el diseño y desarrollo de un modelo predictivo computacional de un intérprete de lengua de señas colombiana (LSC) enfocado en el sector hotelero que permita la interpretación de señas en tiempo real (Mishra *et al.*, 2019).

Jiménez-Forero y Moreno-Mosquera, 2020 exploraron el desarrollo de un método automático para el reconocimiento del lenguaje de señas colombiano en cuanto a la traducción de las vocales y números. Este modelo está implementado que consta de seis etapas: a) procesamiento de datos (imágenes); b) preprocesamiento; c) un debido muestreo; d) extracción de las características más específicas posibles de cada imagen o conjunto de datos; e) obtención de una clasificación para la identificación del gesto con un porcentaje de reconocimiento óptimo, y f) medición estadística sobre el rendimiento del clasificador.

Las mediciones para mostrar retroalimentación parten por las imágenes que ellos mismos capturan y que utilizan como datos de entrenamiento para un modelo computacional óptimo que puede predecir el significado de una imagen recién presentada (Ortiz Farfán y Camargo Mendoza, 2020). Evalúan el rendimiento del método usando medidas categóricas y comparando diferentes modelos. Una vez seleccionados los mejores modelos, se prueban con nuevas imágenes, similares a las de entrenamiento. Se puede observar que el mejor modelo logra una tasa de éxito de alrededor del 68 % de las 22 clases utilizadas en el sistema.

La librería *OpenCv* y el *IDE QT Creator* tienen capacidad para realizar el seguimiento de las manos con un algoritmo que facilita el proceso a través del color; dicho algoritmo consta de otros ya desarrollados, como SVM y el KNN, con el objetivo de reducir errores porcentuales durante el proceso predictivo (Ortiz García, 2021). Así mismo, se recurre a redes neuronales convolucionales (CNN) y aceleración de la GPU, con el fin de automatizar el proceso de la creación de funciones y métodos de aprendizaje (Herazo, 2020). Pudieron implementar un modelo predictivo capaz de reconocer 20 gestos en lenguaje de señas italiano con gran precisión sobre usuarios y entornos que no ocurrieron durante el entrenamiento de la red neuronal y dando así un valor máximo del 91,7%.

El principal resultado con diferentes configuraciones de entrenamiento, con y sin validaciones, alcanzó precisiones finales; basado en 8 sujetos de estudio y 9400 imágenes, es del 85 % para el modelo observado en comparación con nuevos modelos (Halvardsson *et al.*, 2021). El conjunto de datos se creó con cada imagen configurada a 320 × 240 píxeles.

También señalaron como fortaleza del modelo y de la implementación su costo, que es asequible a cualquier persona con el interés de investigar estas necesidades. Estos resultados indicaron que el

uso de CNN es un enfoque prometedor para interpretar los lenguajes de señas, y el aprendizaje de transferencia se puede usar para lograr una alta precisión en las pruebas, a pesar de usar un pequeño conjunto de datos de entrenamiento. Además, se describen detalles de implementación del modelo para interpretar signos como una aplicación web fácil de usar.

Por último, [Vázquez-Enríquez et al., 2021](#) mencionan las limitaciones que se tienen en cuanto a señas que involucran el contacto del cuerpo, especialmente el rostro, ya que el modelo está diseñado para el reconocimiento de las manos y solo hace un análisis de imágenes 2D. De esta manera se resalta la importancia de las características únicas que tiene cada gesto y significado que dificultan extrapolar una solución para la traducción del lenguaje ([Mustafa, 2020](#)).

## METODOLOGÍA

La metodología de desarrollo se basa en una arquitectura dividida en cinco fases que se observan en la figura 1.

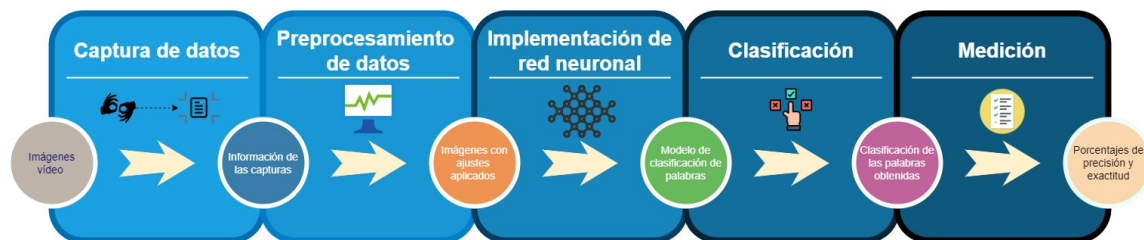


Figura 1. Metodología de desarrollo

Fuente: elaboración propia.

### Captura de datos

El proceso para realizar las señas y movimientos correctos se basó en el diccionario de LSC ([Insor, s. f.](#)). Estos datos ingresaron al sistema a través del uso de una cámara que registró los cuadros (*frames*) de video. Luego, el algoritmo reconoció las manos y dibujó el *landmark* con los 21 puntos de interés; seguido de esto, se recortó la imagen de manera que quedaran únicamente las manos. Una vez se obtuvo la imagen recortada, se aplicó un redimensionamiento de (200 px, 200 px) y por último, se almacenó en la carpeta correspondiente a la clase de la seña, como se puede observar en la figura 2. De esta manera fue posible gestionar los datos para su posterior procesamiento. Para el proceso se tomaron 39 palabras incluyendo algunos números y frases básicas en lengua de señas.

En la tabla 1 se listan las señas seleccionadas.

Adicionalmente, se recurrió a un algoritmo de reconocimiento de manos que, a su vez, capturó automáticamente la imagen de la cámara y la almacenó en un directorio específico con la etiqueta de la seña que se capturó. La etiqueta de cada imagen es igualmente la clasificación final que van a tener las imágenes en la red neuronal.



**Tabla 1.** Lista de señas que reconoce el modelo

Señas seleccionadas para entrenar el modelo			
1	Sábado	Septiembre	Gracias
2	Domingo	Octubre	Habitación
3	Enero	Noviembre	Hola
4	Febrero	Diciembre	Hotel
5	Marzo	Adulto	Mal
Lunes	Abril	Bien	Niño
Martes	Mayo	Bienvenido	No
Miércoles	Junio	Cama	Por favor
Jueves	Julio	¿Cómo estás?	Sí
Viernes	Agosto	Con mucho gusto	

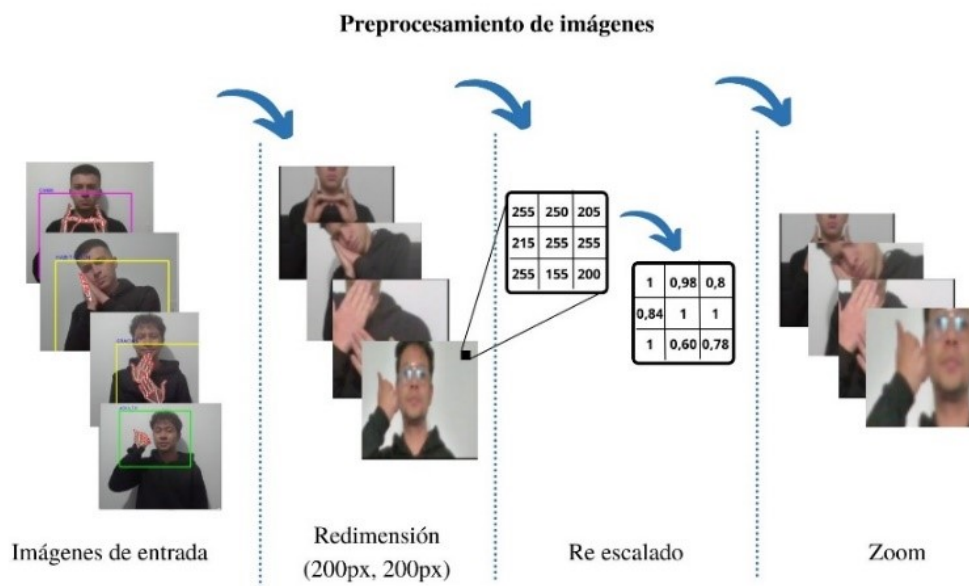
**Fuente:** elaboración propia.

La base primordial fue el procesamiento de imágenes y captura en tiempo real; por esto, el código se estructuró en Python. Así mismo, para el reconocimiento y seguimiento se aplicó la librería *MediaPipe Hands* (Google, s. f.) que detectó las manos en tiempo real, las palmas y los dedos.

## Preprocesamiento de datos

Las imágenes almacenadas fueron preprocesadas aplicando tres diferentes ajustes. Para esta fase, primero se leyó el conjunto de datos a partir de la ruta donde se encuentra almacenado. Luego se aplicaron los ajustes iniciando con un cambio de tamaño para trabajar con imágenes cuadradas, específicamente con dimensiones (200px, 200px), haciendo uso del método *resize* de la librería de *OpenCV* (Medina Rojas, 2017). Luego se aplicó un reescalado a los píxeles de cada imagen, es decir que se cambió el valor de cada píxel de 0 y 255 a un valor decimal entre 0 y 1. Esto se hace para normalizar los datos. Y finalmente, se aplicó un porcentaje de *zoom*.

Ahora bien, los ajustes de reescalado y *zoom* se aplicaron aleatoriamente a imágenes para que el modelo no terminara aprendiendo la posición de los píxeles, sino para que fuera capaz de entender lo que había en la imagen sin importar el tamaño, posición o color. El flujo completo en secuencia se puede observar en la figura 3.

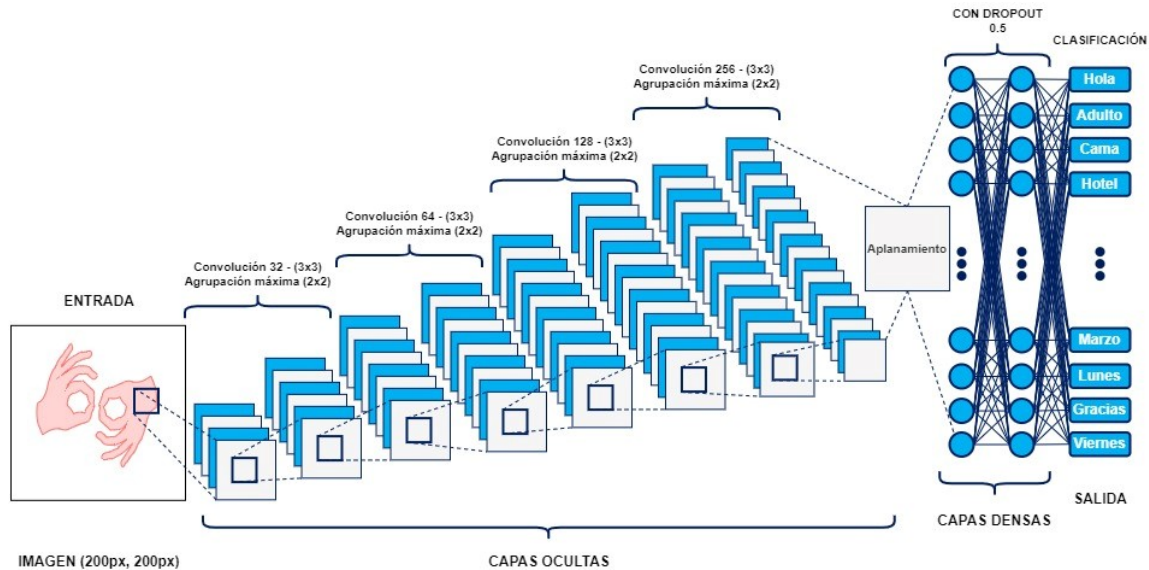


**Figura 3.** Flujo completo de preprocesamiento de imágenes

**Fuente:** elaboración propia.

## Implementación de la red neuronal convolucional

Para la implementación de la red neuronal, se hicieron pruebas modificando valores en el tamaño del lote (*batch size*), tamaño del núcleo (*kernel*), iteraciones (*epochs*), número de capas y número de neuronas. De esta manera se pudo establecer la mejor configuración para que el modelo se entrenara, aprendiera y el resultado fuera óptimo para su uso. Finalmente, la estructura del modelo con su respectiva configuración se muestra a continuación en la figura 4.



**Figura 4.** Estructura del modelo de red neuronal

**Fuente:** elaboración propia.

La red neuronal se compuso de cuatro capas convolucionales y cuatro de agrupación máxima, un aplanamiento de todas las capas, dos capas densas, un *dropout*, y finalmente la capa de clasificación. Además, se aplicaron funciones de activación Relu y en la última capa Softmax.

El modelo recibió como entrada una imagen de (200px, 200px), la cual pasa por 4 capas ocultas. La primera estuvo definida con 32 núcleos, la segunda con 64, la tercera con 128 y la última con 256. En todas las capas convolucionales anteriores la dimensión de cada núcleo fue definida como [3,3]. De igual manera en las capas de agrupación máxima la dimensión de cada núcleo fue definida como [2,2]. Luego de que la imagen pasó por las 4 capas ocultas, se hizo un aplanamiento para que tener una sola dimensión con toda la información. Luego pasó por 2 capas densas donde se definió un *dropout* de 0,5, esto quiere decir que en cada iteración se apagaba la mitad de las neuronas con el fin de no sobreajustar la red neuronal. Finalmente, se estableció una capa densa donde la cantidad de neuronas fue igual a la cantidad de señas usadas, y se estableció la activación Softmax. De esta manera, el modelo devolvió las probabilidades donde el número mayor fue la predicción final.

## Clasificación y entrenamiento

En esta fase, se obtuvo una clasificación de las palabras identificadas en el modelo predictivo. A partir de aquí se pueden aplicar mediciones con el fin de obtener el mejor resultado como traducción. En el modelo de entrenamiento que se aplicó se establece la forma como se entrena y se predicen los resultados. Para el modelo se estableció el optimizador como “adam”, la pérdida de la red neuronal es “categorical\_crossentropy”, y la métrica para medir la eficiencia del modelo es “accuracy”.

Para el entrenamiento se definieron 3000 épocas o iteraciones, donde los resultados del modelo fueron el promedio de cada una de las combinaciones por iteración. Los pasos por cada iteración se definieron de acuerdo con la ecuación (1):

$$\text{Pasos por iteración} = \frac{\text{Número de imágenes por clase}}{\text{Tamaño de lote}} \quad (1)$$

$$31,25 = \frac{1000}{32}$$

Aplicando la ecuación (1), por cada clase se tomaron 1000 imágenes, y como tamaño de lote se estableció 32 que por lo general es el valor predeterminado. Con esto se obtuvo un valor para los pasos por iteración de 31,25.

## Métricas de calidad

En esta última fase se establecieron los métodos de medición de calidad para conocer los porcentajes de precisión y exactitud que el modelo arroja como resultado al aplicarse. Las métricas seleccionadas fueron el uso de matriz de confusión, exactitud, F1-score, precisión y pérdida del modelo. Para poder medir los resultados de aprendizaje del modelo se recurrió a la herramienta *TensorBoard*. Esta permitió graficar los resultados de precisión y pérdida de todo el proceso de entrenamiento del modelo. Para esto, se usó el atributo *callback* en la función de entrenamiento del modelo, de esta manera en cada iteración se almacenaban los logs en una carpeta definida con *TensorBoard*.

Adicionalmente se definieron las siguientes ecuaciones como métodos de medición de resultados:

*Precisión (p)*. Consiste en el conjunto de registros verdaderos positivos (VP) dividida entre la suma de verdaderos positivos (VP) y falsos positivos (FP) logrados en la ejecución del modelo.

$$P = \frac{VP}{VP + FP} \quad (2)$$

*Exactitud (accuracy, ACC)*. Porcentaje de casos en los que el algoritmo ha acertado positivamente, en pocas palabras, es la medición del número de predicciones correctas sobre el número total de predicciones.

$$ACC = \frac{TP + TN}{FP + FN + TP + TN} \quad (3)$$

*Exhaustividad (recall, R)*. Medición de integridad definida como el fragmento de la cifra de registros verdaderos positivos (VP) fraccionados por la adición de los verdaderos positivos (VP) y registros clasificados como falsos negativos (FN).

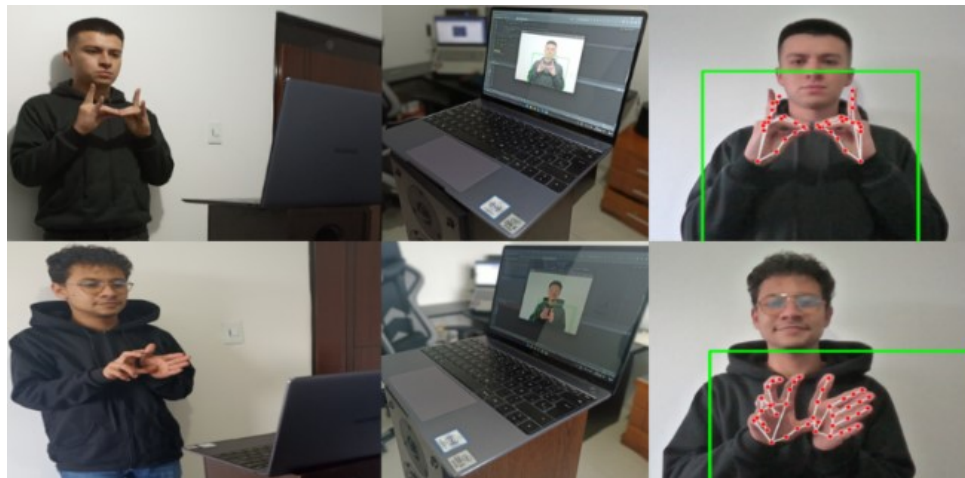
$$R = \frac{VP}{VP + FN} \quad (4)$$

*F1-score*. Función de exhaustividad y precisión que busca buscar un equilibrio entre la precisión y la exhaustividad.

$$F1 = 2 \cdot \frac{PRE \cdot REC}{PRE + REC} \quad (5)$$

## RESULTADOS

Se desarrolló un algoritmo para el reconocimiento de las manos de cualquier persona en tiempo real, con el cual se hicieron las respectivas pruebas en diferentes ángulos, fondos e iluminación, donde la librería de *MediaPipe* brinda eficacia al momento de poner los 21 puntos en la mano de distintas personas que hagan la prueba frente a la cámara del ordenador portátil, a pesar de la baja calidad en cuanto a pixeles que esta brinde, como se muestra en la figura 5.



**Figura 5.** Prueba del detector de manos en tiempo real

**Fuente:** elaboración propia.

Como medida de desempeño del modelo se generó una matriz de confusión con base en la información que arrojaron las pruebas con 50 imágenes por cada seña del conjunto de datos. La matriz de confusión se produjo de manera que las columnas eran los datos que predijo, y las filas, los datos verdaderos, como se observa en la figura 6.

Para verificar la precisión del modelo creado se usó la herramienta *TensorBoard* y se importaron los *logs* y se generó la gráfica de precisión, lo que arrojó como resultado la figura 7.

A partir de la gráfica de precisión se puede observar que el modelo fue aprendiendo tanto con los datos de validación como con los datos de entrenamiento. A su vez se observó que aproximadamente en la iteración 1400 el modelo mantenía la precisión de aprendizaje, es decir que llegó a su punto máximo de aprendizaje, en este caso al 100 %.

De la misma manera, se generó la gráfica de pérdida (figura 8). En esta gráfica se muestra la tasa de pérdida tanto de los datos de entrenamiento como los datos de validación.

De la figura de la pérdida del modelo se puede observar que el modelo disminuye la tasa de pérdida a medida que incrementa el número de iteraciones, y que la pérdida del modelo tiende a ser 0. Además, a pesar de que aproximadamente a partir de la iteración 1100 el modelo aumenta la tasa de pérdida, sigue siendo la tasa bajo el 2 %.



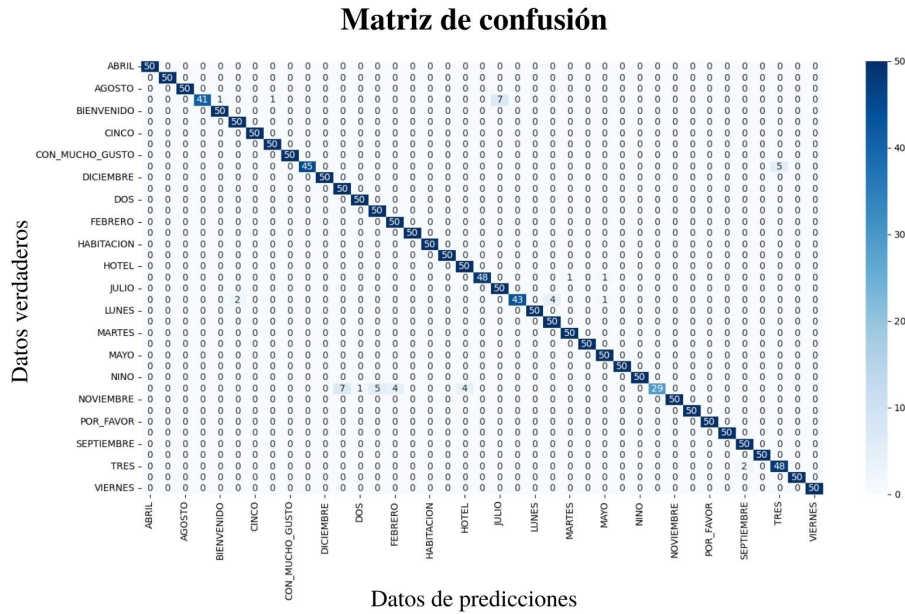


Figura 6. Matriz de confusión

Fuente: elaboración propia.

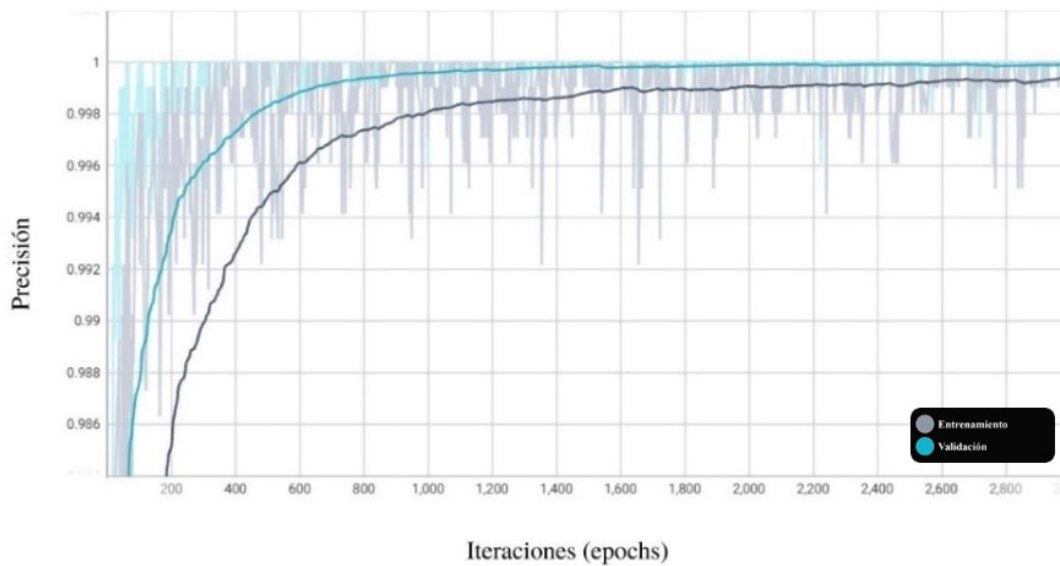


Figura 7. Precisión del modelo de red neuronal

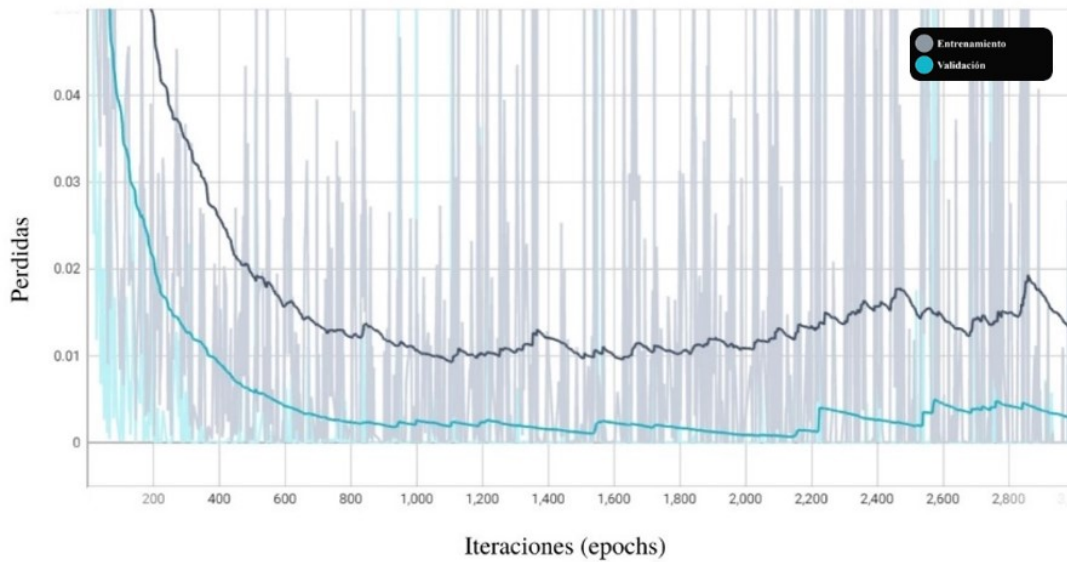
Fuente: elaboración propia.

Se produjo una lista de resultados, como se puede observar en la tabla 2. Estos fueron generados a partir de una prueba con 50 imágenes de cada una de las señas que reconoce el modelo que se entrenó.

**Tabla 2.** Resultados de prueba del modelo de predicción en ejecución

Clase	Precisión	Recall	F1-score	Datos
ABRIL	1,000	1,000	1,000	50
ADULTO	1,000	1,000	1,000	50
AGOSTO	1,000	1,000	1,000	50
BIEN	1,000	0,820	0,901	50
BIENVENIDO	0,980	1,000	0,990	50
CAMA	0,961	1,000	0,980	50
CINCO	1,000	1,000	1,000	50
COMO_ESTA	0,980	1,000	0,990	50
CON_MUCHO_GUSTO	1,000	1,000	1,000	50
CUATRO	1,000	0,900	0,947	50
DICIEMBRE	1,000	1,000	1,000	50
DOMINGO	0,877	1,000	0,934	50
DOS	0,980	1,000	0,990	50
ENERO	0,909	1,000	0,952	50
FEBRERO	0,925	1,000	0,961	50
GRACIAS	1,000	1,000	1,000	50
HABITACION	1,000	1,000	1,000	50
HOLA	1,000	1,000	1,000	50
HOTEL	0,925	1,000	0,961	50
JUEVES	1,000	0,960	0,979	50
JULIO	0,877	1,000	0,934	50
JUNIO	1,000	0,860	0,924	50
LUNES	1,000	1,000	1,000	50
MAL	0,925	1,000	0,961	50
MARTES	0,980	1,000	0,990	50
MARZO	1,000	1,000	1,000	50
MAYO	0,961	1,000	0,980	50
MIERCOLES	1,000	1,000	1,000	50
NIÑO	1,000	1,000	1,000	50
NO	1,000	0,580	0,734	50
NOVIEMBRE	1,000	1,000	1,000	50
OCTUBRE	1,000	1,000	1,000	50
POR FAVOR	1,000	1,000	1,000	50
SABADO	1,000	1,000	1,000	50
SEPTIEMBRE	0,961	1,000	0,980	50
SI	1,000	1,000	1,000	50
TRES	0,905	0,960	0,932	50
UNO	1,000	1,000	1,000	50
VIERNES	1,000	1,000	1,000	50
<b>Exactitud</b>			<b>0,976</b>	<b>1950</b>

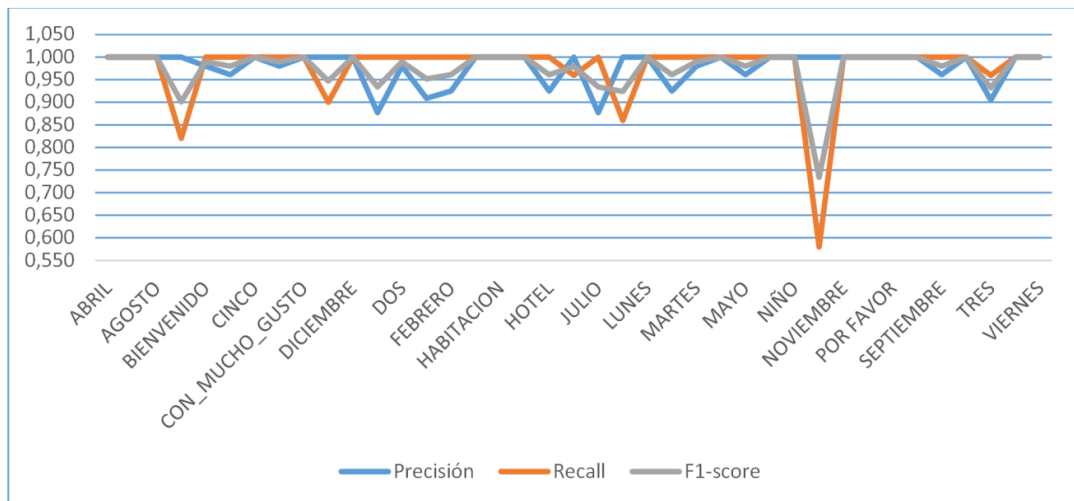
**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 8.** Taza de pérdida del modelo de red neuronal

**Fuente:** elaboración propia.

En los resultados se encuentran las señas usadas en el modelo con los respectivos resultados de cada uno. Entre los resultados se encuentran la precisión, *Recall* o exhaustividad, *F1-score*, y por último la cantidad de datos usados para la prueba (Trejos Buriticá 2018). Al final se muestra el total de la precisión y la totalidad de datos usados. En la figura 9 se recopilan todos los datos presentados en la tabla 2. Se pueden observar las tres mediciones donde el *F1-score* presenta el valor más bajo con

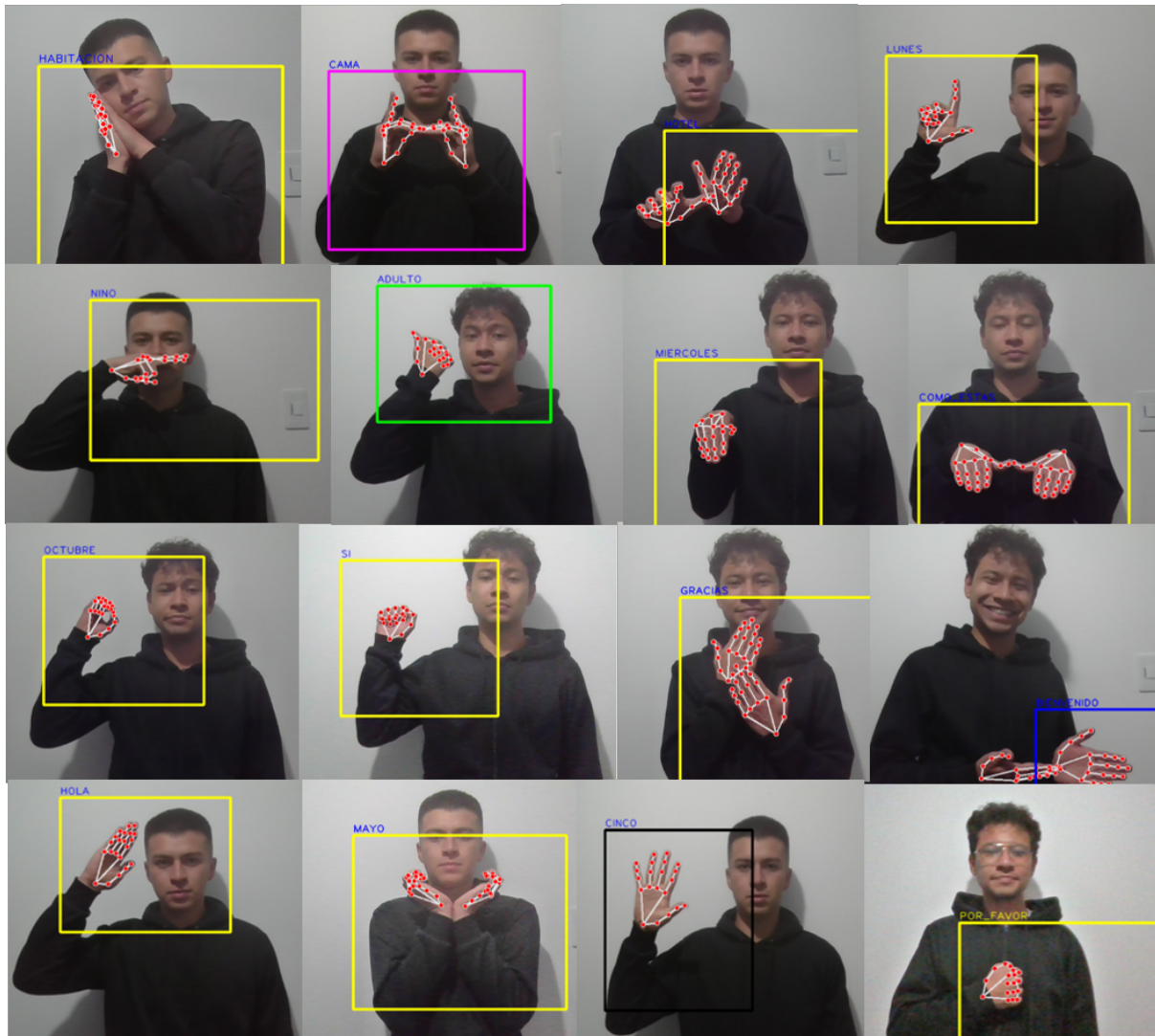


**Figura 9.** Resultados de rendimiento del modelo

**Fuente:** elaboración propia.

la seña "NO" con 0,734. De la misma manera el *Recall* tiene su valor más bajo de 0,580 con la misma palabra. Y a su vez, se puede observar la precisión del modelo que se mantiene sobre el 0,87%.

En la figura 10 se observa la recopilación de capturas tomadas del modelo en funcionamiento, donde se presenta el reconocimiento de las manos dibujando en la pantalla el *landmark* con los puntos en las manos y el recuadro, la predicción y traducción de las señas hechas por los usuarios. Además, el modelo se usó con diferentes niveles de luminosidad y tonos de piel, lo que demuestra la eficacia del modelo predictivo.



**Figura 10.** Resultados del modelo en ejecución

**Fuente:** elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Este proyecto dio a conocer que el modelo computacional predictivo utilizando la lengua de señas colombiana (LSC) enfocado en el sector hotelero, evidenció su efectividad para reducir la brecha y mejorar la comunicación entre personas con y sin pérdida auditiva. Esto se puede demostrar con el desarrollo del modelo predictivo, ya que al dar una clasificación de tipo múltiple comparando los resultados de la tabla 2 frente a las 39 clases (señas/palabras), se da respuesta de eficacia con alta puntuación predicha.

En cuanto al conjunto de datos creado, se dio como resultado un amplio número de imágenes y épocas procesadas por la red neuronal convolucional, dado que se tiene que procesar un alto volumen de datos donde se presenta alta complejidad por tratarse de imágenes. Además, se obtuvo como producto un conjunto de datos base para dar una predicción efectiva a la hora de aplicar el modelo en la LSC.

Cabe aclarar que este modelo aun no proporciona una exactitud del 100 % en cuanto a la traducción de la LSC, ya que hay señas similares en su forma y en ocasiones el modelo falla en la predicción, obteniendo resultados de porcentajes en efectividad un poco bajos, así como se logra evidenciar en la figura 6. Los productos obtenidos de las medidas de precisión, exactitud y exhaustividad fueron aceptables para el análisis manual visual y datos cuantitativos por el modelo logrado para el proceso de clasificación de cada seña que se logró traducir. Con los resultados de las medidas de rendimiento se dio a conocer que la red neuronal funcionó de manera óptima para la traducción del conjunto de datos establecidos.

Teniendo en cuenta lo anterior, este proyecto puede ser mejorado e implementado en más áreas. Se recomienda ampliar la cantidad de imágenes en cada clase y el vocabulario para tener un conjunto de datos más completo, con diferentes prendas de vestir, fondos y diferentes tonos de piel. En cuanto al ambiente de implementación se recomienda usar fondos blancos y ropa oscura para una mayor garantía del reconocimiento tanto de las manos como de la seña que se quiera traducir. Por otra parte, también se puede implementar haciendo uso del modelo con extensión "tflite" para aplicaciones móviles y el modelo en formato JSON para sistemas web. Además, resulta como herramienta atractiva para la promoción y aprendizaje de la LSC.

## FINANCIAMIENTO

Recursos propios.

## AGRADECIMIENTOS

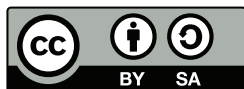
A nuestras familias y amigos por el apoyo incondicional de todas las maneras posibles a lo largo de todo el desarrollo profesional.

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, y a todos nuestros educadores, en especial a nuestro tutor de trabajo de grado ingeniero, el doctor ingeniero Marco Javier Suarez Barón, por su comprensión, apoyo, enseñanzas y quien compartió sus conocimientos a lo largo de nuestra carrera.

## REFERENCIAS

- [Congreso de la República de Colombia., 2020] Congreso de la República de Colombia. *Ley 2068 de 2020*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=172558> ↑Ver página 72
- [Google, s. f.] Google. (s. f.). *MediaPipe*. <https://google.github.io/mediapipe/solutions/hands> ↑Ver página 75
- [Halvardsson *et al.*, 2021] Halvardsson, G., Peterson, J., Soto-Valero, C. y Baudry, B. (septiembre de 2021). Interpretation of Swedish Sign Language using convolutional neural networks and transfer learning. *SN Computer Science*, 2, 207. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00612-w> ↑Ver página 73
- [Herazo, 2020] Herazo, J. (1 de agosto de 2020). Sign language recognition using deep learning. *TowardsDataScience.com*. <https://towardsdatascience.com/sign-language-recognition-using-deep-learning-6549268c60bd> ↑Ver página 73
- [Insor, 2020] Instituto Nacional para Sordos (Insor). (2020). *Población sorda en Boyacá: perfil territorial*. <https://www.insor.gov.co/insorlab/wp-content/uploads/2021/12/BOYACA.pdf> ↑Ver página 72
- [Insor, s. f.] Instituto Nacional para Sordos (Insor). (s. f.). *Diccionario básico de la lengua de señas colombiana*. [http://www.insor.gov.co/descargar/diccionario\\_basico\\_completo.pdf](http://www.insor.gov.co/descargar/diccionario_basico_completo.pdf) ↑Ver página 74
- [Jiménez-Forero y Moreno-Mosquera, 2020] Jiménez-Forero, G. y Moreno-Mosquera, E. E. (2020). *Método automático para el reconocimiento de gestos de manos para la categorización de vocales y números en lenguaje de señas colombiano* [Trabajo de grado]. Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Colombia. <https://hdl.handle.net/10983/22601> ↑Ver página 73
- [Llanos Mosquera, 2021] Llanos Mosquera, J. M. (2021). Una revisión sistemática sobre aula invertida y aprendizaje colaborativo apoyados en inteligencia artificial para el aprendizaje de programación. *Tecnura*, 25(69), 196-214. <https://doi.org/10.14483/22487638.16934> ↑Ver página 72

- [Medina Rojas, 2017] Medina Rojas, F. A. (2017). A quantitative and qualitative performance analysis of compressive spectral imagers. *Tecnura*, 21(52), 53-67. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.2.a04> ↑Ver página 76
- [Mishra *et al.*, 2019] Mishra, S., Sinha, S., Sinha, S. y Bilgaiyan, S. (2019). Recognition of hand gestures and conversion of voice for betterment of deaf and mute people. En *Advances in Computing and Data Sciences* (pp. 46-57). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-9942-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-13-9942-8_5) ↑Ver página 73
- [Mustafa, 2020] Mustafa, M. (04 de marzo de 2020). A study on Arabic sign language recognition for differently abled using advanced machine learning classifiers. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12, 4101-4115. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-01790-w> ↑Ver página 74
- [Ortiz Farfán y Camargo Mendoza, 2020] Ortiz Farfán, N. y Camargo Mendoza, J. E. (2020). Computational model for sign language recognition in a Colombian context. *TecnoLógicas*, 23(23), 197-232. <https://doi.org/10.22430/22565337.1585> ↑Ver página 73
- [Ortiz García, 2021] Ortiz García, C. D. (16 de julio de 2021). *Traductor de letras en lenguaje de señas con redes neuronales convolucionales* [Trabajo de grado]. Repositorio Institucional de la Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/53437> ↑Ver página 73
- [Rostand *et al.*, 2019] Rostand, C., De Araújo, T., Lima, M., Veríssimo, V., De Andrade, R., Vieira, S., Santos, A., Souza Filho, G. L., Soares, M. K. y Hanael, V. (agosto de 2019). Towards an open platform for machine translation of spoken languages into sign languages. *Machine Translation*, 33, 315-348. <https://doi.org/10.1007/s10590-019-09238-5> ↑Ver página 73
- [Trejos Buriticá 2018] Trejos Buriticá, O. I. (2018). Aprovechamiento de los tipos de pensamiento matemático en el aprendizaje de la programación funcional. *Tecnura*, 22(56), 29-39. <https://doi.org/10.14483/22487638.12807> ↑Ver página 82
- [Vázquez-Enríquez *et al.*, 2021] Vázquez-Enríquez, M., Alba-Castro, J. L., Docio-Fernández, L. y Rodríguez-Banga, E. (2021). Isolated sign language recognition with multi-scale spatial-temporal graph convolutional networks. En *2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)* (pp. 3457-3466). <https://doi.org/10.1109/CVPRW53098.2021.00385> ↑Ver página 74



## Comparative Methods for Solving Optimal Power Flow in Distribution Networks Considering Distributed Generators: Metaheuristics vs. Convex Optimization

Métodos comparativos para la solución óptima del flujo de energía en redes de distribución considerando generadores distribuidos: metaheurística vs. optimización convexa

Karen Julieth Bohórquez-Bautista <sup>1</sup>, Daniel Alejandro Moreno-Arias <sup>2</sup>, Oscar Danilo Montoya-Giraldo <sup>3</sup>, Walter Julián Gil-González <sup>4</sup>

Fecha de Recepción: 02 de febrero de 2022

Fecha de Aceptación: 04 de julio de 2022

**Cómo citar:** Bohórquez-Bautista., K.J. Moreno-Arias., D.A . Montoya-Giraldo., O.D. y Gil-González., W.J. (2022). Comparative Methods for Solving Optimal Power Flow in Distribution Networks Considering Distributed Generators: Metaheuristics vs. Convex Optimization. *Tecnura*, 26(74), 87-129. <https://doi.org/10.14483/22487638.18342>

### Abstract

**Objective:** This article presents an analysis of different optimization methodologies, which aims to make an objective comparison between metaheuristic and convex optimization methods in distribution networks, focusing on the inclusion of distributed generation (DG). The MATLAB software is used as a tool for implementation and obtaining results. The objective was to determine the optimal size of the DGs to be integrated into the networks, with the purpose of reducing the active power losses (objective function).

**Methodology:** Based on the specialized literature, the methodologies are selected, and the bases and conditions for the implementation of the optimization techniques are determined. In the case of second-order cone programming (SOCP), the relaxation of the nonlinear optimal power flow (OPF) problem is performed in order to use convex optimization. Then, the structures of each technique are established and applied in the MATLAB software. Due to the iterative nature of metaheuristic methods, the data corresponding to 100 compilations for each algorithm are collected. Finally, by means of a statistical analysis, the optimal solutions for the objective function in each methodology are determined, and, with these results, the different methods applied to the networks are compared.

<sup>1</sup>Studies engineer, Energy Computer Systems company, Bogotá DC, Colombia.

Email: [kbohorquez@energyco.com](mailto:kbohorquez@energyco.com)

<sup>2</sup>Projects engineer, Controller, NETWORKS FOREVER company, Bogotá DC, Colombia.

Email: [daniel.moreno@n4e.com.co](mailto:daniel.moreno@n4e.com.co)

<sup>3</sup>Electrical engineer, Master's in Electrical Engineering, PhD in Engineering. Assistant professor at the Department of Engineering, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá DC, Colombia.

Email: [odmontoyag@udistrital.edu.co](mailto:odmontoyag@udistrital.edu.co)

<sup>4</sup>Electrical engineer, Master's in Electrical Engineering, PhD in Engineering. Assistant professor at the Department of Engineering. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

Email: [wjgil@utp.edu.co](mailto:wjgil@utp.edu.co)



**Results:** By analyzing 33- and 69-node systems, it is demonstrated that metaheuristic methods are able to effectively size DGs in distribution systems and yield good results that are similar and comparable to SOCP regarding the OPF problem. Genetic algorithms (GA) showed the best results for the studied implementation, even surpassing the SOCP.

**Conclusions:** Metaheuristic methods proved to be algorithms with a high computational efficiency and are suitable for real-time applications if implemented in distribution systems with well-defined conditions. These techniques provide innovative ideas because they are not rigid algorithms, which makes them very versatile methods that can be adapted to any combinatorial optimization problem and software, yielding results even at the convex optimization level.

**Keywords:** optimal power flow, metaheuristic optimization, second-order cone programming, convex optimization, distributed generation, power flow.

---

## Resumen

**Objetivo:** Este artículo presenta un análisis de diferentes metodologías de optimización, cuyo fin es realizar una comparación objetiva entre métodos de optimización metaheurística y convexa en redes de distribución con énfasis en la inclusión de generación distribuida (DG). Se utiliza el software MATLAB como herramienta para la implementación y la obtención de resultados. El objetivo es determinar el tamaño óptimo de las DG a integrar en las redes, con el fin de reducir las pérdidas de potencia activa (función objetivo).

**Metodología:** A partir de la literatura especializada, se seleccionan las metodologías y se determinan las bases y condiciones para la implementación de las técnicas de optimización. En el caso de la programación cónica de segundo orden (SOCP), se realiza la relajación del problema de flujo de potencia óptimo (OPF) no lineal para utilizar optimización convexa. Luego, las estructuras de cada técnica se establecen y aplican en el software MATLAB. Debido al carácter iterativo de los métodos metaheurísticos, se recolectan los datos correspondientes a 100 compilaciones para cada algoritmo. Finalmente, mediante un análisis estadístico, se determinan las soluciones óptimas para la función objetivo en cada metodología y, con estos resultados, se comparan los diferentes métodos aplicados a las redes.

**Resultados:** A partir del análisis de sistemas de 33 y 69 nodos, se demuestra que los métodos metaheurísticos son capaces de dimensionar DGs manera efectiva en sistemas de distribución y dan buenos resultados, similares y comparables a la SOCP en el problema OPF. El algoritmo genético (GA) mostró los mejores resultados para la implementación realizada, superando incluso a la SOCP.

**Conclusiones:** Los métodos metaheurísticos demostraron ser algoritmos de alta eficiencia computacional y son adecuados para aplicaciones en tiempo real si se implementan en sistemas de distribución con condiciones correctamente definidas. Estas técnicas aportan ideas innovadoras porque no son algoritmos rígidos, lo que las convierte en métodos muy versátiles que pueden adaptarse a cualquier problema de optimización combinatoria y a cualquier software, dando resultados incluso a nivel de optimización convexa.

**Palabras clave:** flujo de potencia óptimo, optimización metaheurística, programación cónica de segundo orden, optimización convexa, generación distribuida, flujo de potencia.

---

## Table of Contents

	Page
<a href="#">Introduction</a>	89
<a href="#">Exact OPF formulation</a>	92

<b>Solution with metaheuristics</b>	<b>94</b>
Power flow solution . . . . .	95
Implementing the metaheuristic optimizers . . . . .	96
Particle swarm optimization . . . . .	98
Crow search algorithm . . . . .	99
Genetic algorithm . . . . .	99
Vortex search algorithm . . . . .	100
Sine-cosine algorithm . . . . .	102
Black-hole optimizer . . . . .	103
<b>Convex optimization</b>	<b>104</b>
<b>Test feeders</b>	<b>105</b>
<b>Computational validations</b>	<b>106</b>
33-node test feeder results found in the literature . . . . .	108
Results obtained by the 33-node test feeder . . . . .	109
69-node test feeder results found in the literature . . . . .	112
Results obtained by the 69-node test feeder . . . . .	114
Additional results . . . . .	117
<b>Conclusions and future work</b>	<b>118</b>
<b>References</b>	<b>119</b>

## INTRODUCTION

Electrical distribution networks are the largest part of an electrical system and are responsible for providing electricity to all the end users at medium- and low-voltage levels (Rupolo *et al.*, 2019, Rupolo *et al.*, 2020, Hernández *et al.*, 2021). They usually have a radial configuration, with only one central power source, *i.e.*, a distribution substation (Devabalaji *et al.*, 2015, Zuluaga-Ríos *et al.*, 2021). Radial structures are preferred since their investment's costs are low and their protection schemes are simply coordinated (Lavorato *et al.*, 2011, Vélez *et al.*, 2014). Nowadays, distributions networks have been adapted for the massive inclusion of renewable technologies, mainly photovoltaic and wind systems, as well as for battery energy storage systems (Home-Ortiz *et al.*, 2019). The inclusion of these devices has drastically changed the steady-state behavior of these grids, as the uncertainties in renewable generation require real-time operation tools to guarantee the network's optimal operation (Mohagheghi *et al.*, 2018, Tang *et al.*, 2017). The main challenge faced by these real-time systems is to solve the optimal power flow problem (OPF) with short processing times while ensuring high-quality solutions (Mohagheghi *et al.*, 2018). The OPF problem essentially implies an op-

timization procedure where the outputs of the distributed generators (DGs) are adjusted to reduce an objective function, typically power loss minimization (Grisales-Noreña *et al.*, 2018), operative costs reductions (Tamilselvan *et al.*, 2018), or greenhouse gas emissions minimization (Montoya *et al.*, 2020c). This process finds a steady-state operating point that fulfills operating constraints and satisfies the demand of the whole system. In the specialized literature, the OPF problem is addressed using two main routes: i) metaheuristic optimization (Ebeed *et al.*, 2018), and ii) exact mathematical optimization (Molzahn & Hiskens, 2016, Montoya *et al.*, 2022). The first of these works with nature- or physics-inspired algorithms in order to determine the optimal power outputs in DGs, which are used as inputs in conventional power flow methods (Montoya *et al.*, 2020b). This strategy is known in the literature as the master-slave optimization strategy, which is largely adopted in optimization problems where power flow solutions are required (Grisales-Noreña *et al.*, 2018). Table 1 reports the most common metaheuristic methods for addressing the OPF problem.

The second case (exact mathematical optimization) deals with the OPF problem by restructuring the power balance constraints into convex equivalents in order to ensure that the global optimum is found (Boyd & Vandenberghe, 2004). This restructuring has great advantages, which are described below:

- Convex optimization ensures uniqueness in the solution and the global optimum for the model with well-defined conditions. This is not only interesting with regard to the theoretical formulation, but also in practical terms because, in general, the global optimum is always a desired point in any problem.
- Convex optimization also has algorithms with high computational efficiency, which makes it suitable for real-time applications. Furthermore, this formulation can ensure the convergence of the problem under well-defined conditions.

The main convex formulations are semidefinite programming (Bai *et al.*, 2008), and second-order cone programming (SOCP) (?). These methods transform power balance equations into convex affine constraints, thus allowing to efficiently solve the OPF problem via interior point methods (Benson & Sağlam, 2013).

The two slopes mentioned above for addressing the OPF problem in distribution networks with high penetration of distributed generation originate the following research question:

*Which OPF approach is more efficient and reliable?*

This paper compares multiple literature results regarding OPF analysis and the SOCP reformulation of the OPF problem in order to address this question. Numerical results show that the convex optimization approach is a better way to address OPF problems in distribution networks than metaheuristic techniques, as they do not require any parametrization or statistical tests to find the solution. In addition, SOCP ensures that the global optimum is mathematically found, as was demonstrated in

**Table 1.** Methods used in OPF analysis that involve distributed generation

Acronym	Optimization method	Reference
PSO	Particle swarm optimization	(Grisales-Noreña <i>et al.</i> , 2018, Abido, 2020, Khan <i>et al.</i> , 2020)
TSA	Tabu search algorithm	(Abido, 2020)
GA	Genetic algorithms	(Radziukynas & Radziukyniene, 2009)
BA	Bat algorithm	(Radziukynas & Radziukyniene, 2009)
DEA	Differential evolution algorithm	(Radziukynas & Radziukyniene, 2009, Abou El Ela <i>et al.</i> , 2010)
ALO	Ant lion optimizer	(Mouassa <i>et al.</i> , 2017)
SCA	Sine-cosine algorithm	(Attia <i>et al.</i> , 2018, Manrique <i>et al.</i> , 2019)
VSA	Vortex search algorithm	(Montoya <i>et al.</i> , 2020b, Montoya <i>et al.</i> , 2019)
ACO	Ant colony optimization	(Raviprabhakaran & Ravichandran, 2016)
KHA	Krill herd algorithm	(Mukherjee & Mukherjee, 2015)
GO	Grasshopper optimization	(Taher <i>et al.</i> , 2019)
BHO	Black hole optimizer	(Hasan & El-Hawary, 2014)
FA	Firefly algorithm	(Khan <i>et al.</i> , 2020, Herbadji <i>et al.</i> , 2013, Chen <i>et al.</i> , 2018)
GSO	Glowworm swarm optimization	(Salkuti <i>et al.</i> , 2019)
TLBO	Teaching-learning-based optimization	(Boucekara <i>et al.</i> , 2014)
WOA	Whale optimization algorithm	(Ben Oualid Medani <i>et al.</i> , 2018)
GWO	Grey wolf optimizer	(El-Fergany & Hasanien, 2015, Siavash <i>et al.</i> , 2017)

**Source:** Authors

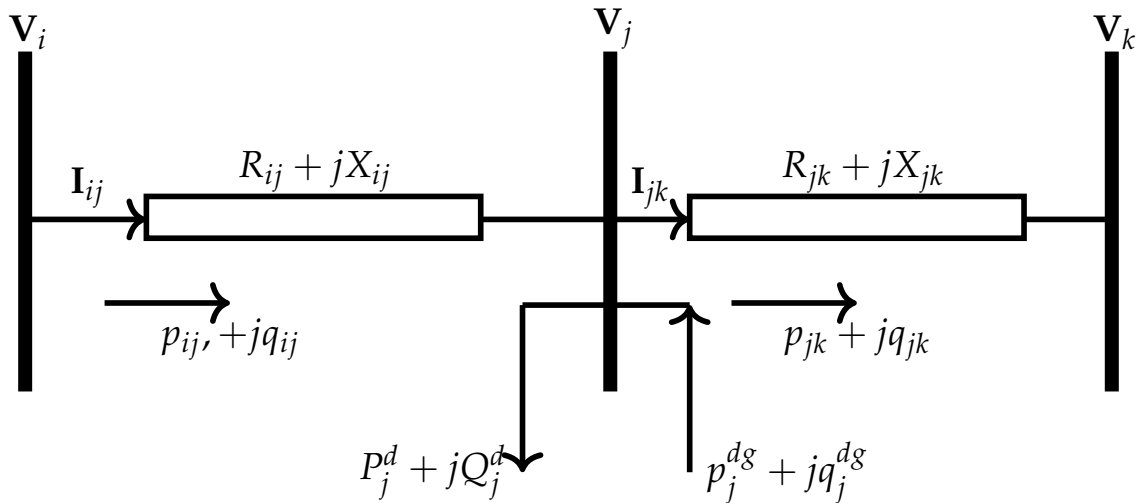
Farivar & Low, 2013. However, in some cases, it is not possible to use software to implement convex model, which is why it is also important to study metaheuristic techniques.

This study is organized as follows: Section 2 presents the general OPF formulation using the branch of the network; Section 3 presents a general review of metaheuristic optimization methods to solve the OPF problem, which summarizes them through a pseudo-code; Section 4 shows the exact nonlinear OPF model's reformulation into a SOCP equivalent by using the hyperbolic relaxation of the power flow in each distribution line; Section 5 presents the main characteristics of the employed test feeders, composed of 33 and 69 nodes; Section 6 analyzes the results of the metaheuristics and convex optimization for solving OPF problems; and Section 7 presents the main conclusions derived from this study, as well as some possible future works.

## EXACT OPF FORMULATION

The OPF problem for electrical distribution networks is one of the most classic optimization problems in electrical engineering (Mohagheghi *et al.*, 2018, Khan & Singh, 2017). This problem deals with determining the subset of power injections in distributed generators aiming to minimize the total grid power losses. This is generally done for peak load conditions in particular (Grisales-Noreña *et al.*, 2018). The main complication of this problem is its nonlinear and non-convex structure (Montoya *et al.*, 2022, Lavaei & Low, 2011). Here, an OPF formulation is presented which is based on the branch power flow formulation that can only be applied to distribution networks with a radial configuration (Farivar & Low, 2013).

To obtain the branch OPF model, let us consider the single-line diagram presented in Figure 1. In this figure, the variables and parameters have the following meaning:  $P_{ij}$  and  $q_{ij}$  represent the active and reactive power flow from nodes  $i$  to  $j$ , leaving from node  $i$ ;  $R_{ij}$  and  $X_{ij}$  correspond to the resistance and reactance parameters of the line;  $P_j^d$  and  $Q_j^d$  are the demand consumptions in node  $j$ , respectively;  $P_j^{dg}$  and  $Q_j^{dg}$  are the active and reactive power generation in node  $j$ ;  $V_i$  and  $V_j$  are the voltage profiles at nodes  $i$  and  $j$ ;  $p_{jk}$  and  $q_{jk}$  are the active and reactive power flows leaving from node  $j$ ; and  $I_{ij}$  represents the current that flows from nodes  $i$  to  $j$ . Note that  $I_{ij}$  and  $V_i$  are variables in the complex domain.



**Figure 1.** General connection between nodes in a radial grid

**Source:** Authors.

Based on Figure 1, the active and reactive power balances at each node are defined, except in the reference (slack source), *i. e.*,  $\forall j \in \mathcal{N} \neq \{0\}$ , as follows:

$$p_{ij} - R_{ij}|I_{ij}|^2 - \sum_{k:(j,k) \in \mathcal{E}} p_{jk} = P_j^d - p_j^{dg}, \quad \forall j = 1, 2, I, n, \quad (1)$$

$$q_{ij} - X_{ij}|I_{ij}|^2 - \sum_{k:(j,k) \in \mathcal{E}} q_{jk} = Q_j - q_j^{dg}, \quad \forall j = 1, \dots, n, \quad (2)$$

where  $\mathcal{E}$  is the set that contains all the nodes of the network. Note that, for each distribution line, it is known that:

$$V_i - V_j = Z_{ij}I_{ij}, \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E}, \quad (3)$$

with  $Z_{ij} = R_{ij} + iX_{ij}$ . In addition, from Tellegen's theorem, the power flow in each line can be defined as follows:

$$I_{ij} = \left( \frac{S_{ij}}{V_i} \right)^* \cdot \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E}. \quad (4)$$

Now, by substituting Equation (4) into (3) and taking the magnitude square of this expression, the following is obtained:

$$\begin{aligned} V_j &= V_i - Z_{ij} \left( \frac{S_{ij}}{V_i} \right)^*, \\ |V_j|^2 &= |V_i|^2 - (Z_{ij}S_{ij}^* + Z_{ij}^*S_{ij}) + |Z_{ij}|^2|I_{ij}|^2, \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E} \\ |V_j|^2 &= |V_i|^2 - 2(R_{ij}p_{ij} + X_{ij}q_{ij}) + (R_{ij}^2 + X_{ij}^2)|I_{ij}|^2, \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E}. \end{aligned} \quad (5)$$

In addition, from Equation (4), it is known that:

$$|I_{ij}|^2 = \frac{p_{ij}^2 + q_{ij}^2}{|V_i|^2}, \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E}. \quad (6)$$

The formulation of the objective function of the OPF problem is typically assigned as the minimization of power losses in all the branches of the network, which can be formulated as:

$$p_{loss} = \sum_{(j,k) \in \mathcal{E}} R_{ij}|I_{ij}|^2 \quad (7)$$

The mathematical formulation (1) to (7) defines the OPF formulation in general terms using the branch power flow formulation as presented in [Montoya et al., 2022](#). For the sake of simplicity, it is herein presented it in compact form:

*Exact nonlinear OPF model (Model 1):*

$$\text{Ob. Fun. } \min_{p_{loss}} = \sum_{(j,k) \in \mathcal{E}} R_{ij}|I_{ij}|^2 \quad (8)$$

sub. To

$$p_{ij} - R_{ij}|I_{ij}|^2 - \sum_{k:(j,k) \in \mathcal{E}} p_{jk} = P_j - p_j^{dg}, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n,$$

$$q_{ij} - X_{ij}|I_{ij}|^2 - \sum_{k:(j,k) \in \mathcal{E}} q_{jk} = Q_j - q_j^{dg}, \quad \dots = 1, 2, \dots, n,$$

$$|V_j|^2 = |V_i|^2 - 2(R_{ij}p_{ij} + X_{ij}q_{ij}) + (R_{ij}^2 + X_{ij}^2)|I_{ij}|^2, \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E}$$

$$|I_{ij}|^2 = \frac{p_{ij}^2 + q_{ij}^2}{|V_i|^2}, \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E}$$

The main complication in the OPF model (8) corresponds to the nonlinearity introduced by the division of the square of the apparent power and the magnitude of the voltage profile, as this implies a strong non-convexity of the solution space, which makes it impossible to ensure that the global optimum is found via conventional optimization techniques. To address this complication in the optimization model, the literature shows two ways to solve this problem. The first path is to combine metaheuristic techniques by means of classical power flow methods in order to solve the problem iteratively. The second one is reformulating the problem via convex optimization in order to ensure that the global optimum is found through interior point methods.

**Remark 1.** *The main goal of the OPF model defined in (8) is to define the set of active and reactive power generations in distributed power sources, i.e., the best values for  $p_j^{dg}$  and  $q_j^{dg}$  that allow minimizing the total grid losses (Farivar & Low, 2013).*

## SOLUTION WITH METAHEURISTICS

Metaheuristic optimization techniques are essentially nature-inspired optimization methods that deal with nonlinear non-convex large-scale optimization problems by using a sequential programming structure. These approaches can be classified into two big fields based on their initial inspiration. The first set includes bio-inspired algorithms such as genetic algorithms (Moradi & Abedini, 2012), particle swarm optimization (Grisales-Noreña *et al.*, 2018), the artificial bee colony algorithm (Deshmukh & Kalage, 2018), the krill herd algorithm (Mukherjee & Mukherjee, 2015), the teaching-based learning optimizer (Boucekara *et al.*, 2014), ant colony optimization (Raviprabakaran & Subramanian, 2018), and the bat algorithm (Yuan & Hesamzadeh, 2019), among others. The second field includes physics- and mathematics-inspired methods such as black hole optimization (Hasan & El-Hawary, 2014), the supernova optimizer (Hudaib & Fakhouri, 2018), the vortex search algorithm (Yuan & Hesamzadeh, 2019), the hurricane search algorithm (Rhoub & Imrani, 2014), the sine-cosine algorithm (Attia *et al.*, 2018, Mirjalili *et al.*, 2020), and so on.

The main characteristics of optimization methods based on metaheuristics are listed below:

- ✓ They work with an initial population that contains some of the problem's decision variables, *i.e.*, active and reactive power generation in distributed sources, in the case of the OPF problem.
- ✓ The objective function is modified into a fitness function that considers restrictions as penalties in order to explore possible infeasible regions that allow reaching promissory regions in the solution space with high-quality solutions.
- ✓ A slave stage is typically used to address the problem associated with equality constraints, *i.e.*, the power flow solution in the case of OPF analysis.
- ✓ These use evolution criteria to explore and exploit the solution space, *i.e.*, in the genetic algorithm, the evolution stage uses selection, recombination, and mutation criteria.

- ✓ Two typical stopping criteria are used for finishing the exploration of the solution space: i) when the maximum number of iterations is reached, and ii) when, during  $k_{max}$  consecutive iterations, the best solution does not show any improvement.

In general, the main advantage of using metaheuristics optimization methods is their easy implementation in any programming language while using scalars, vectors, and matrices to represent the problem. However, the main problems experienced with metaheuristics are i) the optimal parametrization of the problem, *i.e.*, the number of iterations and size of the population, among others; and ii) the need to perform statistical analyses, as it is not possible to mathematically ensure that the global optimum is found.

Regarding the application of metaheuristics to OPF solutions, tens of methods can be found in the current literature, which are also combined with optimal siting and sizing strategies for distributed generation. Table 1 reports some common approaches available in the literature for OPF analysis. In general, the application of a metaheuristic optimization method to solve the OPF problem described in (8) can be summarized as presented in Algorithm 1.

The main aspect of Algorithm 1 is the evaluation of the fitness function, which, in the case of OPF analysis, is related to the power flow solution. The power flow solution is typically used as an iterative approach. Some of the most common power flow methods are the Gauss-Seidel, Newton-Raphson, and graph-based methods (Montoya & Gil-González, 2020, Shen *et al.*, 2018) and successive approximations (Montoya & Gil-González, 2020), among others. The power flow solution defines the direction in which the solution space will be explored in order to find a high-quality solution.

## Power flow solution

Because metaheuristic methodologies employ a master-slave type strategy to solve the OPF problem, in which each set of generated powers must be evaluated by a power flow, this research employs the successive approximation method (Montoya & Gil-González, 2020). The main features of this method are presented in the flow diagram shown in Figure 2.

It is important to mention that, in this figure, which shows the sequence of steps to solve the power flow problem in radial or meshed distribution networks with a single-phase equivalent, the variables and parameters presented therein have the following interpretation:  $\mathbb{Y}$  is a matrix defined in the complex domain containing the nodal admittances of the system;  $\mathbb{Y}_{dg}$  is a submatrix derived from  $\mathbb{Y}$  and corresponds to the section of the network related to the slack node;  $\mathbb{Y}_{dd}$  is also a submatrix of  $\mathbb{Y}$  that corresponds to the demand nodes of the network;  $V_d^0$  corresponds to the demand nodes in the network;  $V_d^{t+1}$  corresponds to the unknown voltage variables of all the load nodes present in the network;  $\mathbb{Z}_{dd}$  is the inverse matrix of  $\mathbb{Y}_{dd}$  and corresponds directly to the demand impedances of the network;  $I_d$  is the vector containing the network demand currents;  $D_d^{-1}(V_D^*)$  is the inverse diagonal of the transposed nodal demand voltages; and  $c$  refers to the constant defining the stop criterion, usually with a value of  $1 \times 10^{-10}$ .



---

**Algorithm 1** General OPF solution methodology using metaheuristics

---

```

Define the AC grid parameters;
Parametrize the optimization algorithm;
Define the population size  $M$ ;
Select the maximum number of iterations  $t_{\max}$  and make  $t = 0$ ;
Select the maximum number of non improvements  $k_{\max}$  and make  $k = 0$ ;
while  $t \leq t_{\max}$  do
    if  $t = 1$  then
        Create the initial population;
        Evaluate the fitness function of each individual in the population;
        Select the best current solution individual;
    end
    for  $i \leq M$  do
        Apply the evolution strategy for each individual;
        Evaluate the fitness function for this individual;
    end
    if Non-improvement in the objective function ? then
         $k = k+1$ ;
    else
         $k = 0$ ;
    end
    if  $t \geq t_{\max}$  ||  $k \geq k_{\max}$  then
        Report the best solution of the current population;
        Finish the exploration of the solution space;
    end
end
end
    
```

Source: Authors

---

Once the power flow problem has been solved using the successive approximation method (Figure 2), the grid power losses can be calculated as follows:

$$S_{loss} = V_d^T [YV_d]^*, \quad (9)$$

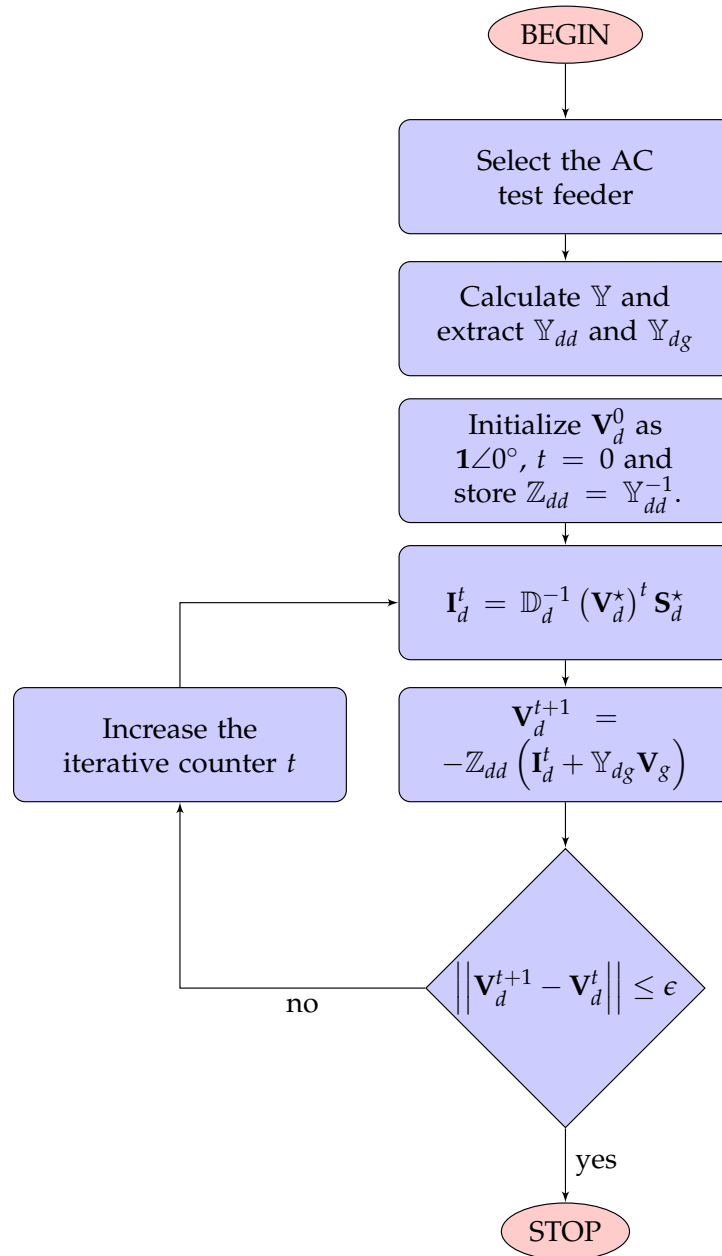
where  $S_{loss}$  corresponds to the total apparent power losses of the network.

### Implementing the metaheuristic optimizers

To generate the power set (*i.e.*, implementing the master stage of the optimal power flow problem), the following metaheuristic methods are employed: particle swarm optimization (Lima & Barán, 2006), the crow search algorithm (Prior *et al.*, 2008), genetic algorithms (Winter, 2005), the sine-cosine algorithm (Rosli *et al.*, 2020), the vortex search algorithm (Doğan & Ölmez, 2015), and the black hole optimizer (Grisales-Noreña *et al.*, 2020).

The main characteristic of these combinatorial optimization methods is that they all explore and exploit the solution space starting from an initial population. This population is essentially the starting point for the algorithm and is generally created randomly throughout the solution space. This population can be mathematically represented as follows:

$$P_i = P_{gd}^{min} + (P_{gd}^{max} - P_{gd}^{min})r(n_i, n_{gd}) \quad (10)$$



**Figure 2.** Flowchart of the proposed power flow method based on successive approximations

**Source:** Authors.

where  $P_{gd}^{min}$  and  $P_{gd}^{max}$  define the capacity limits of distributed generation, and  $r$  is a matrix of random numbers with dimensions  $n_i$  rows (number of individuals) and  $n_{gd}$  columns (number of distributed generators).

Once the initial population is established, the implementation methodology is executed for each of the metaheuristic optimization methods. The work logic of each of the methodologies analyzed in this research is explained below.

### **Particle swarm optimization**

Particle swarm optimization (PSO) is a metaheuristic method based on the behavior of particles in nature. It especially focuses on the behavior of flocks of fish and birds (Lima & Barán, 2006). These particles move within the search space while obeying a set of rules that consider their position and velocity in order to find global maximum or minimum values (Gutiérrez et al., 2017). In PSO, the population considers  $n$  particles corresponding to candidate solutions. These particles are a vector of  $m$ -dimensional with real values, where  $m$  represents the number of optimized parameters. This indicates that each dimension of the particle is a parameter of the problem space to be optimized. In each iteration of the execution process, the information of each particle is considered, as well as all the information associated to the swarm. With this, the evolution of the swarm and the update of the global minima that will determine the best solution for the objective function is achieved. Once the initial population is generated as denoted in Equation (10), positions  $x_t^i$  and speeds  $v_t^i$  are established in the particle swarm. Each particle knows the best position it has visited ( $P_{best}$ ). This variable works as an autobiographical local memory, and the best position of the leader  $G_{best}$  works as a local memory that is determined by the best places visited in the past by the whole group or swarm. The leader is the particle that presents the best adaptation function in each iteration. The velocity and position function of each particle at iteration  $t + 1$  are given by the following formulations:

$$v_{t+1}^i = w_t v_t^i + \phi_1 r_1 (P_{best} - x_t^i) + \phi_2 r_2 (G_{best} - X_t^i) \quad (11)$$

$$x_{t+1}^i = x_t^i + v_{t+1}^i, \quad (12)$$

where  $w_t$  represents the inertia factor, which in turn represents the degree of influence of the current speed in the future speed and is responsible for controlling the convergence of the algorithm;  $\phi_1$  and  $\phi_2$  control the position of the particle and the leader based on the new iteration velocity; and  $r_1$  and  $r_2$  are random number values in the range of [0,1]. The inertia factor is updated in each iteration according to the following formulation:

$$w_t = w_{max} - \left( \frac{w_{max} - w_{min}}{t_{max}} \right) t. \quad (13)$$

When the power flow has been solved and the objective function has been evaluated for each particle, the  $G_{best}$  of each iteration is obtained, which is compared iteration after iteration to finally obtain the optimal solution to the problem.

### ***Crow search algorithm***

The crow search algorithm (CSA) was developed by [Askarzadeh, 2016](#) and consists of an evolutionary algorithm inspired by the intelligent behavior of crows. These animals are considered to be among the most intelligent in the world ([Prior et al., 2008](#)). Crows are known to watch other birds, looking for where they hide their food in order to steal it once the owner leaves. If a crow has committed a theft, it will take extra precautions, such as changing its hiding place to avoid being a future victim. In fact, they use their own thieving experience to predict the behavior of a potential thief, so that they can determine the safest way to protect their supplies.

Based on the above, in the crow search algorithm, the population of  $N$  individuals (crows) evolves from a given point ( $t = 0$ ) up to a maximum number of generations ( $t = t_{max}$ ) individual  $c_k^i$  ( $i \in [1, \dots N]$ ). Each is represented by a  $d$ -dimensional vector, where each of the dimensions corresponds to a decision variable of the problem to be solved.

This algorithm considers two states for a new population  $C_{t+1}$ . The first state is when the individual knows that it is being followed by a thief, and the second is when the individual does not know. This behavior is modeled with a knowledge probability factor  $AP_t^i$  that determines the state of an individual. In this way, each new individual in the population is generated as shown in Equation (14):

$$\begin{cases} c_t^i + r^i f_l (m_t^j - c_t^i) & AP_t^i, \\ \text{Random} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

where  $r^i$  and  $r^j$  are random numbers between 0 and 1;  $f_l$  is a parameter that determines the flight distance; and  $m_t^j$  is the memory of individual  $j$  at iteration  $t$ , which refers to the food cache.

First, the algorithm is initialized like other metaheuristic methods, with the initial population (bounds and dimensions) and initial parameters (stopping criteria,  $f$ ,  $AP$ ), in accordance with Equation (10). The next step is to randomly initialize the positions of the individuals and evaluate them based on the objective function, in order to obtain results for each individual and thus extract the best solution for the objective function. After this, the evolution (new positions) is generated via Equation (14). For all individuals, the new positions are evaluated based on the objective function, and the memory is updated. Finally, the stopping criteria for the iterative process of the algorithm are established. These are linked to the implementation of the CSA, so two stopping criteria are generally used: i) when a value of the objective function is reached in which the best individuals converge to a value and this does not change throughout the iterations, and ii) when a predetermined number of iterations is reached.

### ***Genetic algorithm***

Genetic algorithms (GAs) are methods based on adaptation that can be used to solve optimization search problems. These algorithms are based on the genetic processes of living organisms. By

mimicking these processes, GAs are able to generate solutions to real-world problems (Winter, 2005). The optimal evolution that leads to optimal values depends on their proper encoding.

GAs work with a population of individuals, each of which represents a feasible solution to a given problem. Each individual is assigned a value, or score related to the objective function and the improvement of the results.

GAs, like the other algorithms, are linked to the implementation of the problem to be addressed, *i.e.*, each objective function has an adapted GA. The following section shows a base algorithm that used to adapt to each optimization problem. Each genetic algorithm consists of the following stages: domain configuration, population evaluation, selection, crossover, and mutation.

Via domain coding, a set of possible input values is obtained, which refers to the domain in which the function is located. This is equivalent to the genotype, which is the DNA of the organisms (Mitchell, 1998). The algorithm obtains an initial population as input, with which new populations are generated; some individuals disappear, and others appear until a solution is reached depending on the stopping criteria.

With the evaluation of the population, there is a fitness function aiming to minimize the quadratic error  $E_{rms}$ . When this error tends to 0, the fitness tends to 1. The correlation between this function and the  $E_{rms}$  is denoted in Equations (15) and (16):

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{real} - X_{approx})^2}{n_i}}, \quad (15)$$

$$fitness = 2 \left( \frac{1}{E_{rms+1}} - \frac{1}{2} \right), \quad (16)$$

where  $E_{rms}$  is the mean square error,  $X$  is the value of the target variable of the population, and  $n_i$  is the amount of data for the initial population.

Afterwards, the most qualified individuals are selected for reproduction, *i.e.*, the most qualified individuals of the initial population that will be crossed to obtain a new generation, with a hybrid code from the most qualified individuals and ambitious characteristics. The crossing begins with the selected individuals, which consists of recombining the genetic information of the two individuals (parents), which reproduce and yield a third individual (child) that shares the genetic information of the other two. It is assumed that the third individual (offspring) obtains the best adaptive characteristics of the population. Finally, there is the mutation, which is an alteration in the child's genetic code, causing one of its genes to be randomly modified. This mutation has a low probability, usually a value of less than 1 % since the fitness function for mutated individuals is low.

### ***Vortex search algorithm***

The vortex search algorithm (VSA) is a metaheuristic algorithm inspired by the vortex flow behavior of agitated fluids (Doğan & Ölmez, 2015). The algorithm postulates candidate solutions that are

generated based on the current best solution by using a Gaussian distribution in each iteration (Gharehchopogh *et al.*, 2021), taking the current best solution as the center, *i.e.*, the center of the hypersphere (Gil-González *et al.*, 2020). The main characteristics of the VSA are presented below.

Generating candidate solutions using some region structures is of vital importance for the success of metaheuristics based on a central solution. When small changes are made to the current solution, the region is said to have a strong locality (Doğan & Ölmez, 2015). In contrast, a weak locality is characterized by a large effect on the solution, which results in a random search within the search space (Doğan & Ölmez, 2015). Efficient exploration (weak locality) is required in the initial steps, and, once the algorithm converges to a near optimal solution, further exploitation (strong locality) is required to adjust the current solution towards the optimal one. This algorithm requires an initial solution considered to have a two-dimensional problem for the mathematical model (9). An outer circle of the vortex is taken, which is centered in the first search space  $\mu_0$  (center of the hypersphere) and can be calculated via Equation (17)

$$\mu_0 = \frac{X_{max} + X_{min}}{2} \quad (17)$$

where  $X_{max}$  and  $X_{min}$  are the upper and lower bounds, respectively. They are  $d \times 1$  vectors that define the bound constraints of the problem whose dimension is  $d$ . Note that this dimension corresponds to the number of DGs to be dispatched in the problem under study. Several regional solutions  $C_t(s)$  (where  $t$  represents the iteration rate, which is initially  $t = 0$ ) are randomly generated around the initial solution  $\mu_0$  in  $d$ -dimensional space using a Gaussian distribution. Equation (18) shows the Gaussian distribution (Gharehchopogh *et al.*, 2021):

$$p(x|\mu, \Sigma) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^d |\Sigma|}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \mu)^T \Sigma^{-1} (x - \mu) \right\}, \quad (18)$$

where  $d$  represents the dimension,  $x$  is the vector  $d \times 1$  composed of random variables,  $\mu$  is the vector  $d \times 1$  of sample means, and  $\Sigma$  is the covariance matrix (Scoble, 2015). For this algorithm,  $\Sigma$  can be calculated using equal variances with zero covariances via Equation (19);

$$\Sigma = \sigma^2 [I]_{d \times d}, \quad (19)$$

where  $\sigma$  represents the variance of the distribution, and  $I$  represents the identity matrix  $d \times d$ . The initial standard deviation  $\sigma_0$  of the distribution can be calculated through Equation (20):

$$\sigma_0 = \frac{X_{max} - X_{min}}{2} \quad (20)$$

It is important to mention that one of the main characteristics of the VSA is that it works with a variable radius that decreases as the solution space is explored. This, in order to control the balance between exploration and exploitation of the solution space (Montoya *et al.*, 2020b). This research employs the exponential reduction of the radius proposed by Montoya & Gil-González, 2020.

### *Sine-cosine algorithm*

The sine-cosine algorithm (SCA) is an optimization algorithm that works with trigonometric functions as a forward rule to explore and exploit the solution space (Abo-Elnaga & El-Shorbagy, 2020). As any other optimization technique, the population that will yield multiple random initial solutions is first created and evaluated regarding the objective function through the sine and cosine rules. With weighting factors, the SCA advances through the solution space iteratively, taking the best solution found up to the current iteration as reference (Rosli *et al.*, 2020). The SCA evolution rule is presented below:

$$x_{t+1}^i = x_t^i + r_1 \sin(r_2) |r_3 P_t^i - x_t^i|, \quad r_4 < \frac{1}{2}, \quad (21)$$

$$x_{t+1}^i = x_t^i + r_1 \cos(r_2) |r_3 P_t^i - x_t^i|, \quad r_4 < \frac{1}{2}, \quad (22)$$

In Equations (21) and (22),  $x_t^i$  refers to the individual  $i$  in iteration  $t$ ;  $P_t^i$  is the leading individual in each iteration, *i.e.*, the best solution in that iteration; and  $r_1, r_2, r_3$  and  $r_4$  are parameters specific to the SCA which define the behavior of the population as follows:

- $r_1$  defines the direction of movement into or out from the area between the current position and the leader.
- $r_2$  defines how far the movement must be in a range of  $[0, 2\pi]$ , as the outward movement of the area is represented by the positive part of the sine and cosine functions and the inward movement represents the negative part of these functions.
- $r_3$  defines the weight in order to highlight ( $r_3 > 1$ ) or reduce ( $r_3 < 1$ ) the randomness of the location in the definition of distance.
- $r_4$ , in the range  $[0, 1]$ , identifies the position based on the comparison between the sine and cosine functions.

Finally, the parameter  $r_1$  can be mathematically defined as follows:

$$r_1 = 1 - \frac{t}{t_{max}} \quad (23)$$

To solve the OPF using the SCA, once the initial population is established, the flow is solved, and the objective function is evaluated while considering the algorithm parameters. In each iteration, a leader representing the best solution is obtained. This process is repeated until there are no more updates in the leader's position, which constitutes a stopping criterion together with the maximum number of iterations achievable.

### **Black-hole optimizer**

This metaheuristic optimization algorithm is based on the dynamic interaction that occurs between stars and black holes (Velasquez *et al.*, 2019). Its logic follows that applied in the particle swarm algorithm, making direct reference to the cumulus of stars to which the particles are related. It also employs a criterion of elimination and generation of stars through a heuristic approach that follows the concept of *event horizon* (Grisales-Noreña *et al.*, 2020). The BHO starts its exploration of the solution space when the initial population is created, which corresponds to the first set of stars randomly distributed in the solution space.

(Boucekara, 2013). In the logic of the programmed algorithm, this is defined according to the number of individuals to be worked with and determined via Equation (10). When stars are in proximity to a black hole, they experience an intense gravitational force, which is why the particular behavior of each star may vary depending on its location with respect to the black hole (Boucekara *et al.*, 2014). This phenomenon is mathematically represented as follows:

$$P_{t+1}^i = P_t^i + (P_t^{BH} - P_t^i)r(1, n_{gd}) \quad (24)$$

where  $P^{BH}$  refers to the black hole in the population and  $P_t^i$  represents the individual after the interaction with the black hole (Grisales-Noreña *et al.*, 2020). Each star that crosses the event horizon is destroyed, so the survival of each one depends on its position with respect to the hole. To simulate the possibility of the star being consumed by the black hole, a mathematical formulation is used which defines the radius of the event horizon and determines the risk range for the star. This is described as follows:

$$REH = \frac{f(P_{t+1}^{BH})}{\sum_{i=1}^{n_i} P_{t+1}^i} \quad (25)$$

where  $f(P_{t+1}^{BH})$  represents the best value obtained for the objective function of all individuals in the current population. On the other hand, the denominator represents the sum of the objective function of all individuals in the population in the current iteration.

The factor that determines whether any star crosses the event horizon depends on the relative distance between the star and the black hole:

$$DHB_i = \|P_{t+1}^{BH} - P_{t+1}^i\| \quad (26)$$

If  $REH > DHB_i$  is satisfied, a new star is then generated to replace the old one, and the  $i$  star is absorbed (destroyed) by the black hole.

Finally, if no update in the black hole's position is obtained by solving the flow and evaluating the objective function at each iteration, the optimal solution of the problem is reached.



## CONVEX OPTIMIZATION

Convex optimization is a field of mathematical optimization that deals with complex optimization problems by reformulating nonlinear non-convex constraints into convex ones. This, in order to ensure that the global optimum is found via interior point methods (Boyd & Vandenberghe, 2004, Kronqvist *et al.*, 2019). Some of the most common convex optimization problems are listed below:

- Linear programming
- Quadratic programming with affine constraints
- Second-order cone programming
- Semidefinite programming
- Geometric programming

The most common methods for optimal power flow analysis are: quadratic programming (Garcés, 2016), semidefinite programming (Bai *et al.*, 2008, Montoya-Giraldo *et al.*, 2017, Andersen *et al.*, 2013), and second-order cone programming (Montoya *et al.*, 2020c, Yuan & Hesamzadeh, 2019, Farivar & Low, 2013, Lavaei & Low, 2011, Baradar *et al.*, 2013, Simiyu *et al.*, 2020).

This study adopts the SOCP formulation by Farivar & Low, 2013 to present the equivalent convex reformulation of the model (8). To address this SOCP equivalent, let us define the following auxiliary variables:  $l_{ij} = |I_{ij}|^2$ ,  $v_i = |V_i|^2$  and  $v_j = |V_j|^2$ . Now, let us approximate the hyperbolic relation between voltages and currents in the last equation of model (8) as a conic constraint, *i.e.*,

$$\begin{aligned}
 v_i l_{ij} &= p_{ij}^2 + q_{ij}^2, \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E} & (27) \\
 &= \frac{1}{4}(v_i + l_{ij})^2 - \frac{1}{4}(v_i - l_{ij})^2, \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E} \\
 (v_i + l_{ij})^2 &= (2p_{ij})^2 + (2q_{ij})^2 + (v_i - l_{ij})^2, \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E} \\
 v_i + l_{ij} &= \left\| \begin{array}{c} 2p_{ij} \\ 2q_{ij} \\ v_i - l_{ij} \end{array} \right\|, \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E}
 \end{aligned}$$

**Remark 2.** Note that (27) is still non-convex due to the equality symbol. However, this symbol can be relaxed to become a conic convex constraint, as recommended by Farivar & Low, 2013.

The convex equivalent of (27) takes the following form:

$$\left\| \begin{array}{c} 2p_{ij} \\ 2q_{ij} \\ v_i - l_{ij} \end{array} \right\| \leq v_i + l_{ij}, \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E} \quad (28)$$

Now, with the relaxation presented in Equation (28), the nonlinear non-convex OPF model defined in (8) takes the SOCP form presented in (29).

*SOCP reformulation of the OPF problem (Model 2)*

$$\text{Obj. Fun. } \min p_{loss} = \sum_{(j,k) \in \mathcal{E}} R_{ij} l_{ij} \quad (29)$$

Sub. To.

$$p_{ij} - R_{ij} l_{ij} - \sum_{k:(j,k) \in \mathcal{E}} p_{jk} = P_j - p_j^{dg}, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n$$

$$q_{ij} - X_{ij} l_{ij} - \sum_{k:(j,k) \in \mathcal{E}} q_{jk} = Q_j - q_j^{dg}, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_j = v_i - 2(R_{ij} p_{ij} + X_{ij} q_{ij}) + (R_{ij}^2 + X_{ij}^2) l_{ij}, \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E}$$

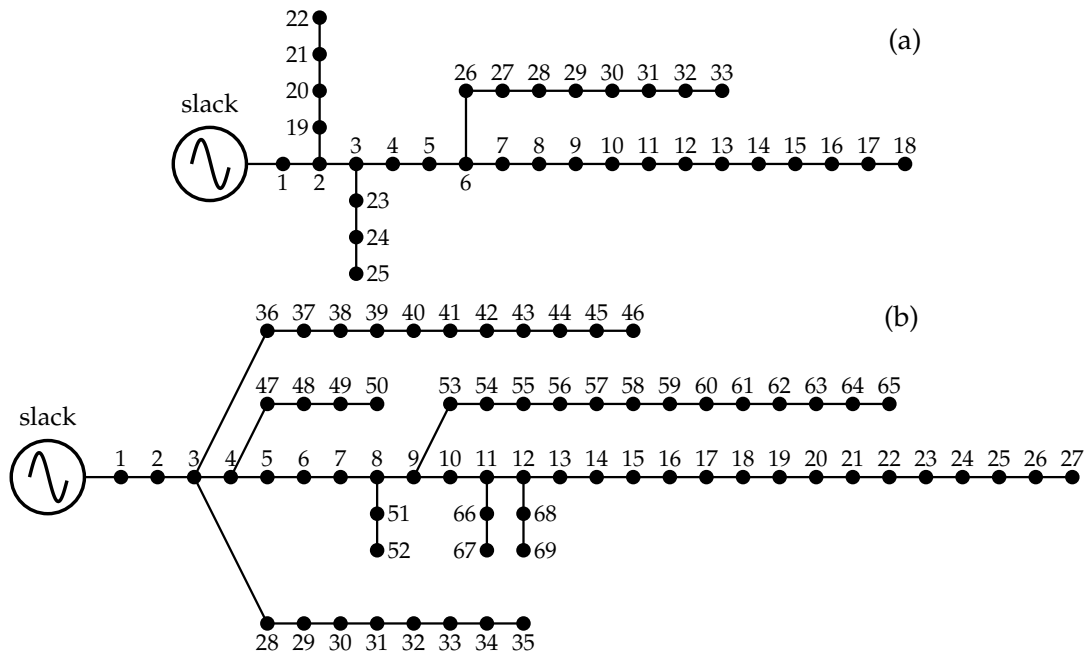
$$\begin{cases} 2p_{ij} \\ 2q_{ij} \\ v_i - l_{ij} \end{cases} \leq v_i + l_{ij}, \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E}$$

The main advantage of the SOCP reformulation presented in (29) is that it is mathematically ensured that the global optimum is found, as demonstrated by [Farivar & Low, 2013](#) which implies that no statistical tests or heuristic parametrizations are required (*e.g.*, the number of iterations of population sizes, as is the case of metaheuristic optimization methods).

## TEST FEEDERS

To compare the methodologies studied in this paper for OPF analysis in distribution networks regarding distributed generation along the AC grid, two conventional and widely used distribution grids were used, which are composed of 33 and 69 nodes. These grids are operated with 12,66 kV at the substation bus and have a radial structure. The single-line diagram for the two test systems is illustrated in [Figure 3](#).

To evaluate the OPF solution in these test feeders, this research takes the information reported by [Montoya & Gil-González, 2020](#) regarding the lower and upper limits of the power generated in the DGs. For the 33-node test feeder, the DGs can provide from 300 to 1.200 kW to the grid, while, in the 69-node test feeder, these outputs range from 0 to 2.000 kW. Three DGs are considered for both test feeders.



**Figure 3.** Single-line diagram of the test feeders: a) 33- node test feeder, b) and 69-node test feeder

**Source:** Authors.

## COMPUTATIONAL VALIDATIONS

This section compares the performance of the metaheuristics and the SOCP approaches to solve the OPF problem while considering DGs in radial distribution networks. This validation was carried out using a personal computer with an AMD Ryzen 7 3700U @ 2.3 GHz and 16 GB RAM while running a 64-bits version of Windows 10 Home Single Language and the MATLAB programming environment.

To compare these optimization approaches, the information available for both test feeders in the literature was considered (Table 2).

In order to carry out the comparison and validation processes, all the relevant information on the implementation of DG through metaheuristic optimization in each of the distribution systems under study is first collected. This, in order to observe the results obtained regarding DG size and location in the networks and perform the corresponding validations. It can be seen that, in the specialized literature, there are reports with several metaheuristic methodologies that allow reaching the goal of considerably reducing the active power losses. By observing the data, it is decided to use the node locations that yield the best results when implementing DGs. This methodology allows conducting the second part of the validation process. Once the location of the DGs is defined in the networks

**Table 2.** Common metaheuristics used in OPF analysis

Acronym	Optimization method	Reference
GA-PSO	Genetic algorithm and particle swarm optimization	(Moradi & Abedini, 2012)
LSFSA	Loss sensitivity factor simulated annealing	(Injeti & Kumar, 2013)
MINLP	Mixed-integer nonlinear programming formulation	(Kaur <i>et al.</i> , 2014)
TBLO	Teaching learning-based optimization	(Sultana & Roy, 2014)
QOTBLO	Quasi-oppositional teaching learning-based optimization	(Sultana & Roy, 2014)
HSA-PABC	Harmony search algorithm and particle artificial bee colony algorithm	(Muthukumar & Jayalalitha, 2016)
RBFNN-PSO	Radial basis function neural network and particle swarm optimization	(Gupta <i>et al.</i> , 2015)
GA-IWD	Genetic algorithm and intelligent water drops	(Moradi & Abedini, 2016)
AHA	Algorithmic heuristic approach	(Bayat, & Bagheri, 2019)
KHA	Krill herd algorithm	(Sultana & Roy, 2016)
PBIL-PSO	Population-based incremental learning and particle swarm optimization	(Grisales-Noreña <i>et al.</i> , 2018)
ABCA	Artificial bee colony algorithm	(Deshmukh & Kalage, 2018)
HTLBOGWO	Hybrid teaching-learning-based optimization, grey wolf optimizer	(Nowdeh <i>et al.</i> , 2019)
MSSA	Mutated salp swarm algorithm	(Gholami & Parvaneh, 2019)
CHVSA	Constructive heuristic vortex search algorithm	(Bocanegra & Montoya, 2019)
GAMS	General algebraic modeling system	(Montoya & Gil-González, 2020)
CBGA-VSA	Chu and Beasley genetic algorithm and vortex search algorithm	(Montoya <i>et al.</i> , 2020b)

**Source:** Authors.

(nodes 13, 24, and 30 for the 33-node test feeder) and 69 (nodes 11, 18 and 61 for the 69- node grid) nodes, these positions are evaluated along with their results through validations using the selected metaheuristic methods and the SOCP methodology.

To quantitatively compare the studied methodologies for solving the OPF problem, a statistical analysis was performed in order to corroborate each of the incidence variables in the metaheuristic approaches, given the iterative nature of these methodologies and the fact that the same solution is not always reached after repeated runs. The statistical variables applied are the minimum and maximum values, the mean, and the standard deviation –all applied to the objective function after multiple runs of each of the algorithms.

### 33-node test feeder results found in the literature

Table 3 presents the comparative analysis between the literature reports regarding metaheuristics and the SOCP model for OPF analysis in AC distribution networks.

**Table 3.** Optimal location and sizing of DGs in the 33-node test feeder for the proposed and comparative approaches

Literature information		Metaheuristics		SOCP	
(No) Method	Node	Size (MW)	$p_{loss}$ (kW)	Size (MW)	$p_{loss}$ kW)
(1) GA-PSO	{11,16,32}	{0,9250,0,8630,1,2000}	103,3600	{0,6683,0,3713,0,9283}	86,0107
(2) LSFSA	{6,18,30}	{1,1124,0,4874,0,8679}	82,0525	{1,2000,0,4913,0,8055}	81,8853
(3) MINLP	{13,24,30}	{0,8000,1,0900,1,0500}	72,7862	{0,8018,1,0913,1,0536}	72,7853
(4) TLBO	{10,24,31}	{0,8246,1,0311,0,8862}	75,5400	{0,9746,1,0909,0,8860}	74,5106
(5) QOTLBO	{12,24,29}	{0,8808,1,0592,1,0714}	74,1008	{0,8799,1,0629,1,0730}	74,1006
(6) HSA-	{14,24,30}	{0,7550,1,0730,1,0680}	72,8129	{0,7709,1,0969,1,0658}	72,7896
PABC					
(7) GA-IWD	{11,16,32}	{1,2214,0,6833,1,2135}	110,5100	{0,6683,0,3713,0,9283}	86,0107
(8) AHA	{13,24,30}	{0,7920,1,0680,1,0270}	72,8340	{0,8018,1,0913,1,0536}	72,7853
(9) KHA	{13,25,30}	{0,8107,0,8368,0,8410}	75,4116	{0,8117,0,8712,1,0741}	73,5036
(10) MSSA	{13,24,30}	{0,8010,1,0910,1,0530}	72,7854	{0,8018,1,0913,1,0536}	72,7853
(11) CHVSA	{6,14,31}	{1,1846,0,6468,0,6881}	78,4534	{1,1892,0,6468,0,6863}	78,4533
(12) CBGA-VSA	{13,24,30}	{0,8018,1,0913,1,0536}	72,7853	{0,8018,1,0913,1,0536}	72,7853
(13) GAMS	{14,24,30}	{0,7550,1,0730,1,0680}	72,8129	{0,7709,1,0969,1,0658}	72,7896

Source: Authors

The simulation results presented in Table 3 allow observing that:

- The best solution reported in the literature for OPF analysis with distributed generation has been reported by the MSSA and the CBGA-VSA when nodes 13, 24, and 30 are considered as

DG locations. The power losses for these methods reach 72,7853 kW as the optimal solution.

- Methods such as the MINLP and the AHA have the same DG distribution. However, their optimal power flow solvers are stuck in locally optimal solutions, which are 72,7862 and 72,8340 kW, respectively. This indicates that some combinatorial methods cannot exploit the solution space adequately.
- For 84,62 % of the comparative methods in Table 3, the SOCP model reaches better solutions, with the greatest difference being found when the GA-IWD and the SOCP are compared, with an error of about 24,4493 kW in favor of the latter. Also note that a second big difference is observed for the GA-PSO approach.
- Only two of the thirteen methods presented in Table 3 (*i.e.*, the MSSA and the CBGA-VSA) find the global optimal solution of the problem when compared to the SOCP approach. However, it is important to mention that the power outputs in all the DGs exhibit small variations, which implies that the problem is multimodal and can have different power combinations with the same objective function.

Overall, Table 3 shows that the SOCP approach yields better solutions in the 33-node test feeder when different nodes are considered in the OPF analysis. In addition, the main advantage is that, when the combination of nodes is the same, the global optimum found is always the same, which is not possible with metaheuristics due to their random nature.

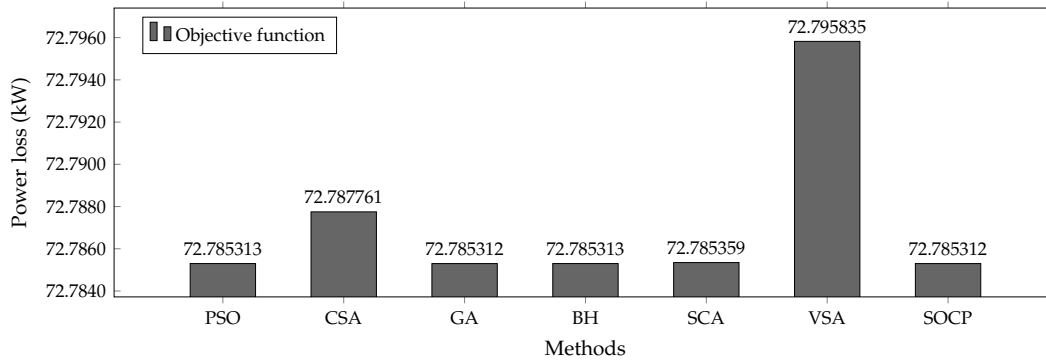
### Results obtained by the 33-node test feeder

An initial population of 30 individuals was established, given that, after performing different tests, good comparative results were obtained regarding the objective function and the processing time. A maximum number of iterations  $t_{max}$  of 100 was also defined for the CSA, BH, PSO, VSA, and SCA. For the GA, a number of 1.000 was defined because the execution structure requires more iterations to reach the expected value regarding the objective function. In addition, to evaluate the results obtained, each algorithm was executed 100 times in order to perform the corresponding statistical analysis.

Figures 4 and 5 show the results obtained for the global optimum or objective function and the processing time, respectively, for each of the methods implemented in the 33-node network.

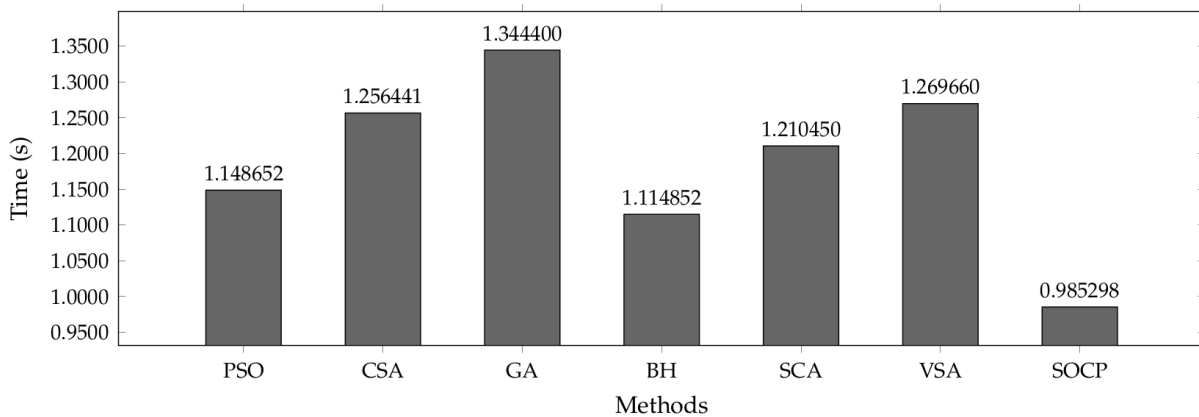
The optimal size obtained, along with the best solution for each method for each of the implemented DGs, is presented in Table 4.

The statistical values obtained for the maximum value and standard deviation are presented in Table 5, and the average of the problem's relevant variables for the 33-node network are presented in Table 6.



**Figure 4.** Objective function (global optimum) in the 33-node system

**Source:** Authors.



**Figure 5.** Processing times in the 33-node system

**Source:** Authors.

The results obtained in the validation show that:

- The best solution obtained for the objective function is reported by the SOCP method. It is also observed that the processing time for this methodology is the lowest. These results allude directly to the exact or linear structure of the SOCP, so the direct solution is obtained without iteration.
- For the metaheuristic methodologies, it is observed that the best results are obtained by the GA with 72,785312 kW and BHO and PSO with 72,78513 kW. These solutions range very close to the solution obtained with the SOCP method, which shows the efficiency of metaheuristic optimization.

**Table 4.** Optimal DG size for each node of the 33-node test feeder

Method	Node 13 (kW)	Node 24 (kW)	Node 30 (kW)
PSO	801,79617	1.091,31399	1.053,60457
CSA	801,95368	1.091,32611	1.053,86541
AG	801,98661	1.091,73716	1.053,54698
BH	801,95368	1.091,32611	1.053,86541
SAC	802,32702	1.089,44615	1.053,66987
VSA	807,59058	1.081,81856	1.067,89946
SOCP	801,85244	1.091,42711	1.053,79832

Source: Authors

**Table 5.** Maximum result for the objective function and the standard deviation in the 33-node test feeder

Method	Highest value Ploss (kW)	Standard deviation
PSO	72,790363	0,0005063
CSA	73,997282	0,2162069
AG	72,707032	0,0003653
BH	72,787123	0,0028179
SAC	72,815086	0,0042461
VSA	73,522477	0,1501963

Source: Authors

- The implementation of the CSA shows the worst results in the validation, with 72,787761 kW. However, the range of deviation with the six remaining algorithms is very low (around 3 W). Moreover, the VSA and SCA are very close to the optimum values obtained with the SOCP reference, even though they do not yield the best results.
- The processing times obtained show a trend in the results for the six metaheuristic techniques, as these values oscillate between 1,114 and 1,344 s. On the other hand, the SOCP shows better results, which is clearly due to its convexity. In general, good results are observed for this variable, which, although it is not decisive in the problem, could be considered to be a good criterion of choice for ease of processing.



**Table 6.** Average of the problem's interest variables in the 33-node test feeder

Method	Node 13 (kW)	Node 24 (kW)	Node 30 (kW)	Ploss (kW)	Processing time (s)
PSO	801,76408	1.090,97745	1.053,70433	72,785373	1,272468
CSA	805,91759	1.087,11468	1.028,35653	73,045624	1,348536
AG	802,33621	1.090,98354	1.053,15222	72,785715	1,274994
BH	802,02359	1.090,96947	1.053,85721	72,785541	1,156852
SCA	802,29906	1.088,34297	1.054,49701	72,786205	1,208374
VSA	800,01247	1.105,81499	1.055,56561	72,984163	1,340017

Source: Authors

- A uniform sizing of DG can be observed among the various methodologies, with the first DG being of about 800 kW, the second one of 1.090 kW, and the third one of 1.053 kW. These results coincide with those reported in the analyzed literature, given that the same sizing values were achieved.
- The standard deviation reported in Table 5 shows satisfactory results. The values are low, which guarantees that, after successive runs, the dispersion of the data is in a minimum range, which alludes directly to the accuracy of the methods.
- The averages of the DGs sizing, objective function, and processing times are shown in Table 6. The values are in low ranges and with direct similarity to the optimum values for each method.
- In general, good results can be observed regarding the penetration of DGs in the network and their implementation via metaheuristic and exact methodologies. There are reductions close to 66 % in total system losses, going from 210,99 kW to about 72,7850 kW.

### 69-node test feeder results found in the literature

Table 7 presents the numerical comparison between some metaheuristics reported in the literature and the SCOP model.

The numerical results reported in Table 7 allow concluding that:

- Only two out of the thirteen methods find the global optimal solution of the OPF problem in the 69-node test feeder, *i.e.*, 69,4077 kW. These methods are the MSSA and the CBGA-VSA, and their DGs are located at nodes 11, 18, and 61. The SOCP approach finds the same solution as

**Table 7.** Optimal location and sizing of DGs in the 69-node test feeder for the proposed and comparative approaches

Literature information		Metaheuristics		SOCP	
(No) Method	Node	Size (MW)	$P_{loss}$ (kW)	Size (MW)	$p_{loss}$ (kW)
(1) GA-PSO	{21,61,63}	{0,9105,1,1926,0,8849}	84,5909	{0,4866,0,4883,0,3003}	71,9595
(2) LSFSA	{18,60,65}	{0,4204,1,3311,0,4298}	72,1120	{0,5276,1,3609,0,4540}	76,4762
(3) MINLP	{11,17,61}	{0,5300,0,3800,1,7200}	69,4090	{0,5267,0,3802,1,7189}	69,4088
(4) TLBO	{15,61,63}	{0,5919,0,8188,0,9003}	72,4157	{0,5542,1,4772,0,3002}	71,6738
(5) QOTLBO	{18,61,63}	{0,5334,1,1986,0,5672}	71,6345	{0,5310,1,4808,0,3004}	71,5090
(6) HTLBOGWO	{18,61,62}	{0,5330,1,0000,0,7730}	71,7281	{0,5310,1,4617,0,3196}	71,5898
(7) GA-IWD	{20,61,64}	{0,9115,1,3926,0,8059}	80,9100	{0,5027,1,4953,0,2898}	71,4060
(8) AHA	{12,21,61}	{0,4710,0,3120,1,6890}	69,6669	{0,4953,0,3125,1,7353}	69,5677
(9) KHA	{12,22,61}	{0,4962,0,3113,1,7354}	69,5730	{0,4960,0,3118,1,7353}	69,5730
(10) MSSA	{11,18,61}	{0,5260,0,3800,1,7180}	69,4077	{0,5269,0,3801,1,7189}	69,4077
(11) CHVSA	{11,17,61}	{0,5284,0,3794,1,7186}	69,4088	{0,5267,0,3802,1,7189}	69,4088
(12) GAMS	{12,61,64}	{0,8131,1,4447,0,2896}	72,7900	{0,8137,1,4446,0,2897}	71,9504
(13) CBGA-VSA	{11,18,61}	{0,5268,0,3801,1,7190}	69,4077	{0,5269,0,3801,1,7189}	69,4077

Source: Authors

these methods, albeit with small variations in the power injected. This behavior is attributable to the multimodal behavior of the OPF problem in distribution networks.

- For the remaining 11 methods, when the power losses are compared, it is possible to observe that the SOCP has the best numerical performance in all the cases. The highest difference occurs in the case of the GA-PSO with 15,1832 kW, followed by the GA-IWD with 9,5040 kW. These results confirm that some combinatorial methods are stuck in locally optimal solutions, which can be attributable to the parametrization of these algorithms, as they can be sensitive to the number of iterations, population size, or evolution criteria.

In general, the results in Table 7 confirm that the SOCP approach is more reliable for solving the OPF problem in distribution networks since, mathematically speaking, the global optimal solution is ensured, which is not possible for metaheuristic optimization methods. To demonstrate this, in the following section, simulations with the VSA are performed with a statistical focus, and the results are compared to those of the SOCP approach. This method was selected because it is the most efficient

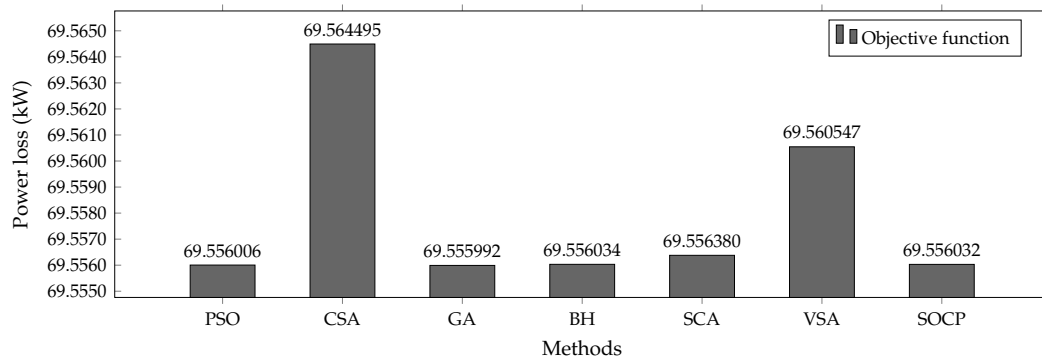
technique that has recently been reported in the literature on OPF analysis, which is due to its use of Gaussian distributions to explore and exploit the solution space (Montoya *et al.*, 2019).

### Results obtained by the 69-node test feeder

For the 69-node network, the same considerations were taken into account, namely the number of individuals, the number of iterations, and the number of algorithm executions.

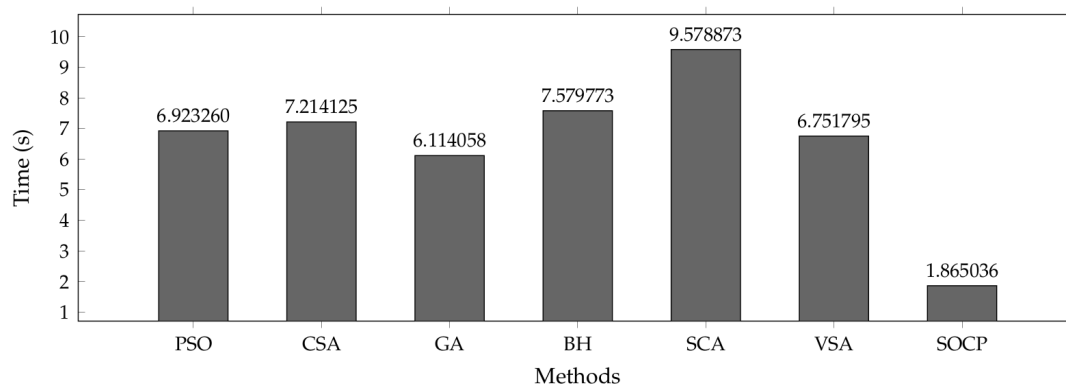
Figures 6 and 7 present the results obtained for the global optimum or objective function, as well as the processing times for each of the methods implemented in the 69-node network.

The optimal DG sizes obtained, along with the best solution for each method, are presented in Table 8.



**Figure 6.** Objective function (global optimum) in the 69-node system

**Source:** Authors.



**Figure 7.** Processing times in the 69-node system

**Source:** Authors.

**Table 8.** DG optimal size for each node in the 69-node test feeder

Method	Node 11 (kW)	Node 18 (kW)	Node 61 (kW)
PSO	528,08899	379,29616	1.718,89968
CSA	523,71161	393,93201	1.710,80861
AG	526,89844	379,90107	1.718,74978
BH	526,85060	380,69604	1.719,15175
SCA	521,04921	383,20855	1.719,49453
VSA	526,32031	371,46626	1.713,36345
SOCP	522,35421	374,53354	1.714,23456

Source: Authors

The statistical values obtained for the maximum value and the standard deviation are presented in Table 9, and the averages of the problem's relevant variables for the 69-node system are presented in Table 10.

**Table 9.** Maximum and standard deviation in the 69-node test feeder regarding the objective function value

Method	Higher value Ploss (kW)	Standard deviation (kW)
PSO	74,47234549	0,89754997
CSA	72,69016241	0,685864371
AG	69,56054542	0,000523881
BH	69,56852805	0,002519536
SCA	69,69261281	0,021846751
VSA	70,13257921	0,111839301

Source: Authors

The results obtained in the validation show that:

- As in the 33-node system, the SOCP obtained the best results regarding the objective function. A much lower processing time was observed in comparison with the other metaheuristic methods, which is due to the linear or exact nature of SOCP, as it does not require iteration to find the best solution.
- With the metaheuristic methods, the GA algorithm, with 69,555992 kW, was the one with the

**Table 10.** Average of the problem's interest variables in the 69-node test feeder

Method	Node 11 (kW)	Node 18 (kW)	Node 61 (kW)	Ploss (kW)	Proc. time (s)
PSO	550,8664245	410,6438291	1.640,970481	70,17983654	7,126776063
CSA	459,3787818	369,3868411	1.748,294781	70,61552772	6,727355188
AG	526,6663213	379,6927151	1.719,216721	69,55627009	6,742606877
BH	532,2441399	380,8071298	1.715,379311	69,55852607	6,800026994
SCA	520,1028272	380,6536084	1.719,012024	69,56088641	8,122573602
VSA	512,8563583	385,5910131	1.723,311221	69,72104881	7,431164393

**Source:** Authors

least losses –less than the exact SOCP method. This shows that metaheuristic methods are very efficient and can reach better answers than exact techniques.

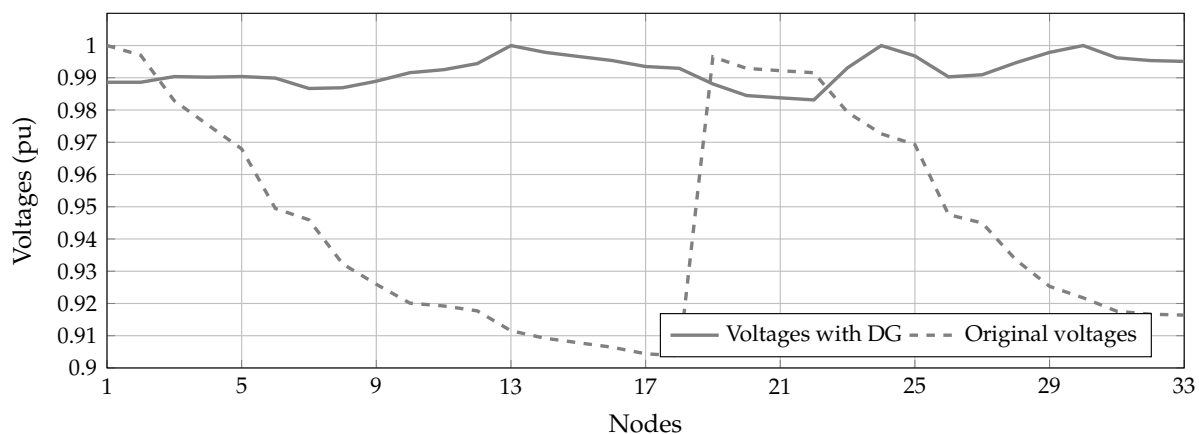
- The GA yields better results regarding loss reduction when compared to the SOCP method. It also has a longer processing time –almost four times longer than the SOCP. This allows the user to choose which one would be better when dealing with an optimization problem.
- The CSA method is the one with the greatest deficiency in the reduction of power losses, with results of 69,564495 kW, and its standard deviation is one of the highest. However, its results are in a range close to the general results obtained with the different methodologies.
- The GA algorithm has the lowest standard deviation, which makes it the most accurate metaheuristic algorithm, unlike the PSO, which is the algorithm with the highest standard deviation –and therefore the most inaccurate– within the evaluation environment defined in this work.
- It should be noted that the GA is the algorithm that requires the highest number of iterations (1.000) in order to obtain an optimal result. Nevertheless, its processing times are low due to its nature, which only requires simple operations, comparisons, and replacements.
- For the 69-node system, the node that requires the most power regarding DG is node 30, with a power of approximately 1.719 kW, followed by node 13, with about 527 kW, and node 24, with approximately 385 kW. These results were compared to those reported in the specialized literature, with the same sizing values for the selected DG locations.
- The standard deviation values presented in Table 9 show that the results were as expected: in both 33- and 69-node systems, it was demonstrated that the methods are highly accurate, which is due to their low standard deviation.

- The averages of the DG sizing value, objective function, and processing time shown in Table 10 are low, with a high similarity to the optimum of each method.
- It can be concluded that the results are good with regard to the penetration of DGs in electrical networks and their implementation with metaheuristic and exact methodologies. There is a 69 % reduction in the total system losses, going from 225,0718 to about 69,556 kW.

### Additional results

In order to observe the direct impact of DG in each of the implemented grids, an additional analysis is presented, which is a verification of the nodal voltage profiles, as this is an indicator of the efficiency and operation of the grid, and it evidences the regulatory compliance of electrical systems. To demonstrate the improvement of this parameter in the networks, the profiles of the original system were obtained, as well as the profiles of the network subjected to the penetration of DG.

The results obtained for the 33-node network are shown in Figure 8.

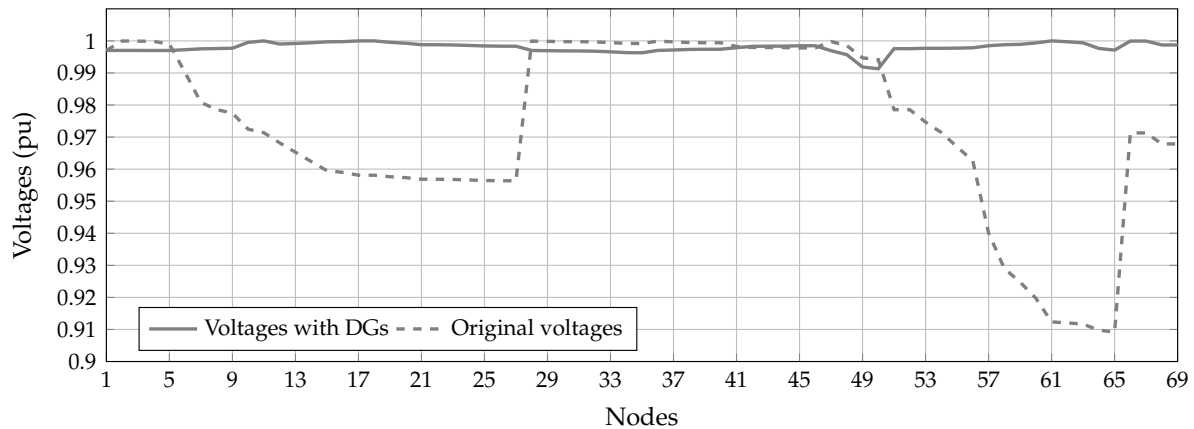


**Figure 8.** Voltage profiles for the IEEE 33-node test feeder

**Source:** Authors.

The results obtained for the 69-node network are shown in Figure 9.

The results reported in Figures 8 and 9 confirm that DG improves the voltage profiles in the two networks, achieving more uniform results in each of the system nodes, which ensures greater efficiency for the network. Before the penetration of DG in the 33-node network, values oscillated between 0,91 and 1,00 p.u., and most of the nodes had values equal to or lower than 0,95 p.u. The integration of DG yielded a homogeneous behavior, with oscillations between 0,983 and 1 p.u. Furthermore, in the 69-node network, the voltage profile values at the different nodes initially oscillated between 0,91 and 1,00 p.u. With the integration of DG, the oscillation range improved, *i.e.*, between 0,992 and 1,00 p.u.



**Figure 9.** Voltage profiles for the IEEE 69-node test feeder

**Source:** Authors.

## CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

This paper presented a complete comparison between metaheuristic optimization methods and the SOCP approach for solving the OPF problem in AC distribution networks. The exact nonlinear model of the OPF problem and its conic relaxation were presented in order to show the main complications of its solution. Computational validations showed that the metaheuristic approaches manage to obtain very good results that are directly comparable to those of the SOCP. Actually, the reported validations show a great performance of the GA for the two test systems, which makes it the best methodology used in this study. In general, the range of oscillation of the results obtained with the studied methodologies shows that the difference between the best and the worst global optimum is about 10 W. Based on this value, a satisfactory comparison between metaheuristic and convex optimization is clearly achieved, despite the problems with the iterative processes and the definition of the corresponding parameters for the metaheuristic techniques. This study shows how these techniques adequately fit the OPF problem, showing even better solutions than traditional convex optimization.

The daily problems faced by engineers and other professionals are usually of a high complexity, given the amount of data and possible solutions that a problem may have. With this in mind, combinatorial solutions (metaheuristic methods) allow finding acceptable solutions with reasonable computation times by applying the knowledge obtained while observing nature. Metaheuristic techniques bring innovative ideas because they are not rigid algorithms, which makes them very versatile methods that can be adapted to any combinatorial optimization problem software. The task of determining the initial variables of the algorithms is part of the programmer's criterion, leading to an infinite number of possible programs that address the same problem, all focused on finding the best solution to the objective problem in the shortest possible time. As seen in this paper, DG depends on

many variables such as its topology, the number of generators, and their position, size, and cost. A programmer's task is to carefully establish the criteria for the selection of the generators, as the quality of the solutions to be found depends on it. Metaheuristic methods can be implemented in various computational tools and adapted to them, thus demonstrating that large programs or licenses are not required to find an acceptable solution to combinatorial optimization problems.

As future work, the following research could be conducted: i) comparing metaheuristics against SOCP programming in optimization problems that include binary variables, such as the optimal location of capacitor banks or the optimal location of DGs in electrical distribution networks, and ii) comparing both approaches in economic-environmental applications in transmission power systems with a high penetration of renewable energy and battery energy storage systems.

## REFERENCES

- [Abido, 2020] Abido, M. A. (2002). Optimal power flow using particle swarm optimization. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 24(7), 563-571. [https://doi.org/10.1016/S0142-0615\(01\)00067-9](https://doi.org/10.1016/S0142-0615(01)00067-9) ↑Ver página 91
- [Abou El Ela *et al.*, 2010] Abou El Ela, A. A., Abido, M. A., & Spea, S. R. (2010). Optimal power flow using differential evolution algorithm. *Electric Power Systems Research*, 80(7), 878-885. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2009.12.018> ↑Ver página 91
- [Abo-Elnaga & El-Shorbagy, 2020] Abo-Elnaga, Y., & El-Shorbagy, M. A. (2020). Multi-sine cosine algorithm for solving nonlinear bilevel programming problems. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 13(1), 421-432. <https://doi.org/10.2991/ijcis.d.200411.001> ↑Ver página 102
- [Akbar & Nadeem, 2014] Akbar, N. S., & Nadeem, S. (2014). Carreau fluid model for blood flow through a tapered artery with a stenosis. *Ain Shams Engineering Journal*, 5(4), 1307-1316. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2014.05.010> ↑Ver página
- [Andersen *et al.*, 2013] Andersen, M. S., Hansson, A., & Vandenberghe, L. (2013). Reduced-complexity semidefinite relaxations of optimal power flow problems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 29(4), 1855-1863. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2013.2294479> ↑Ver página 104
- [Askarzadeh, 2016] Askarzadeh, A. (2016). A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: crow search algorithm. *Computers & structures*, 169, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2016.03.001> ↑Ver página 99
- [Attia *et al.*, 2018] Attia, A. F., El Sehiemy, R. A., & Hasanien, H. M. (2018). Optimal power flow solution in power systems using a novel Sine-Cosine algorithm. *International Journal of Electrical*



- Power & Energy Systems*, 99, 331-343. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.01.024>  
↑Ver página 91, 94
- [Bai *et al.*, 2008] Bai, X., Wei, H., Fujisawa, K., & Wang, Y. (2008). Semidefinite programming for optimal power flow problems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 30(6-7), 383-392. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2007.12.003> ↑Ver página 90, 104
- [Baradar *et al.*, 2013] Baradar, M., Hesamzadeh, M. R., & Ghandhari, M. (2013). Second-order cone programming for optimal power flow in VSC-type AC-DC grids. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(4), 4282-4291. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2013.2271871> ↑Ver página 104
- [Bayat, & Bagheri, 2019] Bayat, A., & Bagheri, A. (2019). Optimal active and reactive power allocation in distribution networks using a novel heuristic approach. *Applied Energy*, 233, 71-85. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.030> ↑Ver página 107
- [Ben Oualid Medani *et al.*, 2018] Ben Oualid Medani, K., Sayah, S., & Bekrar, A. (2018). Whale optimization algorithm based optimal reactive power 620 dispatch: A case study of the Algerian power system. *Electrical Power Systems Research*, 163, 696-705. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.09.001> ↑Ver página 91
- [Benson & Sağlam, 2013] Benson, H. Y., & Sağlam, Ü. (2013). Mixed-integer second-order cone programming: A survey. *Theory Driven by Influential Applications*, 2013, 13-36. <https://doi.org/10.1287/educ.2013.0115> ↑Ver página 90
- [Bocanegra & Montoya, 2019] Bocanegra, S. Y., & Montoya, O. D. (2019). *Heuristic approach for optimal location and sizing of distributed generators in AC distribution networks*. <https://hdl.handle.net/20.500.12585/9176> ↑Ver página 107
- [Boyd & Vandenberghe, 2004] Boyd, S. P., & Vandenberghe, L. (2004). *Convex optimization*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511804441> ↑Ver página 90, 104
- [Boucekara, 2013] Boucekara, H. R. E. H. (2013). Optimal design of electromagnetic devices using a black-hole-based optimization technique. *IEEE Transactions on Magnetics*, 49(12), 5709-5714. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2013.2277694> ↑Ver página 103
- [Boucekara *et al.*, 2014] Boucekara, H. R. E. H., Abido, M. A., & Boucherma, M. (2014). Optimal power flow using teaching-learning-based optimization technique. *Electric Power Systems Research*, 114, 49-59. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2014.03.032> ↑Ver página 91, 94, 103
- [Cawley & Ruhm, 2011] Cawley, J., & Ruhm, C. J. (2011). The economics of risky health behaviors. In M. V. Pauly, T. G. McGuire, & P. P. Barros (Eds.), *Handbook of Health Economics* (vol. 2, pp. 95-199). Elsevier. <https://doi.org/10.3386/w17081> ↑Ver página

- [Chen *et al.*, 2018] Chen, G., Yi, X., Zhang, Z., & Lei, H. (2018). Solving the multi-objective optimal power flow problem using the multi-objective firefly algorithm with a constraints-prior Pareto-domination approach. *Energies*, 11(12), 3438. <https://doi.org/10.3390/en11123438> ↑Ver página 91
- [Davoodi *et al.*, 2020] Davoodi, E., Babaei, E., Mohammadi-Ivatloo, B., Shafie-Khah, M., & Catalão, J. P. (2020). Multiobjective optimal power flow using a semidefinite programming-based model. *IEEE Systems Journal*, 15(1), 158-169. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.2971838> ↑Ver página
- [Deshmukh & Kalage, 2018] Deshmukh, R., & Kalage, A. (2018, November 23-24). *Optimal placement and sizing of distributed generator in distribution system using artificial bee colony algorithm* [Conference presentation]. 2018 IEEE Global Conference on Wireless Computing and Networking, Lonavala, India. <https://doi.org/10.1109/GCWCN.2018.8668633> ↑Ver página 94, 107
- [Devabalaji *et al.*, 2015] Devabalaji, K. R., Imran, A. M., Yuvaraj, T., & Ravi, K. J. E. P. (2015). Power loss minimization in radial distribution system. *Energy Procedia*, 79, 917-923. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.587> ↑Ver página 89
- [Doğan & Ölmez, 2015] Doğan, B., & Ölmez, T. (2015). A new metaheuristic for numerical function optimization: Vortex Search algorithm. *Information Sciences*, 293, 125-145. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.08.053> ↑Ver página 96, 100, 101
- [El-Fergany & Hasanien, 2015] El-Fergany, A. A., & Hasanien, H. M. (2015). Single and multi-objective optimal power flow using grey wolf optimizer and differential evolution algorithms. *Electric Power Components and Systems*, 43(13), 1548-1559. <https://doi.org/10.1080/15325008.2015.1041625> ↑Ver página 91
- [Ebeed *et al.*, 2018] Ebeed, M., Kamel, S., & Jurado, F. (2018). Optimal power flow using recent optimization techniques. In *Classical and recent aspects of power system optimization* (pp. 157-183). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812441-3.00007-0> ↑Ver página 90
- [El-Khattam & Salama, 2004] El-Khattam, W., & Salama, M. M. (2004). Distributed generation technologies, definitions, and benefits. *Electric Power Systems Research*, 71(2), 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2004.01.006> ↑Ver página
- [Farivar & Low, 2013] Farivar, M., & Low, S. H. (2013). Branch flow model: Relaxations and convexification – Part I. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(3), 2554-2564. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2013.2255317> ↑Ver página 91, 92, 94, 104, 105

- [Garcés, 2016] Garcés, A. (2016). A quadratic approximation for the optimal power flow in power distribution systems. *Electric Power Systems Research*, 130, 222-229. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.09.006> ↑Ver página 104
- [Gharehchopogh *et al.*, 2021] Gharehchopogh, F. S., Maleki, I., & Dizaji, Z. A. (2021). Chaotic vortex search algorithm: Metaheuristic algorithm for feature selection. *Evolutionary Intelligence*, 15, 1777-1808. <https://doi.org/10.1007/s12065-021-00590-1> ↑Ver página 101
- [Gholami & Parvaneh, 2019] Gholami, K., & Parvaneh, M. H. (2019). A mutated salp swarm algorithm for optimum allocation of active and reactive power sources in radial distribution systems. *Applied Soft Computing*, 85, 105833. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105833> ↑Ver página 107
- [Gil-González *et al.*, 2020] Gil-González, W., Montoya, O. D., Rajagopalan, A., Grisales-Noreña, L. F., & Hernández, J. C. (2020). Optimal selection and location of fixed-step capacitor banks in distribution networks using a discrete version of the vortex search algorithm. *Energies*, 13(18), 4914. <https://doi.org/10.3390/en13184914> ↑Ver página 101
- [Grisales-Noreña *et al.*, 2018] Grisales-Noreña, L. F., González-Montoya, D., & Ramos-Paja, C. A. (2018). Optimal sizing and location of distributed generators based on PBIL and PSO techniques. *Energies*, 11(4), 1018. <https://doi.org/10.3390/en11041018> ↑Ver página 90, 91, 92, 94, 107
- [Grisales-Noreña *et al.*, 2020] Grisales-Noreña, L. F., Garzón-Rivera, O. D., Ocampo-Toro, J. A., Ramos-Paja, C. A., & Rodríguez-Cabal, M. A. (2020). Metaheuristic optimization methods for optimal power flow analysis in DC distribution networks. *Transactions on Energy Systems and Engineering Applications*, 1(1), 13-31. <https://doi.org/10.32397/tesea.vol1.n1.2> ↑Ver página 96, 103
- [Gupta *et al.*, 2015] Gupta, S., Saxena, A., & Soni, B. P. (2015). Optimal placement strategy of distributed generators based on radial basis function neural network in distribution networks. *Procedia Computer Science*, 57, 249-257. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.478> ↑Ver página 107
- [Hasan & El-Hawary, 2014] Hasan, Z., & El-Hawary, M. E. (2014, November 12-14). *Optimal power flow by black hole optimization algorithm* [Conference presentation]. 2014 IEEE Electrical Power and Energy Conference, Calgary, AB, Canada. <https://doi.org/10.1109/EPEC.2014.43> ↑Ver página 91, 94
- [Gutiérrez *et al.*, 2017] Gutiérrez, D., Villa, W. M., & López-Lezama, J. M. (2017). Flujo óptimo reactivo mediante optimización por enjambre de partículas. *Información Tecnológica*, 28(5), 215-224. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000500020> ↑Ver página 98

- [Hariharan & Sundaram, 2016] Hariharan, T., & Sundaram, K. M. (2016). Optimal power flow using firefly algorithm with unified power flow controller. *Circuits and Systems*, 7(08), 1934. <https://doi.org/10.4236/cs.2016.78168> ↑Ver página
- [Herbadji *et al.*, 2013] Herbadji, O., Nadhir, K., Slimani, L., & Bouktir, T. (2013, April 28-30). *Optimal power flow with emission controlled using firefly algorithm* [Conference presentation]. 2013 5th International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO), Hammamet, Tunisia. <https://doi.org/10.1109/ICMSAO.2013.6552559> ↑Ver página 91
- [Hernández *et al.*, 2021] Hernández, C., Sánchez-Huertas, W., & Gómez, V. (2021). Optimal power flow through artificial intelligence techniques. *Tecnura*, 25(69), 150-170. <https://doi.org/10.14483/22487638.18245> ↑Ver página 89
- [Home-Ortiz *et al.*, 2019] Home-Ortiz, J. M., Pourakbari-Kasmaei, M., Lehtonen, M., & Mantovani, J. R. S. (2019). Optimal location-allocation of storage devices and renewable-based DG in distribution systems. *Electric Power Systems Research*, 172, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.02.013> ↑Ver página 89
- [Hudaib & Fakhouri, 2018] Hudaib, A. A., & Fakhouri, H. N. (2018). Supernova optimizer: A novel natural inspired meta-heuristic. *Modern Applied Science*, 12(1), 32-50. <https://doi.org/10.5539/mas.v12n1p32> ↑Ver página 94
- [Injeti & Kumar, 2013] Injeti, S. K., & Kumar, N. P. (2013). A novel approach to identify optimal access point and capacity of multiple DGs in a small, medium and large scale radial distribution systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 45(1), 142-151. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.08.043> ↑Ver página 107
- [Kaur *et al.*, 2014] Kaur, S., Kumbhar, G., & Sharma, J. (2014). A MINLP technique for optimal placement of multiple DG units in distribution systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, 609-617. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.06.023> ↑Ver página 107
- [Khan & Singh, 2017] Khan, B., & Singh, P. (2017). Optimal power flow techniques under characterization of conventional and renewable energy sources: A comprehensive analysis. *Journal of Engineering*, 2017, 9539506. <https://doi.org/10.1155/2017/9539506> ↑Ver página 92
- [Khan *et al.*, 2020] Khan, A., Hizam, H., Abdul-Wahab, N. I., & Othman, M. L. (2020). Solution of optimal power flow using non-dominated sorting multi objective based hybrid firefly and particle swarm optimization algorithm. *Energies*, 13(16), 4265. <https://doi.org/10.3390/en13164265> ↑Ver página 91
- [Kronqvist *et al.*, 2019] Kronqvist, J., Bernal, D. E., Lundell, A., & Grossmann, I. E. (2019). A review and comparison of solvers for convex MINLP. *Optimization and Engineering*, 20(2), 397-455. <https://doi.org/10.1007/s11081-018-9411-8> ↑Ver página 104

- [Mitchell, 1998] Mitchell, M. (1998). *An introduction to genetic algorithms*. MIT press. <https://doi.org/9780262133166> ↑Ver página 100
- [Lakshmi et al., 2020] Lakshmi, P., Rao, B. V., Devarapalli, R., & Rai, P. (2020, July 10-11). *Optimal power flow with BAT algorithm for a power system to reduce transmission line losses using SVC* [Conference presentation]. 2020 International Conference on Emerging Frontiers in Electrical and Electronic Technologies, Patna, India. <https://doi.org/10.1109/ICEFEET49149.2020.9186964> ↑Ver página
- [Lavai & Low, 2011] Lavai, J., & Low, S. H. (2011). Zero duality gap in optimal power flow problem. *IEEE Transactions on Power Systems*, 27(1), 92-107. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2011.2160974> ↑Ver página 92, 104
- [Lavorato et al., 2011] Lavorato, M., Franco, J. F., Rider, M. J., & Romero, R. (2011). Imposing radiality constraints in distribution system optimization problems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 27(1), 172-180. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2011.2161349> ↑Ver página 89
- [Lima & Barán, 2006] Lima, J. Q., & Barán, B. (2006). Optimización de enjambre de partículas aplicada al problema del cajero viajante bi-objetivo. *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 10(32), 67-76. ↑Ver página 96, 98
- [Manrique et al., 2019] Manrique, M. L., Montoya, O. D., Garrido, V. M., Grisales-Noreña, L. F., & Gil-González, W. (2019). Sine-cosine algorithm for OPF analysis in distribution systems to size distributed generators. In J. C. Figueroa-García, M. Duarte-González, S. Jaramillo-Isaza, Á. D. Orjuela-Cañón, & Y. Díaz-Gutierrez (Eds.), *WEA 2019: Applied Computer Sciences in Engineering* (pp. 28-39). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-31019-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31019-6_3) ↑Ver página 91
- [Marini et al., 2019] Marini, A., Mortazavi, S. S., Piegari, L., & Ghazizadeh, M. S. (2019). An efficient graph-based power flow algorithm for electrical distribution systems with a comprehensive modeling of distributed generations. *Electric Power Systems Research*, 170, 229-243. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.12.026> ↑Ver página
- [Mirjalili et al., 2020] Mirjalili, S. M., Mirjalili, S. Z., Saremi, S., & Mirjalili, S. (2020). Sine cosine algorithm: theory, literature review, and application in designing bend photonic crystal waveguides. In S. Mirjalili, J. Song Dong, & A. Lewis (Eds.), *Nature-Inspired Optimizers. Studies in Computational Intelligence* (vol. 811, pp. 201-217). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-12127-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-12127-3_12) ↑Ver página 94
- [Mohagheghi et al., 2018] Mohagheghi, E., Alramlawi, M., Gabash, A., & Li, P. (2018). A survey of real-time optimal power flow. *Energies*, 11(11), 3142. <https://doi.org/10.3390/en11113142> ↑Ver página 89, 92

- [Molzahn & Hiskens, 2016] Molzahn, D. K., & Hiskens, I. A. (2016). Convex relaxations of optimal power flow problems: An illustrative example. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 63(5), 650-660. <https://doi.org/10.1109/TCSI.2016.2529281> ↑Ver página 90
- [Montoya-Giraldo et al., 2017] Montoya-Giraldo, O. D., Gil-González, W. J., & Garcés-Ruíz, A. (2017). Flujo de potencia óptimo para redes radiales y enmalladas empleando programación semidefinida. *Tecnológicas*, 20(40), 29-42. <https://doi.org/10.22430/22565337.703> ↑Ver página 104
- [Montoya et al., 2019] Montoya, O. D., Grisales-Noreña, L. F., Amin, W. T., Rojas, L. A., & Campillo, J. (2019). Vortex search algorithm for optimal sizing of distributed generators in AC distribution networks with radial topology. In J. C. Figueroa-García, M. Duarte-González, S. Jaramillo-Isaza, Á. D. Orjuela-Cañón, & Y. Díaz-Gutierrez (Eds.), *WEA 2019: Applied Computer Sciences in Engineering* (pp. 235-249). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-31019-6\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31019-6_21) ↑Ver página 91, 114
- [Montoya et al., 2020a] Montoya, O. D., Gil-González, W., & Giral, D. A. (2020a). On the matricial formulation of iterative sweep power flow for radial and meshed distribution networks with guarantee of convergence. *Applied Sciences*, 10(17), 5802. <https://doi.org/10.3390/app10175802> ↑Ver página
- [Montoya et al., 2020b] Montoya, O. D., Gil-González, W., & Orozco-Henao, C. (2020b). Vortex search and Chu-Beasley genetic algorithms for optimal location and sizing of distributed generators in distribution networks: A novel hybrid approach. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23(6), 1351-1363. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.08.002> ↑Ver página 90, 91, 101, 107
- [Montoya et al., 2020c] Montoya, O. D., Gil-González, W., Serra, F. M., Hernández, J. C., & Molina-Cabrera, A. (2020c). A second-order cone programming reformulation of the economic dispatch problem of BESS for apparent power compensation in ac distribution networks. *Electronics*, 9(10), 1677. <https://doi.org/10.3390/electronics9101677> ↑Ver página 90, 104
- [Montoya & Gil-González, 2020] Montoya, O. D., & Gil-González, W. (2020). On the numerical analysis based on successive approximations for power flow problems in AC distribution systems. *Electric Power Systems Research*, 187, 106454. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106454> ↑Ver página 95, 101, 105, 107
- [Montoya et al., 2022] Montoya, O. D., Arias-Londoño, A., & Molina-Cabrera, A. (2022). Branch optimal power flow model for DC networks with radial structure: A conic relaxation. *Tecnura*, 26(71), 30-42. <https://doi.org/10.14483/22487638.18635> ↑Ver página 90, 92, 93
- [Moradi & Abedini, 2012] Moradi, M. H., & Abedini, M. (2012). A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems. *Inter-*

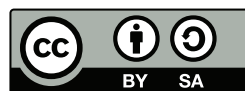
- national Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 34(1), 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.08.023> ↑Ver página 94, 107
- [Moradi & Abedini, 2016] Moradi, M. H., & Abedini, M. (2016). A novel method for optimal DG units' capacity and location in Microgrids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 75, 236-244. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.09.013> ↑Ver página 107
- [Mouassa *et al.*, 2017] Mouassa, S., Bouktir, T., & Salhi, A. (2017). Ant lion optimizer for solving optimal reactive power dispatch problem in power systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20(3), 885-895. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.03.006> ↑Ver página 91
- [Mukherjee & Mukherjee, 2015] Mukherjee, A., & Mukherjee, V. (2015). Solution of optimal power flow using chaotic krill herd algorithm. *Chaos, Solitons & Fractals*, 78, 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2015.06.020> ↑Ver página 91, 94
- [Muthukumar & Jayalalitha, 2016] Muthukumar, K., & Jayalalitha, S. (2016). Optimal placement and sizing of distributed generators and shunt capacitors for power loss minimization in radial distribution networks using hybrid heuristic search optimization technique. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 78, 299-319. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.11.019> ↑Ver página 107
- [Nowdeh *et al.*, 2019] Nowdeh, S. A., Davoudkhani, I. F., Moghaddam, M. H., Najmi, E. S., Abdelaiz, A. Y., Ahmadi, A., & Gandoman, F. H. (2019). Fuzzy multi-objective placement of renewable energy sources in distribution system with objective of loss reduction and reliabilityimprovement using a novel hybrid method. *Applied Soft Computing*, 77, 761-779. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.02.003> ↑Ver página 107
- [Ou, 2012] Ou, T. C. (2012). A novel unsymmetrical faults analysis for microgrid distribution systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 43(1), 1017-1024. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.05.012> ↑Ver página
- [Prior *et al.*, 2008] Prior, H., Schwarz, A., & Güntürkün, O. (2008). Mirror-induced behavior in the magpie (*Pica pica*): Evidence of self-recognition. *PLoS biology*, 6(8), e202. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0060202> ↑Ver página 96, 99
- [Radziukynas & Radziukyniene, 2009] Radziukynas, V., & Radziukyniene, I. (2009). Optimization methods application to optimal power flow in electric power systems. In J. Kallrath, P. M. Pardalos, S. Rebennack & M. Scheidt (Eds.) *Optimization in the Energy Industry. Energy Systems* (pp. 409-436). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-88965-6\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-540-88965-6_18) ↑Ver página 91

- [Raviprabakaran & Ravichandran, 2016] Raviprabakaran, V., & Ravichandran, C. S. (2016). Enriched biogeography-based optimization algorithm to solve economic power dispatch problem. In M. Pant, K. Deep, J. Bansal, A. Nagar & K. Das (Eds.), *Proceedings of Fifth International Conference on Soft Computing for Problem Solving. Advances in Intelligent Systems and Computing* (vol. 437, pp. 875-888). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-0451-3\\_78](https://doi.org/10.1007/978-981-10-0451-3_78) ↑Ver página 91
- [Raviprabakaran & Subramanian, 2018] Raviprabakaran, V., & Subramanian, R. C. (2018). Enhanced ant colony optimization to solve the optimal power flow with ecological emission. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 9(1), 58-65. <https://doi.org/10.1007/s13198-016-0471-x> ↑Ver página 94
- [Rbough & El Imrani, 2014] Rbough, I., & El Imrani, A. A. (2014). Hurricane-based optimization algorithm. *AASRI Procedia*, 6, 26-33. <https://doi.org/10.1016/j.aasri.2014.05.005> ↑Ver página
- [Rosli et al., 2020] Rosli, S. J., Rahim, H. A., Abdul Rani, K. N., Ngadiran, R., Ahmad, R. B., Yahaya, N. Z., & Andrew, A. M. (2020). A hybrid modified method of the sine cosine algorithm using latin hypercube sampling with the cuckoo search algorithm for optimization problems. *Electronics*, 9(11), 1786. <https://doi.org/10.3390/electronics9111786> ↑Ver página 96, 102
- [Rupolo et al., 2019] Rupolo, D., Mantovani, J. R. S., & Junior, B. R. P. (2019, June 23-27). *Medium- and low-voltage planning of electric power distribution systems with distributed generation, energy storage sources, and electric vehicles* [Conference presentation]. 2019 IEEE Milan PowerTech Milan, Italy. <https://doi.org/10.1109/PTC.2019.8810573> ↑Ver página 89
- [Rupolo et al., 2020] Rupolo, D., Pereira Junior, B. R., Contreras, J., & Mantovani, J. R. S. (2020). Multiobjective approach for medium- and low-voltage planning of power distributionsystems considering renewable energy and robustness. *Energies*, 13(10), 2517. <https://doi.org/10.1109/PTC.2019.8810573> ↑Ver página 89
- [Salkuti et al., 2019] Salkuti, S. R. (2019). Optimal power flow using multi-objective glowworm swarm optimization algorithm in a wind energy integrated power system. *International Journal of Green Energy*, 16(15), 1547-1561. <https://doi.org/10.1080/15435075.2019.1677234> ↑Ver página 91
- [Scoble, 2015] Scoble, M. J. (2005). Book review. *Systematic Entomology*, 30(3), 497-498. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2005.00311.x> ↑Ver página 101
- [Shen et al., 2018] Shen, T., Li, Y., & Xiang, J. (2018). A graph-based power flow method for balanced distribution systems. *Energies*, 11(3), 511. <https://doi.org/10.3390/en11030511> ↑Ver página 95



- [Siavash *et al.*, 2017] Siavash, M., Pfeifer, C., Rahiminejad, A., & Vahidi, B. (2017, May 17-19). *An application of grey wolf optimizer for optimal power flow of wind integrated power systems* [Conference presentation]. 2017 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, Kouty nad Desnou, Czech Republic. <https://doi.org/10.1109/EPE.2017.7967230> ↑Ver página 91
- [Simiyu *et al.*, 2020] Simiyu, P., Xin, A., Wang, K., Adwek, G., & Salman, S. (2020). Multiterminal medium voltage DC distribution network hierarchical control. *Electronics*, 9(3), 506. <https://doi.org/10.3390/electronics9030506> ↑Ver página 104
- [Sultana & Roy, 2014] Sultana, S., & Roy, P. K. (2014). Multi-objective quasi-oppositional teaching learning- based optimization for optimal location of distributed generator in radial distribution systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, 534-545. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.06.031> ↑Ver página 107
- [Sultana & Roy, 2016] Sultana, S., & Roy, P. K. (2016). Krill herd algorithm for optimal location of distributed generator in radial distribution system. *Applied Soft Computing*, 40, 391-404. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.11.036> ↑Ver página 107
- [Taher *et al.*, 2019] Taher, M. A., Kamel, S., Jurado, F., & Ebeed, M. (2019). Modified grasshopper optimization framework for optimal power flow solution. *Electrical Engineering*, 101(1), 121-148. <https://doi.org/10.1007/s00202-019-00762-4> ↑Ver página 91
- [Tamilselvan *et al.*, 2018] Tamilselvan, V., Jayabarathi, T., Raghunathan, T., & Yang, X. S. (2018). Optimal capacitor placement in radial distribution systems using flower pollination algorithm. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 2775-2786. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.01.004> ↑Ver página 90
- [Tang *et al.*, 2017] Tang, Y., Dvijotham, K., & Low, S. (2017). Real-time optimal power flow. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(6), 2963-2973. <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2704922> ↑Ver página 89
- [Topaloglu *et al.*, 2013] Topaloglu, H., Smith, J. C., & Greenberg, H. J. (Eds.) (2013). *Theory driven by influential applications*. Informs. <https://doi.org/10.1287/educ.2013> ↑Ver página
- [Trivedi *et al.*, 2016] Trivedi, I. N., Jangir, P., & Parmar, S. A. (2016). Optimal power flow with enhancement of voltage stability and reduction of power loss using ant-lion optimizer. *Cogent Engineering*, 3(1), 1208942. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1208942> ↑Ver página
- [Velasquez *et al.*, 2019] Velásquez, O. S., Montoya-Giraldo, O. D., Garrido-Arévalo, V. M., & Grisales-Noreña, L. F. (2019). Optimal power flow in direct-current power grids via black hole optimization. *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, 17(1), 24-32. <https://doi.org/10.15598/aeee.v17i1.3069> ↑Ver página 103

- [Vélez *et al.*, 2014] Vélez, V. M., Hincapié, R. A., & Gallego, R. A. (2014). Low voltage distribution system planning using diversified demand curves. *Electrical Power & Energy Systems*, 61, 691-700. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.04.019> ↑Ver página 89
- [Winter, 2005] Winter, G. (2005). Origin of the species. *Nursing Standard*, 19(34), 24-26. <https://doi.org/10.7748/ns.19.34.24.s28> ↑Ver página 96, 100
- [Yadav & Mahara, 2018] Yadav, R., & Mahara, T. (2018). An exploratory study to investigate value chain of Saharanpur wooden carving handicraft cluster. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 9(1), 147-154. <https://doi.org/10.1007/s13198-016-0492-5> ↑Ver página
- [Yuan *et al.*, 2018] Yuan, Y., Wu, X., Wang, P., & Yuan, X. (2018). Application of improved bat algorithm in optimal power flow problem. *Applied Intelligence*, 48(8), 2304-2314. <https://doi.org/10.1007/s10489-017-1081-2> ↑Ver página
- [Yuan & Hesamzadeh, 2019] Yuan, Z., & Hesamzadeh, M. R. (2019). Second-order cone AC optimal power flow: Convex relaxations and feasible solutions. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 7(2), 268-280. <https://doi.org/10.1007/s40565-018-0456-7> ↑Ver página 94, 104
- [Zohrizadeh *et al.*, 2020] Zohrizadeh, F., Josz, C., Jin, M., Madani, R., Lavaei, J., & Sojoudi, S. (2020). Conic relaxations of power system optimization: Theory and algorithms. *European Journal of Operational Research*, 287(2), 391-409. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.01.034> ↑Ver página
- [Zuluaga-Ríos *et al.*, 2021] Zuluaga-Ríos, C. D., Florián-Ceballos, D. F., Rojo-Yepes, M. Á., & Saldarriaga-Zuluaga, S. D. (2021). Review of charging load modeling strategies for electric vehicles: Acomparision of grid-to-vehicle probabilistic approaches. *Tecnura*, 25(70), 51-60. <https://doi.org/10.14483/22487638.18657> ↑Ver página 89



## Evaluación de dos tipos de adsorbentes para la recuperación de vapores de hidrocarburos generados en Plantel de Recope en Ochomogo

### Evaluation of two types of adsorbents for the recovery of hydrocarbon vapors generated at the Recope plant in Ochomogo

Laura Vanessa Quesada Carvajal <sup>1</sup>, Rafael Isaac Amón Pérez <sup>2</sup>

Fecha de Recepción: 24 de enero de 2022

Fecha de Aceptación: 04 de julio de 2022

**Cómo citar:** Quesada-Carvajal., L.V. y Amón-Pérez., R.I. (2022). Evaluación de dos tipos de adsorbentes para la recuperación de vapores de hidrocarburos generados en Plantel de Recope en Ochomogo. *Tecnura*, 26(74), 130-148. <https://doi.org/10.14483/22487638.18256>

## Resumen

**Contexto:** Al cargar el producto en los camiones cisterna, se generan vapores de hidrocarburos emitidos sin tratamiento al medio ambiente. Para evitar estas emisiones, se requiere un sistema que permita retener y recuperar estas sustancias, mediante el uso de un adsorbente capaz de retener los compuestos orgánicos volátiles generados en el patio de carga del plantel de distribución de combustibles en El Alto de Ochomogo, Cartago, Costa Rica.

**Método:** Se analizó la composición de los vapores desplazados durante la carga de producto limpio, y se comparó la efectividad de remoción y recuperación de dos matrices de adsorbentes: Tenax® TA y Carbotrap® 317, al modificar el método estándar TO 17 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

**Resultados:** Con Tenax® TA se consiguió un 93,8 % de remoción; sin embargo, la mayoría de los compuestos atrapados estaban constituidos por cadenas superiores o iguales a siete átomos de carbono. Los tubos empacados con Carbotrap® 317 removieron un 99,9 % de los compuestos de la muestra, reteniendo los compuestos con cadenas inferiores a los siete átomos de carbono de los vapores de gasolina. Las condiciones de acondicionamiento, atrapamiento y desorción del método modificado permitieron al Carbotrap® 317 retener y recuperar exitosamente compuestos similares a los que se están perdiendo durante la carga de los camiones cisterna.

**Conclusiones:** Las condiciones de acondicionamiento, muestreo y desorción del método modificado permitieron a la matriz Carbotrap® 317 retener y recuperar exitosamente compuestos similares a los que se están perdiendo durante el llenado de los camiones cisterna.

**Palabras clave:** adsorción, compuestos orgánicos volátiles (COV), Tenax TA, Carbotrap 317, método modificado, Recope.

<sup>1</sup>Ingeniera química, especialista en Emisiones Atmosféricas con énfasis en Tratamiento de Gases; máster en Dirección Medioambiental. Docente del Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

Email: [laura.quesada@itcr.ac.cr](mailto:laura.quesada@itcr.ac.cr)

<sup>2</sup>Químico, especialista en Espectrometría de Masas, gerente general Laboratorio Químico Lambda S.A. San José, Costa Rica.

Email: [rafaelamon56@gmail.com](mailto:rafaelamon56@gmail.com)

## Abstract

**Context:** When loading the product in the tanker trucks, hydrocarbon vapors are generated and released without treatment into the environment. To avoid these emissions, a system is required to retain and recover these substances through the use of an adsorbent capable of retaining the volatile organic compounds generated in the loading yard of the fuel distribution facility in Alto de Ochomogo, Cartago, Costa Rica

**Method:** The composition of the displaced vapors was analyzed during the loading of clean product, and the removal and recovery effectiveness of two adsorbent matrices: Tenax® TA and Carbotrap® 317 was compared by modifying the standard method TO 17 of the United States Environmental Protection Agency.

**Results:** With Tenax® TA, 93.8% removal was achieved; however, most of the trapped compounds consisted of chains greater than or equal to 7 carbon atoms. The tubes packed with Carbotrap® 317 removed 99.9% of the compounds in the sample, retaining compounds with chains less than 7 carbon atoms from gasoline vapors. The conditioning, entrapment and desorption conditions of the modified method allowed Carbotrap® 317 to successfully retain and recover compounds similar to those that are being lost during tank truck loading.

**Conclusions:** The conditioning, sampling and desorption conditions of the modified method allowed the Carbotrap® 317 matrix to successfully retain and recover compounds similar to those that are being lost during tank truck loading.

**Keywords:** Adsorption, Volatile Organic Compounds (VOC), Tenax TA, Carbotrap 317, Modified Method, Recope

---

## Tabla de Contenidos

	<b>Página</b>
<b>Introducción</b>	<b>132</b>
Hidrocarburos . . . . .	132
Métodos de determinación . . . . .	133
Matriz de adsorbente . . . . .	134
Técnicas de análisis . . . . .	135
<b>Metodología</b>	<b>136</b>
Compuestos químicos . . . . .	136
Adsorbentes seleccionados . . . . .	136
Tubos de adsorción . . . . .	136
Selección de la muestra . . . . .	138
Método modificado de adsorción . . . . .	138
Análisis de las muestras . . . . .	139
Parámetros de desempeño . . . . .	139
<b>Resultados</b>	<b>139</b>
Desempeño del Tenax TA . . . . .	139
Desempeño del Carbotrap® 317 . . . . .	142
<b>Conclusiones</b>	<b>144</b>

<b>Financiamiento</b>	<b>144</b>
<b>Referencias</b>	<b>144</b>

## INTRODUCCIÓN

La reducción de uso de combustibles fósiles es un compromiso que los países firmantes del Convenio de París han adoptado en su lucha contra el calentamiento global y el cambio climático. Sin embargo, es innegable que sigue siendo una fuente de energía importante en la economía mundial (Luque-Díaz *et al.*, 2020).

En los procesos de transformación y de control de materias primas y fuentes de energía es impostergable implementar mejoras tecnológicas (Arango *et al.*, 2014). La Refinadora Costarricense de Petróleo (Recope) no escapa de esta necesidad, como es la instalación de sistemas de recuperación de vapores de combustibles, en cada uno de los eslabones de la cadena de distribución, desde los planteles de distribución, en las cisternas utilizados, y finalmente en las estaciones de servicio, con el fin de disminuir la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) a la atmósfera y aumentar la seguridad durante estas operaciones (Quesada *et al.*, 2018).

Las actividades antropogénicas generan entre una séptima a una décima parte de los hidrocarburos totales emitidos a la atmósfera. Cuando se estudia una zona de interés puede estar constituida de una sección urbana, una sección industrial y zona rural con diversas fuentes de emisión naturales y antropogénicas por lo que se pueden encontrar diversos COV (Knobloch *et al.*, 1997, Murphy y Allen, 2005).

La Red de Calidad de aire de la Comunidad de Madrid establece que el ozono troposférico se forma por la reacción entre los COV con la mezcla de óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>) en presencia de la luz solar. Estos contaminantes son emitidos por automóviles, centrales térmicas, refinerías, procesos industriales diversos, entre otros. Las mayores concentraciones de este compuesto dañino se dan en verano, pues hay mayor luz solar y temperatura (Comunidad de Madrid, 2021). A bajas concentraciones, el ozono puede llegar a generar irritación e inflamación de las vías respiratorias, agravando enfermedades crónicas como asma y bronquitis (WHO, 2006).

## Hidrocarburos

De acuerdo con Coava y Tovar, 2009, los COV se pueden clasificar en tres grandes grupos: oxigenados, hidrocarburos, halogenados. Según Flores, 2008 los hidrocarburos se subdividen en aromáticos y alifáticos. Están compuestos por átomos de carbono e hidrógeno y su principal fuente son el petróleo y los gases naturales, así como todos sus derivados. Los átomos de carbono permiten formar largas cadenas unidas por enlaces simples, dobles y triples sin perder la estabilidad, propiedad que ningún otro elemento posee.

En la gasolina se encuentran distintas especies pertenecientes a los tipos de hidrocarburos ya mencionados; algunos de ellos se pueden observar en la figura 1, donde se muestra una cromatografía real de gasolina regular usada en Costa Rica. Entre los compuestos que se detectan están: n-pentano, n-hexano, n-heptano, n-octano, n-nonano, n-decano, isobutilbenceno, xileno, n-tetradecano, n-pentadecano, benceno, tolueno, ciclohexano, etilbenceno.

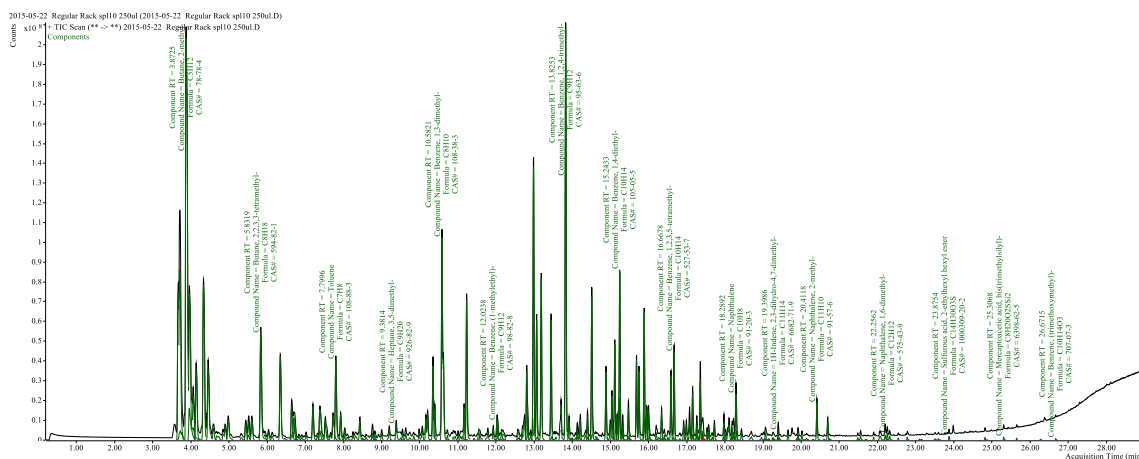


Figura 1. Compuestos orgánicos volátiles presentes en la gasolina sin plomo cromatografía real de gasolina regular usada en Costa Rica

Fuente: elaboración propia.

Los hidrocarburos que contienen entre seis y diez átomos de carbono son los componentes más comunes en combustibles fósiles, sin importar si sean compuestos saturados o no saturados.

Según Quesada *et al.*, 2018, las mayores emisiones de COV en el sitio de estudio se dan durante la carga de gasolina en los tanques cisternas. Los COV emitidos se deben mayoritariamente a la carga y almacenamiento de las gasolinas regular y súper. Las emisiones causadas por la manipulación de otros productos como el diésel y el keroseno se tomaron como despreciables, debido a su baja presión de vapor. Posteriormente durante la investigación realizada por Hernández Torres, 2016 se determinó que en dichas emisiones los compuestos presentes eran de cadenas de hasta once átomos de carbono.

## Métodos de determinación

Cooper y Alley, 2002 establecen que la adsorción es un método fisicoquímico donde las moléculas adsorbato son removidas de la corriente gaseosa al transferirse a la superficie sólida del adsorbente. Para el tratamiento de compuestos en fase gaseosa se utiliza adsorción física, donde la molécula del adsorbato es retenida en la superficie del adsorbente por fuerzas electrostáticas débiles, permitiendo que el material pueda ser fácilmente regenerado (Theodore, 2008). Estos sistemas pueden alcanzar

eficiencias de remoción entre un 95 % y un 98 %, dependiendo de la matriz usada y de las condiciones de trabajo.

Cuando la superficie de la matriz alcanza su capacidad de saturación, los compuestos orgánicos volátiles son desorbidos para liberar el adsorbente. La función del sistema de adsorción es la captura de COV a partir de una concentración diluida y su liberación a una concentración más alta utilizando un gas de inerte de arrastre (CICA, 1999).

Para el diseño de un sistema de recuperación de compuestos a escala industrial es necesario trabajar con un prototipo experimental que permita analizar las variables que afectan el proceso y así establecer las condiciones de operación adecuadas al proceso de estudio.

En la investigación de Núñez, 2008, se afirma que concentraciones de COV tan bajas como varias partes por billón por volumen (ppbv), o bien, tan altas como el 25 % del límite inferior de explosividad (LIE) de la mezcla de compuestos en el flujo de la corriente, pueden ser separadas usando sistemas de adsorción. El LIE es la concentración mínima de gases inflamables en aire, por debajo de la cual la mezcla no es explosiva; para la mayoría de los compuestos orgánicos volátiles el límite inferior de explosividad varía desde 2500 hasta 10 000 ppmv.

Los sistemas de adsorción al aumentar la concentración de estos contaminantes permiten que la recuperación de un COV que puede ser reutilizado en diversas aplicaciones y puede justificar significativamente el costo de controlar la emisión (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2007).

El método TO-17 de la USEPA se basa en la adsorción de un volumen determinado de COV a través de una matriz compactada en un tubo, que luego es desorbido térmicamente y analizado mediante espectrometría de masas. Dicho método está enfocado en el monitoreo de contaminantes presentes en el aire ambiente a una concentración de 0,5 ppbv a 25 ppbv y no es específico para algún grupo de COV (USEPA, 1999).

El muestreo mediante tubos rellenos de adsorbente es de bajo costo, fácil manejo y también permite muestrear un volumen grande. Gracias a la amplia gama de adsorbentes disponibles en el mercado con este método es posible muestrear un gran ámbito de compuestos a temperatura ambiente, tanto polares como no polares. Una de las desventajas de esta técnica es su dificultad para capturar compuestos muy volátiles de dos o menos átomos de carbono. Para capturar estos es necesario algún adsorbente específico o bien una mayor concentración de la matriz dentro del tubo. Además, es necesario precondicionar la matriz antes de su uso (Dettmer y Engewald, 2002).

## Matriz de adsorbente

Debido a la versatilidad que presentan a la hora de muestrear COV en aire ambiente los adsorbentes de carbono más utilizados son Tenax®, los tamices moleculares y el carbón grafitizado. Tanto el Tenax® como el Carbotrap® (tamiz molecular comercial) son convenientes para muestrear compuestos orgánicos no polares debido a la facilidad que presentan para recuperar los compues-

tos adsorbidos; sin embargo, el Carbotrap® sufre grandes pérdidas al usarse con compuestos más reactivos, como terpenos, aldehídos o acrilatos (De Bortoli *et al.*, 1992).

Los carbones grafitizados de alta pureza como el Carbotrap® tienen la capacidad de adsorber un amplio rango de contaminantes orgánicos presentes en el aire. Según Kiselev y Yashin, 1969, este tipo de matriz no posee iones en su superficie ni grupos funcionales activos. Toda la superficie está disponible para interacciones que dependen solamente de las fuerzas de dispersión; en contraste con otro tipo de resinas comerciales, como el Tenax GC y el Amberlite® XAD®, que poseen cargas superficiales para interacciones solamente entre tipos específicos de adsorbentes y adsorbatos (Atkins, 1982).

Las resinas de Carbotrap® son hidrofóbicas, por lo que su rendimiento no es afectado por la humedad presente, son libres de contaminantes y no son susceptibles a desorción mediante solvente. Sus máximas condiciones de desorción térmica son 350 °C y 2 minutos de tiempo de migración, determinadas por el fabricante (Supelco Analytical, 1986).

Los carbones grafitizados como el Carbotrap® presentan una gran capacidad adsorbente para moléculas lineares y cíclicas gracias a sus propiedades únicas de área superficial (100 m<sup>2</sup>/g) y carga superficial deslocalizada. La combinación de estos factores hace que se incremente la interacción entre los analitos y la resina adsorbente; además, aumenta el porcentaje de recuperación del adsorbato comparado con otras matrices de carbón activado (Supelco Analytical, 1986)

## Técnicas de análisis

Antes de poder analizar la muestra extraída se debe desorber el tubo o cartucho que contenga la matriz con los COV retenidos, por desorción térmica bajo flujo de un gas inerte. En este proceso se hace pasar un flujo de gas nitrógeno en sentido opuesto a la dirección del flujo de muestreo, a través del tubo relleno de adsorbente a una temperatura de trabajo que permita que se desorban los COV en una única desorción. La técnica presenta ventajas porque el tratamiento de muestra antes del análisis es mínima, y se aumenta la sensibilidad, debido a que no se requiere diluir la muestra (Demeestere *et al.*, 2008).

En el método de *headspace* se desorbe una fracción de la matriz con el fin de analizar solamente los compuestos de interés, generando un cromatograma de una manera más rápida, fácil y limpia. En este método la matriz es almacenada y calentada en un vial, la fracción más volátil de los compuestos atrapados son vaporizados y las moléculas más pesadas no son liberadas (Tipler, 2014).

La espectroscopia de masas y la cromatografía de gases (GC) combinada con diversos tipos de detectores son las técnicas de análisis más usadas para la determinación de COV (Badjagbo *et al.*, 2007).

En el presente trabajo se pretende desarrollar una metodología para determinar cuál adsorbente –Tenax® o Carbotrap®– funciona mejor en retener y recuperar exitosamente compuestos similares a los que se están perdiendo durante la carga de los camiones cisterna.



## METODOLOGÍA

### Compuestos químicos

Todos los reactivos que se usaron fueron de grado analítico. El gas inerte utilizado fue nitrógeno ultrapuro (99,9%) comprimido. Se utilizó gasolina comercial como estándar interno como para el análisis de los COV. Tubos de polietileno (11,5 cm × 0,4 cm DI), lana de fibra de vidrio silanizada (Supelco Analytical, 1986).

### Adsorbentes seleccionados

Los adsorbentes se eligieron siguiendo la guía para la selección de adsorbentes del método TO-17 (USEPA, 1999) y el análisis previo de la gasolina donde se determinó la composición de hidrocarburos presente. Carbotrap™ B, Carbotrap™ C y Carboxen™ 1000 (Carbotrap™ 317) junto al Tenax® TA son las matrices que, acorde a su baja susceptibilidad al agua, baja formación de interferencias, rango de analitos que pueden atrapar y tamaño de malla, son ideales para este método. La tabla 1 resume las características de las matrices seleccionadas.

**Tabla 1.** Características de las matrices escogidas según método TO-17 de la EPA

	Rango de analitos	Máxima Temperatura(°C)	Área específica superficial (m <sup>2</sup> /g)	Malla	Hidrofóbico
Tenax® TA	C <sub>7</sub> -C <sub>26</sub>	350	35	60/80	Sí
Carbotrap™ B	C <sub>5</sub> -C <sub>14</sub>	>400	100	20/40	Sí
Carbotrap™ C	C <sub>8</sub> -C <sub>20</sub>	>400	12	20/40	Sí
Carboxen 1000	C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub>	400	800	60/80	No

Fuente: adaptado de USEPA, 1999.

### Tubos de adsorción

Se utilizaron cinco tubos con adsorbente de cada matriz dos empacados comercialmente como blancos y tres fabricados, mediante los procedimientos descritos a continuación.

Los tubos de vidrio (11,5 cm × 0,4 cm DI) (Supelco Analytical, 1986) fueron preconditionados a 330 °C con un flujo de gas inerte de 100 ml/min por 4 horas. Los tubos con Tenax® TA contenían 62 mm de adsorbente, para que tuvieran la misma cantidad que aquella en los tubos de Tenax® TA comerciales (Molina, 2017). Un diagrama un tubo comercial se muestra en la figura 2.

**Tubo de vidrio**

Volumen Total ≈ 3,6 mL (0,221 pulg<sup>3</sup>)  
 Capacidad del Absorbente ≈ 167-835 mg



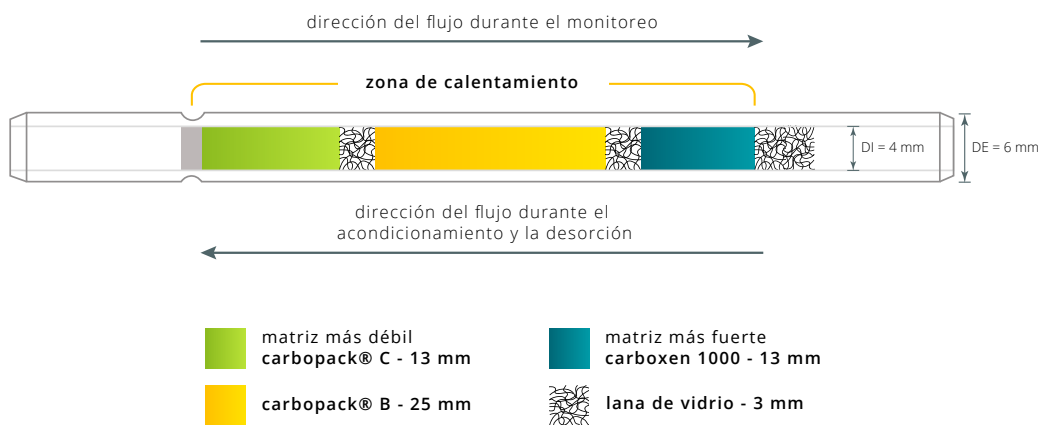
**Figura 2.** Dimensiones estándar del tubo de vidrio con la matriz de Tenax® TA

**Fuente:** adaptado de USEPA, 1999.

Los tubos de Carbotrap® 317 se rellenaron con 13 mm de Carboxen™ C, 25 mm de Carboxen™ B y 13 mm de Carboxen™ 1000; cada adsorbente se separó con 3 mm de lana de fibra vidrio silanizada. Un diagrama de un tubo multiadsorbente se muestra en la figura 3.

**Tubo de vidrio**

Volumen Total ≈ 3,6 mL (0,221 pulg<sup>3</sup>)  
 Capacidad del Absorbente ≈ 167-835 mg



**Figura 3.** Dimensiones del tubo de vidrio con matrices múltiples

**Fuente:** adaptado de Brown (2013).

El proceso de acondicionamiento de los tubos con adsorbentes nuevos se realizó a 185 °C y un flujo de gas inerte de 100 ml/min por 2 horas (Supelco Analytical, 1997). Seguidamente, los tubos se colocaron dentro de la estufa por 2 horas y posteriormente, a cada tubo por separado, se expuso a nitrógeno ultrapuro por un periodo de 2 a 3 minutos a flujo constante. Los tubos fueron sellados y guardados en un recipiente opaco para evitar su contaminación.

### Selección de la muestra

El análisis y la comparación de los cromatogramas obtenidos usando muestras líquidas y gaseosas de las gasolinas expendidas por Recope en el Plantel del Alto, permitió determinar que los compuestos esperados en las muestras poseen un rango de entre 4 y 11 carbonos.

### Método modificado de adsorción

El muestreo se realizó en un sistema cerrado, a temperatura y presión ambiental. En la figura 4, se observa el esquema del tren de muestreo.



**Figura 4.** Esquema del tren de muestreo

**Fuente:** tomado de Molina, 2017.

Las bolsas Tedlar se acondicionaron con el gas portador, para evitar interferencias. Posteriormente se rellenaron con 960 ml de N<sub>2</sub> y 16 µl de cada tipo de gasolina (súper y regular). De acuerdo con Harper, 1993, el procedimiento NIOSH, 1977 y el procedimiento OSHA (1985) para determinar los volúmenes de ruptura en tubos de muestreo con adsorbentes a presión atmosférica, se debe utilizar el triple del límite de exposición permitido (PEL, por su sigla en inglés) de los analitos. En el caso de las gasolinas, su valor reportado es de 300 ppm (INSHT, 2016, PEMEX, 1998) por lo que utilizaron 900 ppm para calcular el volumen de gasolina reportado.

Las condiciones de muestreo para el sistema de adsorción con la matriz Tenax® TA fueron las siguientes; presión de 8,85 hPa, temperatura promedio de 26,2 °C, flujo promedio de 40 ml/min y un tiempo de muestreo promedio de 1337 s. El volumen de ruptura determinado matriz con Tenax® TA fue de 1,14 L de mezcla.

Las condiciones de muestreo para el sistema de adsorción con la matriz de Carbotrap® 317 fueron las siguientes: presión 8,85 hPa, temperatura promedio de 26,3 °C, flujo promedio de 40 ml/min y un tiempo de muestreo promedio de 1273 s. El volumen de ruptura en Carbotrap® 317 fue de 1,14

L de mezcla. En ambos casos no se superó el volumen de ruptura teórico, lo que asegura que no se alcance el punto de ruptura bajo las condiciones de muestreo utilizadas (Molina, 2017, Harper, 1993).

### *Análisis de las muestras*

El equipo utilizado para el análisis de las muestras fue un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas de triple cuadrupolo (Agilent Technologies 7000C GC/MS Triple Quad). Para el análisis se usó como estándar una muestra de 9 mg de gasolina, almacenada en una bolsa Tedlar, y los datos de área obtenidos de los compuestos diluidos en la bolsa fueron corregidos e interpolados a sus valores en matriz adsorbente sólida para obtener las masas absolutas de los compuestos presentes en la gasolina bajo estudio, correspondientes a las muestras trabajadas en este experimento.

Los datos se obtuvieron para 9 de los 10 tubos muestreados; ya que el tubo comercial n.º 1 de Tenax se contaminó y no pudo ser analizado. Las muestras se corrieron en serie para mejorar la reproducibilidad del análisis al mantener las condiciones ambientales similares.

La temperatura de desorción recomendada por el método TO 17 para el Tenax® TA es de 300 °C y 325 °C para los componentes del Carbotrap 317; sin embargo, en este trabajo, se buscó capturar y recuperar la fracción más volátil de los vapores de gasolina; por tanto, ambas matrices se desorben a 150 °C, suministrando la energía suficiente para lograr romper las fuerzas interparticulares formadas entre los compuestos con mayor volatilidad y el lecho adsorbente.

### *Parámetros de desempeño*

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados se compararon a partir de la capacidad de remoción y recuperación conseguidas. La capacidad de remoción es el porcentaje que se logró retener con cada matriz de adsorción, y se determinó comparando la concentración absoluta de muestra que se encontrara en el efluente (bolsa Tedlar al final del tren de muestreo), con la concentración inicial inyectada. La capacidad de recuperación se calculó al comparar la concentración absoluta que se logró desorber de cada tubo con la concentración inicial total inyectada en cada ensayo.

## **RESULTADOS**

### **Desempeño del Tenax TA**

En la tabla 2 se recopilan los datos obtenidos para cada tubo de Tenax® TA y su respectiva bolsa de control colocada al final del tren de muestreo.

Los datos recuperados de los 4 tubos analizados muestran que se logró recuperar un promedio de 9,1 % de la masa total inicial (23 578 µg absolutos) bajo las condiciones de análisis. Dicho porcentaje de recuperación se puede atribuir a la compactación de las matrices dentro de los tubos, ya que aumenta la resistencia a la liberación de compuestos a la temperatura de desorción aplicada. En las

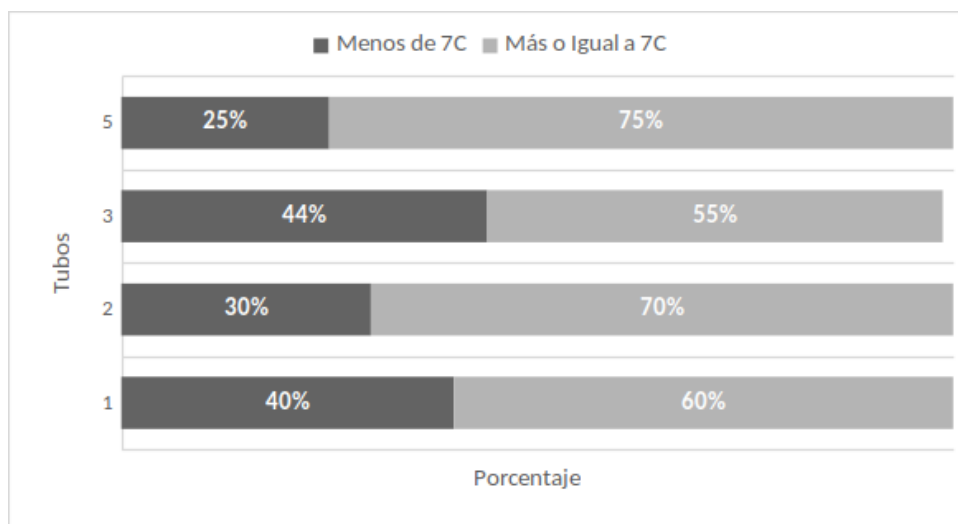
**Tabla 2.** Datos recuperados de los ensayos con Tenax TA

Muestra Número	Tubos empacados		Bolsas Tedlar	
	Tiempo de retención (s)	Concentración desorbida (µg absolutos)	Tiempo de retención (s)	Concentración (µg absolutos)
1	324	1781,98	195	1050,28
2	359	2023,85	194	1315,57
3	323	2536,63	176	1137,71
5	358	2265,42	196	2316,84

bolsas se encontró un promedio de 6,2 %, lo que corresponde a la concentración media de COV en el efluente del tren de muestreo; y, por consiguiente, la masa promedio total adsorbida fue de un 93,8 %.

Mediante los cromatogramas obtenidos para cada tubo de Tenax® TA se identificaron los compuestos liberados con los tiempos de retención respectivos. Con esta información se determinó que los puntos de ebullición y presiones de vapor de los compuestos recuperados fueron inferiores a 144 °C y superiores a 0,7 kPa (en condiciones de 20 °C).

Como se observa en la tabla 1, el Tenax® TA está diseñado para atrapar compuestos orgánicos volátiles cuyas estructuras químicas posean entre 7 y 26 átomos de carbono y una volatilidad media. En la figura 5 se muestran los porcentajes de compuestos atrapados y liberados en los tubos de esta matriz bajo las condiciones de desorción, catalogados según el número de carbonos que posean.



**Figura 5.** Porcentaje de compuestos atrapados en Tenax® TA según su número de carbonos

**Fuente:** elaboración propia.

En la figura 5 se observa como en todos los tubos muestreados, la matriz se comportó según lo que la teoría dicta; ya que el Tenax® TA tuvo una mayor afinidad a capturar compuestos superiores a los 7 carbonos. El rango de los compuestos liberados fue de masas molares desde 40 g/mol hasta 268 g/mol, para compuestos desde 3 hasta 15 carbonos.

La figura 6 muestra que en las bolsas Tedlar de control correspondientes a los tubos de Tenax® TA se encontró un mayor porcentaje de compuestos con menos de 7 carbonos en relación con cada tubo adsorbente. Cabe recalcar que los compuestos detectados en las bolsas Tedlar fueron los que lograron superar la matriz de Tenax TA; es decir, estos contaminantes no fueron retenidos y liberados, sino que fueron parte del efluente.

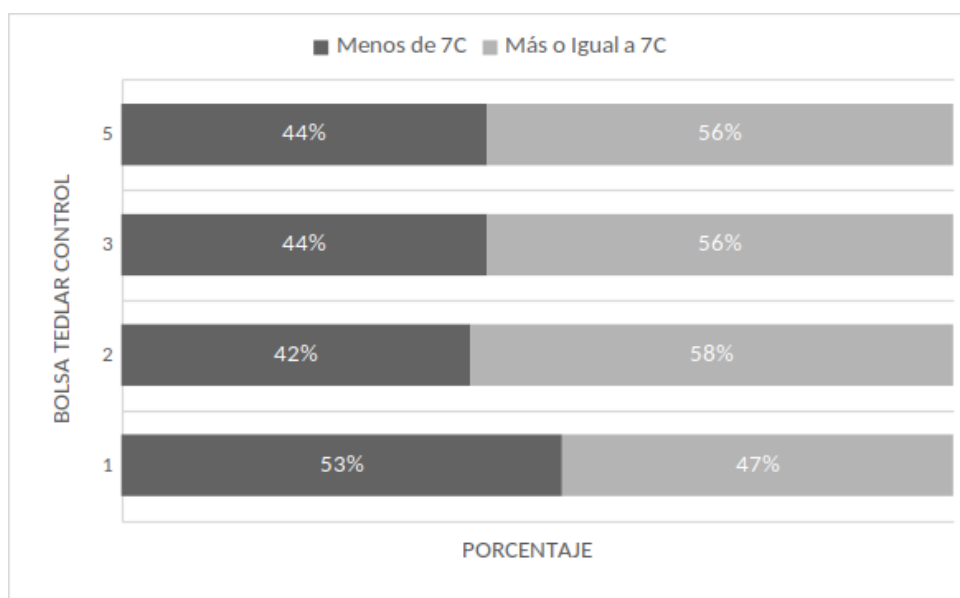


Figura 6. Porcentaje de compuestos encontrados en las bolsas Tedlar después de los tubos con Tenax® TA

Fuente: elaboración propia.

La figura 6 demuestra que el Tenax® TA tiene una clara deficiencia a la hora de retener COV de cadena corta a pesar de que se haya empleado un sistema cerrado y evitando las posibles interferencias.

En síntesis, los ensayos con esta matriz consiguieron un 93,8 % de remoción; sin embargo, la mayoría de los compuestos atrapados son constituidos por cadenas superiores o iguales a 7 átomos de carbono. Los compuestos más volátiles lograron pasar a través de los poros (ver en figura 6) donde se observa cómo la minoría de los compuestos liberados por los tubos fueron de cadena corta. Por lo anterior, la matriz de Tenax® TA no es apta para el fin de este proyecto, pues la fracción más volátil no está siendo retenida eficientemente (De Bortoli *et al.*, 1992, Baya y Siskos, 1996).

### Desempeño del Carbotrap® 317

En la tabla 3, se observan las concentraciones sustraídas de gasolina en cada uno de los tubos de Carbotrap; asimismo, se muestra la concentración detectada en cada una de las bolsas Tedlar colocadas al final del tren de muestreo, es decir, la concentración en el efluente.

**Tabla 3.** Datos recuperados de los ensayos con Carbotrap® 317

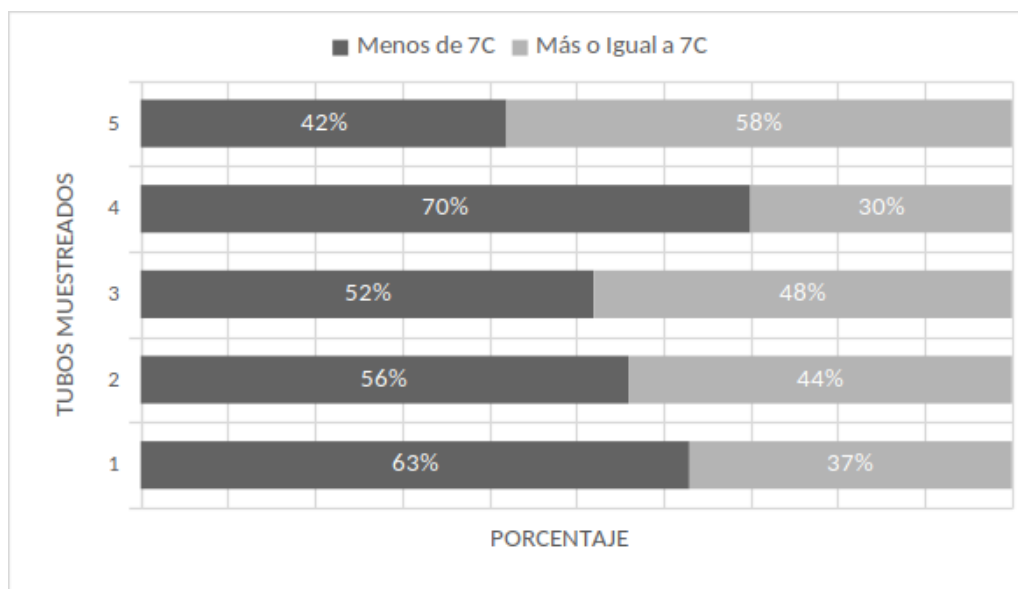
Muestra Número	Tubos empacados		Bolsas Tedlar	
	Tiempo de retención Número (s)	Concentración desorbida (µg absolutos)	Tiempo de retención (s)	Concentración (µg absolutos)
1	190	1422,15	1200	0,00
2	188	1382,54	134	0,70
3	229	783,81	1200	0,00
4	189	953,13	1200	0,00
5	228	1100,01	1200	0,00

En la tabla 3, se observa que la masa recuperada, en promedio, de los tubos es mucho menor a la masa inicial inyectada al tren de muestreo para cada prueba (23 578 µg); ya que se logró liberar un 4,8 % en promedio, bajo las condiciones de análisis. La matriz absorbió prácticamente la totalidad de la muestra. Durante el desarrollo de esta prueba, se inyectó la muestra de gasolina líquida a la bolsa Tedlar, que se volatilizó instantáneamente al ser un volumen muy bajo; por lo que las muestras estudiadas representan la totalidad de los compuestos en el combustible y no a la fracción más volátil que se busca recuperar. Por esta causa, se ajustaron las condiciones de desorción del método para buscar recuperar solamente los compuestos con la mayor presión de vapor; en la figura 7 se muestra el porcentaje de compuestos recuperados según su tamaño en cada tubo muestreado.

En la figura 7 se observa que la mayoría de compuestos liberados fueron de cadena corta, esto se debe a que esta matriz forma interacciones muy fuertes con los compuestos que adsorbe, lo que dificulta la recuperación de los compuestos atrapados. Los COV liberados corresponden a aquellos con la mayor presión de vapor, ya que, a una temperatura de desorción de 150 °C, fueron los primeros y únicos compuestos cuyas fuerzas electrostáticas con la matriz pudieron ser superadas.

El hecho de que se haya atrapado y recuperado una cantidad importante de moléculas de cadena corta es debido a la presencia del Carboxen® 1000, cuyo propósito es atrapar compuestos desde 2 hasta 5 carbonos según el fabricante (ver tabla 1).

La capacidad adsorbativa del Carbotrap se atribuye a las fuerzas de dispersión de London que surgen entre moléculas no polares, en las que pueden aparecer dipolos instantáneos y su intensidad



**Figura 7.** Porcentaje de compuestos liberados del Carbotrap® 317, según su número de carbonos

**Fuente:** elaboración propia.

aumenta entre mayor sea el tamaño de la molécula, ya que los dipolos se pueden producir con más facilidad. Debido a esto, se logró disminuir la recuperación de compuestos de mayor tamaño.

Los compuestos liberados detectados en los cromatogramas variaron desde 1 hasta 15 carbonos, con masas dentro de un rango que abarca moléculas con masas molares de entre 56 g/mol hasta 268 g/mol. Las señales recibidas durante la cromatografía se dieron en un tiempo menor a los 4 minutos; en la figura 4 se observa cómo en el estudio de [Hernández Torres, 2016](#), la mayoría de compuestos más volátiles se liberaron también durante los primeros cuatro minutos. Esto se atribuye a que la naturaleza adsorbente de esta matriz no permite la liberación de compuestos más grandes a los liberados durante el análisis de 20 minutos a 150 °C. No se detectaron compuestos con puntos de ebullición que superaran los 110 °C ni con presiones de vapor menores a los 3,8 kPa (en condiciones de 20 °C).

No se percibieron pérdidas o reacciones dentro de la matriz ya que autores como [Shirey et al., 1991](#) y el mismo fabricante ([Supelco Analytical, 1986](#)) han reportado que, en condiciones de temperatura ambiente, el Carbotrap tiende a reaccionar solamente con compuestos bromoalcanos, y estos no están presentes en la gasolina usada como muestra. Asimismo, la humedad no es un factor de interferencia, a pesar de que el Carboxen 1000 sea una matriz hidrofílica; ya que el Carbotrap C y B al ser hidrofóbicos y estar colocados antes bloquean la humedad presente ([USEPA, 1999](#)).

Los resultados obtenidos se asemejan a lo esperado según la literatura, ya que los compuestos con 5 carbonos o menos fueron atrapados por el Carboxen 1000 y los compuestos de 6 carbonos en adelante quedaron retenidos por el Carbotrap B y el Carbotrap C. Al no superar la temperatura má-



xima de exposición de 400 °C, determinada por el fabricante, y al usar una temperatura de desorción menor a la estipulada por el método estándar (325 °C), se recuperó una importante fracción de los COV que actualmente se escapan sin ser tratados en el Plantel de El Alto.

En resumen, esta matriz logró un 99,9 % de remoción, a diferencia del Tenax TA, el Carbotrap® 317 retuvo los compuestos más volátiles de los vapores de la gasolina gracias a su especificidad (Baya y Siskos, 1996, De Bortoli *et al.*, 1992, Supelco Analytical, 1986). Las condiciones de desorción permitieron recuperar los contaminantes más volátiles que antes se estaban perdiendo.

## CONCLUSIONES

Los parámetros del método modificado permitieron recuperar la fracción más volátil de la muestra, similar a la que se emite durante la carga de combustibles en el Plantel de El Alto de Ochomogo. Las señales de retención en los cromatogramas obtenidos para compuestos liberados bajo las condiciones de desorción con el Carbotrap® 317 son similares a las señales detectadas en análisis de COV en estudios realizados anteriormente en el mismo lugar.

Los ensayos con Tenax® TA consiguieron un 93,8 % de remoción, los tubos empacados con Carbotrap® 317 aumentaron dicho porcentaje a un 99,9 % de los compuestos de la masa inicial inyectada. Para los fines de este proyecto, el uso de la matriz adsorbente de Tenax® TA no es recomendable debido a que la retención de los vapores de gasolina fue deficiente para los compuestos más volátiles de la muestra. Esto no posibilitaría un tratamiento óptimo a las emisiones de interés. El Carbotrap® 317 es el adsorbente ideal para la captura de los compuestos orgánicos más volátiles presentes en los vapores de gasolina, ya que retuvo y liberó dichos compuestos bajo las condiciones de desorción. Para aumentar la recuperación de compuestos de cadena corta se deben realizar nuevos análisis que prueben distintas temperaturas de desorción, utilizando como muestra solamente los vapores de gasolina provenientes de los cargaderos.

## FINANCIAMIENTO

Los resultados presentados en este artículo forman parte del proyecto de investigación y desarrollo denominado “Diseño de un sistema de control de pérdidas de COV para reducir el impacto ambiental de las emisiones fugitivas en los patios de trasiego del Plantel de Recope Ochomogo”, financiado por la Refinería Costarricense de Petróleo (Recope) y el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). Los autores agradecen a todas las personas u organizaciones que colaboraron de alguna manera para el desarrollo de este proyecto.

## REFERENCIAS

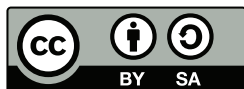
- [Arango *et al.*, 2014] Arango G., J., Sierra V., F. E. y Silva L., V. (2014). Análisis exploratorio de investigaciones sobre los motores de combustión interna que trabajan con biogás. *Tecnura*, 18(39), 152-164. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.1.a11> ↑Ver página 132
- [Atkins, 1982] Atkins, P. (1982). *Physical chemistry*. 2.<sup>a</sup> ed. W.H. Freeman & Co. ↑Ver página 135
- [Badjagbo *et al.*, 2007] Badjagbo, K., Moore, S. y Sauvé, S. (2007). Real-time continuous monitoring methods for airborne VOCs. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 26, 931-940. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2007.07.004> ↑Ver página 135
- [Baya y Siskos, 1996] Baya, M. y Siskos, P. (1996). Evaluation of anasorb CMS and comparison with Tenax TA for the sampling of volatile organic compounds in indoor and outdoor air by breakthrough measurements. *The Analyst*, 3, 303-307. <https://doi.org/10.1039/an9962100303> ↑Ver página 141, 144
- [Brown (2013)] Brown, J. (2013). *Choosing the right adsorbent for your thermal desorption gas chromatography applications*. Sigma-Aldrich Co. ↑Ver página 137
- [CICA, 1999] Centro de Información sobre Contaminación de Aire (CICA). (1999). *Seleccionando un sistema de adsorción para COV's: ¿Carbón, zeolita, o polímeros?* <https://www3.epa.gov/ttnecat/cica/files/fadsorbs.pdf> ↑Ver página 134
- [Coava y Tovar, 2009] Coava, J. C. y Tovar, U. D. J. (2009). *Caracterización de compuestos orgánicos volátiles (VOC's) por cromatografía de alta velocidad* [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Colombia. ↑Ver página 132
- [Comunidad de Madrid, 2021] Comunidad de Madrid. (2021). *Calidad del aire y salud*. <https://www.comunidad.madrid/servicios/salud/calidad-aire-salud#ozono-o3> ↑Ver página 132
- [Cooper y Alley, 2002] Cooper, D. y Alley, F. (2002). *Air pollution control*. 3.<sup>a</sup> ed. Waveland Press. ↑Ver página 133
- [De Bortoli *et al.*, 1992] De Bortoli, M., Knoppel, H., Pecchio, E., Schauenburg, H. y Vissers, H. (1992). Comparison of Tenax and Carbotrap for VOC sampling in indoor air. *Indoor Air*, 2, 216-224. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1992.00004.x> ↑Ver página 135, 141, 144
- [Demeestere *et al.*, 2008] Demeestere, K., Dewulf, J., De Roo, K., De Wispelaere, P. y Van Langenhove, H. (2008). Quality control in quantification of volatile organic compounds analysed by thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1186, 348-357. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.11.036> ↑Ver página 135

- [Dettmer y Engewald, 2002] Dettmer, K. y Engewald, W. (2002). Adsorbent materials commonly used in air analysis for adsorptive enrichment and thermal desorption of volatile organic compounds. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 373, 490-500. <https://doi.org/10.1007/s00216-002-1352-5> ↑Ver página 134
- [Flores, 2008] Flores, R. (2008). *Hidrocarburos alifáticos*. <https://repositoriodigital.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/15211/7/NOMENCLATURA.pdf> ↑Ver página 132
- [Harper, 1993] Harper, M. (1993). Evaluation of solid sorbent sampling methods by breakthrough volume studies. *Annals of Occupational Hygiene*, 37(1), 65-88. ↑Ver página 138, 139
- [Hernández Torres, 2016] Hernández Torres, H. (12 de abril de 2016). *Diagnóstico de los requerimientos para la carga ventral en los camiones cisterna de producto limpio y modelación de las emisiones fugitivas generadas en el patio de carga del plantel Recope El Alto* [Trabajo de grado]. Repositorio Institucional del Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/browse?type=author&value=Hern%C3%A1ndez-Torres%2C+Hazel+Mar%C3%ADa> ↑Ver página 133, 143
- [INSHT, 2016] Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2016). *Límites de exposición profesional para agente químicos en España*. <https://www.insst.es/documents/94886/188493/L%C3%ADmite+de+exposici%C3%B3n+profesional+para+agentes+qu%C3%ADmicos+2016> ↑Ver página 138
- [Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2007] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2007). *Métodos de control para emisiones de compuestos orgánicos volátiles por fuentes fijas*. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/metodos.html> ↑Ver página 134
- [Kiselev y Yashin, 1969] Kiselev, A. V. y Yashin, Y. I. (1969). *Gas adsorption chromatography*. Plenum Press. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-6503-5> ↑Ver página 135
- [Knobloch et al., 1997] Knobloch, Th., Asperger, A., Engewald, W. (1997). Volatile organic compounds in urban atmospheres: Long-term measurements of ambient air concentrations in differently loaded regions of Leipzig. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 359, 189-197. <https://doi.org/10.1007/s002160050558> ↑Ver página 132
- [Luque-Díaz et al., 2020] Luque-Díaz., G. Y., Ramírez-Salinas., L. C. y Ruíz-Ochoa, M.A. (2020). Técnicas difusas para la evaluación de impactos ambientales en el transporte de hidrocarburos en Colombia. *Tecnura*, 24(64), 48-65. <https://doi.org/10.14483/22487638.15762> ↑Ver página 132
- [Molina, 2017] Molina, F. (2017). Evaluación de un método modificado de adsorción para el control de pérdidas de compuestos orgánicos volátiles para reducir el impacto ambiental de las emisiones fugitivas generadas en los patios de trasiego del plantel de Recope en Ochomogo: [Trabajo de

- grado confidencial]. Repositorio Institucional del Instituto Tecnológico de Costa Rica. ↑Ver página 136, 138, 139
- [Murphy y Allen, 2005] Murphy, C. F. y Allen, D. T. (2005). Hydrocarbon emissions from industrial release events in the Houston-Galveston area and their impact on ozone formation. *Atmospheric Environment*, 39, 3785-3798. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.02.051> ↑Ver página 132
- [NIOSH, 1977] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (1977). *NIOSH Manual of analytical methods*. 2.<sup>a</sup> ed. Department of Health, Education and Welfare. ↑Ver página 138
- [Núñez, 2008] Núñez, C. (2008). *VOC's: Sources, definitions, and considerations for recovery*. EPA NRMRL. ↑Ver página 134
- [OSHA, 1985] Occupational Safety & Health Administration (OSHA). (1985). *OSHA Analytical Methods Manual*. OSHA Analytical Laboratory. ↑Ver página
- [PEMEX, 1998] PEMEX. (1998). *Hoja de datos de seguridad HDSS: PR-107/2010*. [www.pemex.com/comercializacion/productos/HDS/refinados/HDSS-107%20Pemex%20Magna.pdf](http://www.pemex.com/comercializacion/productos/HDS/refinados/HDSS-107%20Pemex%20Magna.pdf) ↑Ver página 138
- [Quesada *et al.*, 2018] Quesada C., L. V., Pino G., M. y Elizondo H., R. (2018). Estimación emisiones de compuestos orgánicos volátiles, plantel de distribución de combustibles Recope, el alto de Ochomogo, Cartago, Costa Rica. *Tecnura*, 22(55), 25-33. <https://doi.org/10.14483/22487638.12543> ↑Ver página 132, 133
- [Shirey *et al.*, 1991] Shirey, R. E., Hazard, S. y Cole, S. B. (4-7 de marzo de 1991). *A systematic comparison of trap adsorbents for analyses of volatile organics in drinking water and waste water*. Pittsburgh Conference. ↑Ver página 143
- [Supelco Analytical, 1986] Supelco Analytical. (1986). *Carbotrap carbon black: An excellent adsorbent for solvent or thermal desorption/GC analyses of airborne organic compounds*. [www.sigmaaldrich.com/deepweb/assets/sigmaaldrich/marketing/global/documents/183/163/4501.pdf](http://www.sigmaaldrich.com/deepweb/assets/sigmaaldrich/marketing/global/documents/183/163/4501.pdf) ↑Ver página 135, 136, 143, 144
- [Supelco Analytical, 1997] Supelco Analytical. (1997). *Dynatherm thermal desorption sampling tubes datasheet*. ↑Ver página 138
- [Theodore, 2008] Theodore, L. (2008). *Air pollution control equipment calculations*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470255773> ↑Ver página 133
- [Tipler, 2014] Tipler, A. (2014). *An introduction to headspace sampling in gas chromatography*. PerkinElmer, Inc. ↑Ver página 135

[USEPA, 1999] United States Environmental Protection Agency (USEPA). (1999). Method TO-17: *Determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes*. [www.epa.gov/sites/default/files/2019-11/documents/to-17r.pdf](http://www.epa.gov/sites/default/files/2019-11/documents/to-17r.pdf) ↑Ver página 134, 136, 137, 143

[WHO, 2006] World Health Organization (WHO). (2006). *Air quality guidelines for Europe. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide*. The regional Office for Europe. [www.euro.who.int/InformationSources/Publications/Catalogue/2007323\\_1](http://www.euro.who.int/InformationSources/Publications/Catalogue/2007323_1) ↑Ver página 132



## Evaluación del número de publicaciones en ciencias de la computación en Suramérica en un periodo de veinte años

### Evaluation of the number of publications in computer science in South America in a period of 20 years

Luis Fernando Restrepo-Betancur <sup>1</sup>

Fecha de Recepción: 03 de enero de 2022

Fecha de Aceptación: 04 de julio de 2022

**Cómo citar:** Restrepo-Betancur., L.F. (2022). Evaluación del número de publicaciones en ciencias de la computación en Suramérica en un periodo de veinte años. *Tecnura*, 26(74), 149-164. <https://doi.org/10.14483/22487638.17080>

## Resumen

**Contexto:** La presente investigación se relaciona con el número de publicaciones y citas en ciencia computacional en Suramérica en los últimos veinte años. La medición de la producción científica es de gran impacto a fin de evaluar la producción de un país, al igual que los grupos de investigación, autores y centros universitarios entre otros aspectos.

**Método:** La investigación se clasifica en descriptiva comparativa de tipo longitudinal. La información se recopiló de la plataforma *SCImago Journal & Country Rank*, donde las variables evaluadas corresponden a los diferentes temas relacionados con el área de la ciencia computacional. El procesamiento estadístico de la información se realizó por medio de la técnica de clúster, análisis multivariado de la varianza (Manova), análisis Biplot por el método procrustes, complementado con la técnica no paramétrica de Spearman. Se empleó el paquete estadístico *SAS University*.

**Resultados:** Brasil se diferencia estadísticamente respecto a las demás naciones del Cono Sur, en lo concerniente a la difusión científica en el área de las ciencias de la computación. Existe una relación directamente proporcional entre los diferentes temas evaluados; la mayor correlación entre naciones se dio entre Argentina, Brasil, Chile y Venezuela.

**Conclusiones:** Brasil es el país de Suramérica con el mayor número de publicaciones y citas en las diferentes áreas de la ciencia de la computación, seguido de Argentina, Colombia y Chile, donde ciencias computacionales aplicadas tienen mayor impacto y la interacción persona ordenador es la de menor representación.

**Palabras clave:** cienciometría, estadísticas, informática, publicaciones.

## Abstract

**Context:** The present research is related to the number of publications and citations in computational science in South America in the last twenty years. The measurement of scientific production is of great impact in order to evaluate the production of a country, as well research groups, authors and university centers, among other aspects.

<sup>1</sup> Estadístico, especialista en Estadística y Biomatemática. Docente titular Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. Email: [lfernando.restrepo@udea.edu.co](mailto:lfernando.restrepo@udea.edu.co)

**Method:** The research is classified as a longitudinal descriptive comparative study. The information was collected from the SCImago Journal & Country Rank platform, where the variables evaluated correspond to the different topics related to the area of computer science. The statistical processing of the information was carried out by means of the cluster technique, multivariate analysis of variance (MANOVA), Biplot analysis by the Procrustes method, complemented with the nonparametric technique of Spearman. The SAS University statistical package was used.

**Results:** Brazil is statistically different from the other nations of the southern part of the American continent in terms of scientific dissemination in the area of computer science. There is a directly proportional relationship between the different topics evaluated, the highest correlation between nations was between Argentina, Brazil, Chile and Venezuela.

**Conclusions:** Brazil is the South American country with the highest number of publications and citations in the different areas of computer science, followed by Argentina, Colombia and Chile, where the topic with the highest impact corresponds to applied computational sciences and the lowest is related to human-computer interaction.

**Keywords:** scientometrics; statistics; computing; publications.

---

## Tabla de Contenidos

	<b>Página</b>
<b>Introducción</b>	150
<b>Metodología</b>	155
Métodos estadísticos . . . . .	156
<b>Resultados</b>	157
<b>Conclusiones</b>	162
<b>Conflicto de interés</b>	162
<b>Fuente de financiación</b>	162
<b>Agradecimientos</b>	162
<b>Referencias</b>	162

## INTRODUCCIÓN

Las publicaciones científicas recopilan el conocimiento generado por investigadores de diferentes regiones del mundo, lo cual incrementa la interacción entre grupos académicos y el desarrollo de las diferentes naciones (Pire, 2015).

El número de artículos que se publican por las diferentes revistas de carácter científico que son archivados en sus bases de datos posibilita que los investigadores en cienciometría empleen métodos estadísticos para evaluar la producción en un área determinada (Salas *et al.*, 2018). El análisis bibliométrico es una poderosa herramienta y ha sido validada en diversas áreas del conocimiento, con

la cual se detectan similitudes, tendencias, variabilidad, diferencias, entre otros aspectos (Arduini y Zanfei, 2014). La ciencia estadística brinda grandes aportes para el desarrollo bibliométrico, desde el cual se puede medir la evolución en la producción de un tema a través del tiempo, gracias a métodos multivariados como: series de tiempo, análisis de regresión y correlación, estadística descriptiva e inferencial, entre una variedad de técnicas. También se puede evaluar el número de publicaciones, citas, autocitas, índice H, patentes, para así generar indicadores relacionados con el campo de la ciencia y la tecnología. De igual manera facilita la medición del desarrollo científico de las universidades, de los docentes, grupos de investigación y países, además de la observación de la dinámica de crecimiento de determinada área del conocimiento (Pineda, 2015).

El análisis de las publicaciones científicas fortalece evaluaciones cualitativas, a través del conocimiento de los investigadores (Urquhart y Dunn, 2013). La gran cantidad de información científica que se genera a nivel mundial aporta a la implementación de diversos programas informáticos al servicio de la comunidad investigativa, con el fin de interactuar y potencializar el desarrollo y la innovación en un campo determinado. El avance en las diferentes plataformas de investigación conduce a que cualquier persona con un conocimiento mínimo acceda a la información que se suministra. La automatización beneficia a los investigadores cuando estos implementan simulaciones por medio de modelos probabilísticos que conduzcan a la modelación y, por ende, a la toma de decisiones, para facilitar el avance científico (Michán, 2011). Existen fuentes bibliométricas como: *ISI Web of Science (WoS)* o *Scopus*, donde los investigadores elaboran mapas asociados con los autores, países, temas, citas, referencias, coautorías, entre otros (Cobo *et al.*, 2011).

La cienciometría se clasifica en dos categorías: la pragmática, que está asociada a la evaluación de la calidad de las publicaciones y su impacto, y estudia la manera como se invierten y administran los recursos disponibles asociados con la investigación y su política. Por otro lado, el enfoque cognitivo evalúa cómo se hace la ciencia. Dentro de la cienciometría es de interés evaluar el número de citas, para determinar la calidad de los diferentes autores y su reconocimiento dentro del mundo científico. Las citas de un artículo generan índices, cumpliendo con una función social y cognitiva, la cual está relacionada con la interacción entre textos por medio de las citas. La cienciometría se clasifica dentro del campo de la sociología debido a que privilegia investigaciones empíricas asociadas a la ciencia, de igual forma cumple una función geopolítica que mide la realidad científica de una nación (Millán *et al.*, 2017). Las citas clasifican de forma justa a las personas dedicadas a la ciencia, lo que se convierte en un estándar de calidad (Franceschini y Maisano, 2011).

El empleo de la cienciometría es inherente a todas las áreas del conocimiento, generan gráficos bidimensionales y a la vez establecen clústeres que ponderan a los autores, países o grupos de investigación, gracias al avance tecnológico en el campo de la computación existen paquetes especializados que se pueden implementar, con el fin de generar reportes asociados con el objeto de estudio. El paquete estadístico R tiene una función llamada "bibliometrix" que determina estadísticas avanzadas relacionadas con las publicaciones científicas (Aria y Cuccurullo, 2017).



La cienciometría, la bibliometría, las *altmetrics*, la minería de textos y la webmetría efectúan mediciones certeras de alto impacto científico (Gómez, 2018). La ciberinfraestructura está asociada a un entorno tecnológico-social que transmite y preserva las bases de datos, hilvanando conocimientos por medio de la recopilación de la información su gestión, procesamiento y visualización por medio de internet (Michán, 2011).

La medición de la producción científica se debe realizar con toda la exactitud requerida, ya que tiene implicaciones en la clasificación de los centros universitarios, investigadores, grupos investigativos y países, y tiene una implicación en la sociedad. La bibliometría está relacionada con analizar las revistas científicas al igual que los libros y los sistemas de comunicación vinculados con la información que se genera. La cienciometría se correlaciona con la evaluación por métodos estadísticos y sociométricos adscritos a la producción científica. La informetría se basa en los diferentes estudios derivados de la bibliometría y la cienciometría, por medio de la elaboración de modelos para medir

**Tabla 1.** Producción total de documentos por país y tema en Suramérica

Tema	ARG	BOL	BRA	CHI	COL	ECU	PAR	PER	URU	VEN
T1	1248	18	10.825	1224	1603	651	59	316	136	386
T2	613	6	4194	818	543	89	3	40	89	134
T3	253	1	3253	267	365	69	13	44	69	64
T4	1536	27	14051	1524	1984	144	83	604	335	298
T5	3423	36	21703	4226	3429	1120	48	504	380	890
T6	561	2	5276	505	881	252	18	168	146	137
T7	602	4	5471	412	523	210	26	151	137	113
T8	357	4	4425	496	544	170	9	134	85	74
T9	948	25	9115	1138	1214	757	44	279	182	345
T10	925	4	5584	467	690	156	20	112	129	138
T11	2223	22	19.130	2126	1597	451	88	169	433	466
Letra	<b>b</b>	<b>e</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>e</b>	<b>d</b>	<b>d</b>	<b>d</b>

**Nota:** elaboración propia con base en la información de la plataforma *SCImago Journal & Country Rank*. T1: inteligencia artificial; T2: teoría computacional y matemática; T3: gráficos por computadora y diseño asistido por computadora; T4: redes computacionales y comunicación; T5: ciencias computacionales aplicadas; T6: visión por computadora y reconocimiento de patrones; T7: *hardware* y arquitectura; T8: interacción persona ordenador; T9: sistemas de información; T10: procesamiento de señales; T11: *software*. Letras distintas indican diferencia estadística significativa ( $p < 0,05$ ). ARG: Argentina; BOL: Bolivia; BRA: Brasil; CHI: Chile; COL: Colombia; ECU: Ecuador; PAR: Paraguay; PER: Perú; URU: Uruguay; VEN: Venezuela.

**Tabla 2.** Producción promedio anual por tema y país

Tema	ARG	BOL	BRA	CHI	COL	ECU	PAR	PER	URU	VEN
T1	65 c	2 e	569 a	68 c	84 b	50 d	5 e	21 d	8 e	20 d
T2	34 c	2 e	220 a	43 b	29 c	8 d	3 e	4 e	5 e	7 d
T3	13 c	1 e	171 a	14 c	20 b	9 d	2 e	3 e	4 e	3 e
T4	80 c	3 f	780 a	80 c	110 b	110 b	6 f	46 d	18 e	16 e
T5	180 b	2 e	1142 a	222 b	180 b	66 c	4 e	28 d	20 d	47 c
T6	29 c	2 e	277 a	27 c	46 b	23 c	2 e	11 d	8 d	7 d
T7	33 b	4 d	303 a	23 b	29 b	19 b	3 d	14 c	9 c	7 c
T8	20 c	1 e	233 a	26 b	32 b	19 c	2 e	10 d	5 e	4 e
T9	50 b	2 d	480 a	60 b	64 b	58 b	3 d	19 c	10 c	18 c
T10	48 b	1 d	294 a	25 c	38 b	12 c	3 d	7 c	8 c	7 c
T11	117 b	2 f	1006 a	111 b	84 b	30 c	6 e	11 d	23 c	24 c

**Nota:** elaboración propia con base en la información de la plataforma *SCImago Journal & Country Rank*. T1: inteligencia artificial; T2: teoría computacional y matemática; T3: gráficos por computadora y diseño asistido por computadora; T4: redes computacionales y comunicación; T5: ciencias computacionales aplicadas; T6: visión por computadora y reconocimiento de patrones; T7: *hardware* y arquitectura; T8: interacción persona ordenador; T9: sistemas de información; T10: procesamiento de señales; T11: *software*. Letras distintas indican diferencia estadística significativa entre naciones para cada uno de los temas tratados ( $p < 0,05$ ). ARG: Argentina; BOL: Bolivia; BRA: Brasil; CHI: Chile; COL: Colombia; ECU: Ecuador; PAR: Paraguay; PER: Perú; URU: Uruguay; VEN: Venezuela.

el impacto de la información generada desde aplicativos como las técnicas multivariadas, las cuales determinan similitudes o disimilitudes en aspectos de interés; por otro lado, la informetría tiene que ver con la forma como se guardan los datos. La cibermetría comprende el estudio cuantitativo asociado con la elaboración y empleo de la información al igual que establece las estructuras existentes, adicionalmente se relaciona con las tecnologías de internet, desde aspectos asociados de carácter bibliométricos e informétricos (Tarrío *et al.*, 2017).

El adelanto tecnológico ha impactado en grandes avances en diferentes áreas del conocimiento; en el caso concreto de la educación, los sistemas informáticos son vitales en la implementación de cursos virtuales, los cuales se pueden acceder desde cualquier parte del mundo. Adicionalmente, ha facilitado el entendimiento de diferentes áreas de la matemática, mediante la implementación de paquetes computacionales específicos en cada asignatura. El desarrollo computacional se correlaciona con procesar grandes bases de datos con el fin de brindar soluciones a los diferentes objetivos que se presenten (Padilla-Escorcía *et al.*, 2022). Las bases de datos son fundamentales para acceder a la

**Tabla 3.** Coeficiente de variación por tema y país

Tema	ARG	BOL	BRA	CHI	COL	ECU	PAR	PER	URU	VEN
T1	71,8	63,1	70,5	75,6	111,1	213,7	65,2	175,6	84,7	53,9
T2	48,7	38,4	57,6	67,0	81,9	101,0	0,0	104,7	70,0	54,8
T3	70,6	0,0	65,0	70,8	103,8	139,2	57,5	86,3	71,7	68,7
T4	111,4	103,3	85,4	97,4	116,9	174,9	137,5	171,3	86,2	70,5
T5	29,8	61,8	56,7	64,9	87,1	214,6	96,5	133,6	70,5	31,1
T6	61,4	0,0	63,6	74,1	102,5	148,1	51,1	155,8	72,5	51,8
T7	121,3	0,0	69,3	100,6	114,5	210,1	126,5	218,9	84,9	66,8
T8	75,0	0,0	79,3	81,2	89,6	121,7	36,5	143,3	99,3	51,9
T9	66,4	72,4	69,7	73,5	96,3	186,4	119,1	121,1	70,7	67,4
T10	103,0	43,3	70,8	81,0	98,8	139,5	74,0	104,9	80,3	49,6
T11	56,3	56,2	57,9	66,5	84,1	149,3	94,1	101,1	77,7	43,5

**Nota:** elaboración propia con base en la información de la plataforma *SCImago Journal & Country Rank*. T1: inteligencia artificial; T2: teoría computacional y matemática; T3: gráficos por computadora y diseño asistido por computadora; T4: redes computacionales y comunicación; T5: ciencias computacionales aplicadas; T6: visión por computadora y reconocimiento de patrones; T7: *hardware* y arquitectura; T8: interacción persona ordenador; T9: sistemas de información; T10: procesamiento de señales; T11: *software*. ARG: Argentina; BOL: Bolivia; BRA: Brasil; CHI: Chile; COL: Colombia; ECU: Ecuador; PAR: Paraguay; PER: Perú; URU: Uruguay; VEN: Venezuela.

información de manera oportuna y evaluar el comportamiento estadístico de las diferentes variables que se tengan. Estas bases han evolucionado en el tiempo, y se han adaptado cada vez más a las necesidades de la sociedad (Rojas, 2018).

El acceso al conocimiento, uso y manejo de diferentes programas computacionales permite al estudiante avanzar en el conocimiento de un área específica, e interactuar de mejor forma con sus compañeros y con el docente que imparte la asignatura. Cada día se implementan nuevas estrategias pedagógicas asistidas por el uso de sistemas informáticos, lo que conduce a un mejor aprendizaje de los diferentes conceptos tratados en el aula, lo cual trae grandes ventajas en aspectos como la motivación, facilidad en el acceso al conocimiento, rapidez en la generación de actividades, comunicación eficaz, entre otros factores (Giovanny-Hidalgo *et al.*, 2021). En las últimas dos décadas la robótica ha impactado en el avance de la industria, lo que ha repercutido en la economía global y en la calidad de vida de los habitantes. Adicionalmente se han creado nuevas fuentes de empleo minimizando riesgos en el proceso de producción (Becerra-Mora, 2020).

**Tabla 4.** Documentos citables por país y tema en Suramérica en el área de sistemas

Tema	ARG	BOL	BRA	CHI	COL	ECU	PAR	PER	URU	VEN
T1	1215	17	10.576	1171	1570	643	55	313	133	385
T2	608	6	4100	794	537	89	3	40	86	133
T3	249	1	3167	259	363	68	13	39	68	63
T4	1514	27	13.793	1456	1970	1431	83	600	324	296
T5	3295	36	21.119	4093	3349	1107	48	496	361	874
T6	556	2	5194	493	873	250	18	166	145	134
T7	593	4	5318	397	520	209	26	149	133	133
T8	351	4	4341	484	541	165	9	132	83	72
T9	930	25	8938	1092	1203	749	44	276	178	339
T10	912	4	5497	457	684	154	20	110	127	136
T11	2171	21	18.582	2019	1573	436	88	168	424	464
Letra	<b>b</b>	<b>f</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>e</b>	<b>d</b>	<b>d</b>	<b>d</b>

**Nota:** elaboración propia con base en la información de la plataforma *SCImago Journal & Country Rank*. T1: inteligencia artificial; T2: teoría computacional y matemática; T3: gráficos por computadora y diseño asistido por computadora; T4: redes computacionales y comunicación; T5: ciencias computacionales aplicadas; T6: visión por computadora y reconocimiento de patrones; T7: *hardware* y arquitectura; T8: interacción persona ordenador; T9: sistemas de información; T10: procesamiento de señales; T11: *software*. Letras distintas indican diferencia estadística significativa entre naciones ( $p < 0,05$ ). ARG: Argentina; BOL: Bolivia; BRA: Brasil; CHI: Chile; COL: Colombia; ECU: Ecuador; PAR: Paraguay; PER: Perú; URU: Uruguay; VEN: Venezuela.

El objetivo de la presente investigación es evaluar y comparar tanto el número de publicaciones como el de citas, en los últimos veinte años, en países de Suramérica, en el área de la computación.

## METODOLOGÍA

La investigación se clasifica en descriptiva comparativa de tipo longitudinal. La información se recopiló de la plataforma *SCImago Journal & Country Rank*, que corresponde a un portal de evaluación de revistas, adscritas a los diferentes países del mundo y se basa en la información contenida en la base de datos *Scopus* (Elsevier). Los datos corresponden al área de ciencia computacional que comprende inteligencia artificial, teoría computacional y matemática, gráficos por computadora y diseño asistido por computadora, redes computacionales y comunicación, ciencias computacionales

**Tabla 5.** Número de citas por tema y país

Temas	ARG	BOL	BRA	CHI	COL	ECU	PAR	PER	URU	VEN
T1	8789	28	63.418	9968	5665	827	162	395	1223	2376
T2	6726	19	33.502	7545	2628	289	5	163	1575	947
T3	2021	0	18.448	2283	2113	145	63	366	645	879
T4	4913	39	61.632	6932	3546	1636	209	542	1204	1814
T5	28.849	253	153.394	62.068	13.519	2369	215	1407	1997	5912
T6	4025	4	30.496	4639	5388	297	54	451	1666	573
T7	3736	9	34.180	3810	2439	495	132	191	562	717
T8	1485	2	16094	3878	1434	224	10	261	228	189
T9	4568	60	39729	10937	3324	875	73	727	627	1351
T10	5033	60	37934	3253	2283	609	42	364	452	1230
T11	18.066	137	137219	19650	10.308	1502	256	921	3429	4378
Letra	<b>b</b>	<b>e</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>e</b>	<b>d</b>	<b>c</b>	<b>c</b>

**Nota:** elaboración propia con base en la información de la plataforma *SCImago Journal & Country Rank*. T1: inteligencia artificial; T2: teoría computacional y matemática; T3: gráficos por computadora y diseño asistido por computadora; T4: redes computacionales y comunicación; T5: ciencias computacionales aplicadas; T6: visión por computadora y reconocimiento de patrones; T7: *hardware* y arquitectura; T8: interacción persona ordenador; T9: sistemas de información; T10: procesamiento de señales; T11: *software*. Letras distintas indican diferencia estadística significativa entre naciones ( $p < 0,05$ ). ARG: Argentina; BOL: Bolivia; BRA: Brasil; CHI: Chile; COL: Colombia; ECU: Ecuador; PAR: Paraguay; PER: Perú; URU: Uruguay; VEN: Venezuela.

aplicadas, visión por computadora y reconocimiento de patrones, *hardware* y arquitectura, interacción persona ordenador, sistemas de información, procesamiento de señales y *software*. Los datos corresponden al periodo 2000-2019 que es la fuente actual existente, con acceso marzo 18 de 2020. La información se recogió para cada país, año tras año, en cada tema citado. Las variables evaluadas fueron número de documentos, documentos citables, número de citas, número de autocitas, citaciones por documento.

## Métodos estadísticos

Se emplearon las siguientes técnicas estadísticas: análisis de clúster, con el objetivo de clasificar a los diferentes países de Suramérica en cuanto a la producción científica publicada y citada; *Manova*, para contrastar diferencias entre naciones, teniendo en cuenta todas las variables objeto de

**Tabla 6.** Número de citas por tema y país

Temas	ARG	BOL	BRA	CHI	COL	ECU	PAR	PER	URU	VEN
T1	186	15	182	233	144	35	33	43	324	150
T2	252	10	250	238	381	76	2	50	396	131
T3	215	0	192	228	144	37	36	246	280	206
T4	136	24	119	145	71	72	89	25	98	168
T5	176	103	175	387	111	136	114	120	137	132
T6	166	4	162	255	157	20	26	98	437	86
T7	218	2	163	278	157	125	86	26	84	117
T8	138	2	108	236	62	22	9	52	76	57
T9	132	18	141	327	92	54	21	63	99	138
T10	175	34	192	238	86	143	13	71	88	155
T11	202	73	200	228	190	213	85	110	241	187
Letras	c	e	b	a	c	d	e	d	b	c

**Nota:** elaboración propia con base en la información de la plataforma *SCImago Journal & Country Rank*. T1: inteligencia artificial; T2: teoría computacional y matemática; T3: gráficos por computadora y diseño asistido por computadora; T4: redes computacionales y comunicación; T5: ciencias computacionales aplicadas; T6: visión por computadora y reconocimiento de patrones; T7: *hardware* y arquitectura; T8: interacción persona ordenador; T9: sistemas de información; T10: procesamiento de señales; T11: *software*. Letras distintas indican diferencia estadística significativa entre naciones ( $p < 0,05$ ). ARG: Argentina; BOL: Bolivia; BRA: Brasil; CHI: Chile; COL: Colombia; ECU: Ecuador; PAR: Paraguay; PER: Perú; URU: Uruguay; VEN: Venezuela.

estudio; análisis de correlación por el método no paramétrico de Spearman; análisis Biplot y análisis de pictograma a través del método de componentes principales, cuyo objetivo es establecer que temas priman. Se emplearon los paquetes estadísticos *SAS University* y *R* versión 3.6.1.

## RESULTADOS

El país de Suramérica con el mayor número de publicaciones en las diferentes áreas de la ciencia computacional es Brasil, seguido de Chile, Colombia y Argentina. La nación con menor participación fue Bolivia (tabla 1).

Al contrastar el número promedio de publicaciones por tema, Brasil ocupó la primera posición,

**Tabla 7.** Análisis multivariado de la varianza (Manova)

Prueba		Valor	F	p					
Wilks' Lambda		0,17	65,9	<0,0001					
Análisis canónico									
Argentina	b	Bolivia	d	Brasil	a	Chile	b	Colombia	b
Ecuador	c	Paraguay	d	Perú	c	Uruguay	c	Venezuela	c

**Nota:** elaboración propia con base en la información de la plataforma *SCImago Journal & Country Rank*. Letras distintas indican diferencia estadística significativa ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 8.** Análisis de correlación entre naciones de Suramérica

	ARG	BOL	BRA	CHI	COL	ECU	PAR	PER	URU	VEN
ARG	1,0	0,90	0,94	0,90	0,87	0,58	0,52	0,74	0,81	0,95
BOL		1,0	0,83	0,88	0,82	0,54	0,68	0,76	0,73	0,81
BRA			1,0	0,83	0,90	0,69	0,90	0,86	0,87	0,92
CHI				1,0	0,91	0,60	0,70	0,76	0,79	0,89
COL					1,0	0,64	0,77	0,90	0,77	0,90
ECU						1,0	0,54	0,65	0,65	0,75
PAR							1,0	0,83	0,81	0,80
PER								1,0	0,78	0,75
URU									1,0	0,81
VEN										1,0

**Nota:** elaboración propia con base en la información de la plataforma *SCImago Journal & Country Rank*. ARG: Argentina; BOL: Bolivia; BRA: Brasil; CHI: Chile; COL: Colombia; ECU: Ecuador; PAR: Paraguay; PER: Perú; URU: Uruguay; VEN: Venezuela.

donde las ciencias computacionales aplicadas son las más difundidas; gráficos por computadora y diseño asistido por computadora son el componente menos publicado (tabla 2).

Se observa gran heterogeneidad en la producción científica traducida en publicaciones en cada uno de los temas evaluados, donde Perú presenta el mayor grado de heterocedasticidad (tabla 3).

Al evaluar el número de documentos citados, se encontró a Brasil con los mejores resultados, con una diferencia estadística altamente significativa respecto a las demás naciones del sur del continente.

**Tabla 9.** Correlación entre temas en el área de sistemas en Suramérica

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
T1	1,0	0,89	0,93	0,89	0,96	0,93	0,95	0,95	0,98	0,97	0,93
T2		1,0	0,91	0,84	0,93	0,84	0,85	0,85	0,91	0,93	0,97
T3			1,0	0,89	0,94	0,94	0,91	0,95	0,94	0,94	0,92
T4				1,0	0,85	0,93	0,92	0,92	0,88	0,87	0,85
T5					1,0	0,93	0,91	0,95	0,99	0,94	0,94
T6						1,0	0,98	0,98	0,95	0,94	0,88
T7							1,0	0,96	0,93	0,95	0,90
T8								1,0	0,96	0,92	0,86
T9									1,0	0,95	0,92
T10										1,0	0,97
T11											1,0

**Nota:** elaboración propia con base en la información de la plataforma *SCImago Journal & Country Rank*. T1: inteligencia artificial; T2: teoría computacional y matemática; T3: gráficos por computadora y diseño asistido por computadora; T4: redes computacionales y comunicación; T5: ciencias computacionales aplicadas; T6: visión por computadora y reconocimiento de patrones; T7: *hardware* y arquitectura; T8: interacción persona ordenador; T9: sistemas de información; T10: procesamiento de señales; T11: *software*.

**Tabla 10.** Análisis de clúster relacionado con el área de sistemas en Suramérica

Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Clúster 4
Brasil	Colombia Argentina Chile	Paraguay Bolivia	Ecuador Perú Venezuela Uruguay

**Nota:** elaboración propia con base en la información de la plataforma *SCImago Journal & Country Rank*.



Lo sigue Chile, Colombia y Argentina. Naciones como Bolivia y Paraguay se ubican en las últimas posiciones, como se puede apreciar en la tabla 4.

Los temas con el mayor número de citas corresponden a las ciencias computacionales aplicadas, seguido de *software*; los menos citados son interacción persona ordenador y gráficos por computadora y diseño asistido por computadora. Brasil registra una diferencia estadística respecto a los demás países evaluados ( $p < 0,05$ ). Colombia, Chile y Argentina ocupan la segunda posición en lo referente al número de documentos citables (tabla 5).

El país de Suramérica con el mayor número de citas por documento es Chile y el menor es Bolivia (tabla 6). Se presenta diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) de Chile respecto a las demás naciones del Cono Sur.

El análisis multivariado de la varianza con base en todas las variables objeto de estudio, permitió detectar diferencias altamente significativas ( $p < 0,0001$ ) entre las naciones de Suramérica, referente a las publicaciones en el área de las ciencias computacionales. La técnica canónica detectó diferencia entre Brasil respecto a los demás países evaluados en la presente investigación (tabla 7).

El análisis de correlación entre naciones muestra la mayor asociación en la producción científica asociada a sistemas entre Argentina, Brasil, Chile y Venezuela, donde la relación es directamente proporcional. La menor correlación se da entre Argentina y Paraguay, como se puede observar en la tabla 8.

El análisis de correlación entre los temas en el área de sistemas detectó una medición directa entre las variables evaluadas, donde la mayor asociación se dio entre T5 = ciencias computacionales aplicadas y T9 = sistemas de información (tabla 9).

El análisis de clúster llevó a clasificar en cuatro grupos los países de Suramérica, en lo referente a la producción académica y citas en el área de sistemas. En el grupo 1 se ubica Brasil, como la nación con las estadísticas más destacadas; en el grupo 2 se encuentran Colombia, Argentina y Chile; en el grupo 3 están Paraguay y Bolivia, como las naciones con menor producción científica publicada en el área de sistemas. En el último clúster se ubican Ecuador, Perú, Venezuela y Uruguay (tabla 10).

El análisis del pictograma por el método de las componentes principales definió para cada país los temas de mayor impacto en el número de publicaciones y citas en el área de sistemas. Para el caso de Argentina, los contenidos en T5 = ciencias computacionales aplicadas, T11 = *software*, T4 = redes computacionales y comunicación, T1 = inteligencia artificial son los que más priman. En Brasil: T5 = ciencias computacionales aplicadas, T11 = *software*, T4 = redes computacionales y comunicación, T1 = inteligencia artificial y T9 = sistemas de información. En Colombia priman los temas: T5 = ciencias computacionales aplicadas, T11 = *software*, T1 = inteligencia artificial y T9 = sistemas de información. En Chile: T5 = ciencias computacionales aplicadas, T11 = *software*, T4 = redes computacionales y comunicación. En general, el de mayor impacto en la inmensa mayoría de países de Suramérica es sobre las ciencias computacionales aplicadas (tabla 11).

**Tabla 11.** Pictograma asociado al análisis de componentes principales

Tema	ARG	BOL	BRA	CHI	COL	ECU	PAR	PER	URU	VEN
<b>Componente 1</b>										
T1	■		■		■	■	■			■
T2										
T3										
T4	■	■	■	■		■	■	■	■	
T5	■		■	■	■	■	■	■	■	■
T6										
T7		■								
T8										
T9			■		■	■	■			■
T10										
T11	■		■	■	■	■			■	■
<b>Componente 2</b>										
T1		■		■				■	■	
T2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
T3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
T4					■					■
T5		■								
T6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
T7	■		■	■	■	■	■	■	■	■
T8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
T9	■	■		■				■	■	
T10	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
T11		■						■		

**Nota:** elaboración propia con base en la información de la plataforma *SCImago Journal & Country Rank*. T1: inteligencia artificial; T2: teoría computacional y matemática; T3: gráficos por computadora y diseño asistido por computadora; T4: redes computacionales y comunicación; T5: ciencias computacionales aplicadas; T6: visión por computadora y reconocimiento de patrones; T7: *hardware* y arquitectura; T8: interacción persona ordenador; T9: sistemas de información; T10: procesamiento de señales; T11: *software*.

## CONCLUSIONES

Brasil es el país de Sudamérica que mayor número de producción científica registra en el área de la ciencia computacional, seguido de Argentina, Colombia y Chile. Bolivia y Paraguay son las naciones con menor publicación de artículos. El número de publicaciones y citas que permiten ubicar a Brasil en el primer puesto en el Cono Sur, se puede explicar por tener esta nación el mayor número de ingenieros y científicos en el tema tratado en el presente artículo.

Los temas de mayor producción académica son: ciencias computacionales aplicadas y *software*. Los de menor cantidad de publicaciones son gráficos por computadora y diseño asistido por computadora, teoría computacional y matemática, e interacción persona/ordenador.

La mayor cantidad de citas son sobre ciencias computacionales aplicadas, *software*, redes computacionales y comunicación e inteligencia artificial. El menor número de citas se relaciona con interacción persona/ordenador, y gráficos por computadora y diseño asistido por computadora.

Existe heterogeneidad en todos los temas relacionados con las ciencias de la computación, donde el país con mayor heterocedasticidad es Ecuador.

## CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara que no existe ningún conflicto de interés.

## FUENTE DE FINANCIACIÓN

La investigación se realizó con recursos propios.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a Nova Cecilia, por su constante compañía y a la Universidad de Antioquia Colombia, por el apoyo que de ella recibí para adelantar las diferentes actividades de investigación en que participo.

## REFERENCIAS

[Arduini y Zanfei, 2014] Arduini, D. y Zanfei, A. (2014). An overview of scholarly research on public e-services? A meta-analysis of the literature, *Telecommunications Policy*, 38(5-6), 476-495. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2013.10.007> ↑Ver página 151

- [Aria y Cuccurullo, 2017] Aria, M. y Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007> ↑Ver página 151
- [Becerra-Mora, 2020] Becerra-Mora, Y. A. (2020). Una revisión de plataformas robóticas para el sector de la construcción. *Tecnura*, 24(63), 115-132. <https://doi.org/10.14483/22487638.15384> ↑Ver página 154
- [Cobo et al., 2011] Cobo, M. J., López, E., Herrera, V. y Herrera, F. (2011). Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 62(7), 1382-1402. <https://doi.org/10.1002/asi.21525> ↑Ver página 151
- [Franceschini y Maisano, 2011] Franceschini, F. y Maisano, D. A. (2011). Structured evaluation of the scientific output of academic research groups by recent *h*-based indicators. *Journal of Informetrics*, 5(1), 64-74. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.08.003> ↑Ver página 151
- [Giovanny-Hidalgo et al., 2021] Giovanny-Hidalgo, C. G., Llanos-Mosquera, J. M. y Bucheli-Guerrero, V. A. (2021). Una revisión sistemática sobre aula invertida y aprendizaje colaborativo apoyados en inteligencia artificial para el aprendizaje de programación. *Tecnura*, 25(69), 196-214. <https://doi.org/10.14483/22487638.16934> ↑Ver página 154
- [Gómez, 2018] Gómez, Y. J. (2018). Abuso de las medidas y medidas abusivas. Crítica al pensamiento bibliométrico hegemónico. *Anuario Colombiano de Historia Social y de la Cultura*, 45(1), 269-290. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/achsc/article/view/67559> <https://doi.org/10.15446/achsc.v45n1.67559> ↑Ver página 152
- [Michán, 2011] Michán, L. (2011). Cienciometría, información e informática en ciencias biológicas: enfoque interdisciplinario para estudiar interdisciplinas. *Ludus Vitalis*, 29(35), 239-243. <http://www.ludus-vitalis.org/ojs/index.php/ludus/article/view/214/210> ↑Ver página 151, 152
- [Millán et al., 2017] Millán, J. D., Polanco, F., Ossa, J. C., Béria, J. y Cudina, J. N. (2017). La cienciometría, su método y su filosofía: reflexiones epistémicas de sus alcances en el siglo XXI. *Revista Guillermo de Ockham*, 15(2), 17-27. <https://doi.org/10.21500/22563202.3492> ↑Ver página 151
- [Padilla-Escorcía et al., 2022] Padilla-Escorcía, I. A., Conde-Carmona, R. J. y Tovar-Ortega, T. (2022). Recursos tecnológicos utilizados por profesores universitarios de carreras de ingeniería, en tiempos de virtualidad en Barranquilla (Colombia). *Tecnura*, 26(72). <https://doi.org/10.14483/22487638.18277> ↑Ver página 153

- [Pineda, 2015] Pineda, D. L. (2015). Análisis bibliométrico para la identificación de factores de innovación en la industria alimenticia. *AD-minister*, 27(2), 95-126. <https://doi.org/10.17230/ad-minister.27.5www.eafit.edu.co/ad-minister> ↑Ver página 151
- [Pire, 2015] Pire, R. (2015). La importancia de las revistas científicas universitarias y la necesidad de su financiamiento. *Compendium*, 18(35), 1-2. <https://www.redalyc.org/pdf/880/88043199001.pdf> ↑Ver página 150
- [Rojas, 2018] Rojas B., S. A. (2018). Taxonomía de las bases de datos espaciotemporales con objetos en movimiento. Revisión de tema. *Tecnura*, 22(55), 66-76. <https://doi.org/10.14483/22487638.12192> ↑Ver página 154
- [Salas *et al.*, 2018] Salas, G., Ravelo-Contreras, E. L., Mejía, S., Andrades, R., Acuña, E., Espinoza, F., Núñez, M., Barboza, M., Ventura, J., Caycho, T. y Pérez, A. M. (2018). Dos décadas de Acta Colombiana de Psicología: un análisis bibliométrico. *Acta Colombiana de Psicología*, 21(2), 13-25. <https://doi.org/10.14718/ACP.2018.21.2.2> ↑Ver página 150
- [Tarrío *et al.*, 2017] Tarrío, J., Orois, E. y Naya, S. (2017). Estudio métrico sobre la actividad investigadora usando el software libre R: el caso del sistema universitario gallego. *Investigación Bibliotecológica*, (número especial de bibliometría), 221-247. <https://doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2017.nesp1.57891> ↑Ver página 153
- [Urquhart y Dunn, 2013] Urquhart, C. y Dunn, S. (2013). A bibliometric approach demonstrates the impact of a social care data set on research and policy. *Health Information and Libraries Journal*, 30(4), 294-302. <https://doi.org/10.1111/hir.12040> ↑Ver página 151



## Ubicación de un operador logístico para varios periodos de un horizonte de planeación mediante programación lineal

### Location of a logistics operator for several periods of a planning horizon via linear programming

Humberto Guerrero Salas <sup>1</sup>

Fecha de Recepción: 20 de enero de 2022

Fecha de Aceptación: 04 de julio de 2022

**Cómo citar:** 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>

### Resumen

**Contexto:** La ubicación de los operadores logísticos se puede convertir en una ventaja competitiva para las organizaciones, ya que garantiza su respuesta efectiva frente a los cambios de la sociedad.

**Método:** En este trabajo se presenta la formulación del modelo de programación lineal para la ubicación de un operador logístico en cada uno de los periodos de un horizonte de planeación.

**Resultados:** Se garantiza el cumplimiento de la ubicación del operador logístico con sus respectivas restricciones a un costo mínimo; además, se conservan las funciones claras de programación dinámica en todo el horizonte de planeación.

**Conclusiones:** La programación lineal es una técnica de investigación de operaciones muy utilizada en todos los campos empresariales. Esta aplicación es utilizada para garantizar la ubicación del operador logístico de un periodo a otro, con la causación única de los costos necesarios que garantizar un total mínimo para este; lo cual se puede visualizar en los datos específicos utilizados.

**Palabras clave:** logística, operador logístico, programación lineal.

### Abstract

**Context:** The location of logistics operators can become a competitive advantage for organizations as it guarantees their effective response to changes in society.

**Method:** This paper presents the formulation of the linear programming model for the location of a logistics operator in each of the periods of a planning horizon.

**Results:** Compliance with the location of the logistics operator with its respective restrictions at a minimum cost is guaranteed; in addition, to preserve the clear functions of dynamic programming throughout the planning horizon.

<sup>1</sup>Ingeniero industrial, especialista en Gerencia de Producción, magíster en Ingeniería Industrial. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Email: [hguerreros@correo.udistrital.edu.co](mailto:hguerreros@correo.udistrital.edu.co)

**Conclusions:** Linear programming is an operations research technique widely used in all business fields; for which in this application it is used to guarantee the location of the logistics operator from one period to another with the sole causation of the necessary costs that guarantee a minimum total for it. This can be visualized based on the specific data used.

**Keywords:** logistics, logistic operator, linear programming.

---

## Tabla de Contenidos

	<b>Página</b>
<b>Introducción</b>	<b>166</b>
<b>Estructura teórica</b>	<b>168</b>
Logística . . . . .	168
Desarrollo de las redes logísticas . . . . .	170
Errores de la logística . . . . .	171
Estructura de un canal logístico . . . . .	172
Programación lineal . . . . .	173
Modelo general de programación lineal . . . . .	174
Componentes del modelo general . . . . .	174
<b>Desarrollo del modelo</b>	<b>175</b>
Estructura general del modelo . . . . .	175
Subíndices del modelo . . . . .	175
Variables del modelo . . . . .	175
Parámetros del modelo . . . . .	176
Modelo general . . . . .	176
Función objetivo . . . . .	176
Restricciones del modelo . . . . .	176
Modelo específico . . . . .	178
Condiciones particulares . . . . .	178
Solución del modelo específico . . . . .	186
<b>Conclusiones</b>	<b>187</b>
<b>Referencias</b>	<b>188</b>

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, uno de los factores de competitividad para las organizaciones es el desarrollo e integración de las redes de distribución que permiten satisfacer las necesidades de los clientes, en

cuanto a cantidad, tiempo y lugar. Entre los aspectos que se requiere controlar está la distribución física, definida como el conjunto de operaciones necesarias para el desplazamiento de los productos que están organizados en diferentes cargas unitarias, desde el lugar de producción nacional o internacional, hasta el local del distribuidor en el país de destino, bajo el concepto de óptima calidad, costo razonable y entrega justo a tiempo (Chopra y Meindl, 2013). En este proceso, se requiere definir una investigación que debe estar determinada por factores de utilidad social, científica o cultural (Guadarrama, 2017); que para efectos de este proyecto se refiere a la utilidad científica de aplicación del modelo propuesto en empresas de producción, con el fin de reducir el costo total de la distribución física de los materiales y productos a través de la red logística.

Entre las ventajas de la formulación del modelo matemático están que no se requiere un gran volumen de información para poder establecer una solución óptima, y que permite evaluar el comportamiento en diferentes periodos de tiempo para establecer diferentes tendencias que tenga el mercado, lo que la convierte en una herramienta que contribuye en la toma de decisiones de las organizaciones.

Además, considerando la realidad de la información empresarial y más exactamente de los modelos generalizados, hay que enfatizar en que un modelo debe estar bien estructurado, a pesar de que hay información que difícilmente no va a estar bien determinada, pues es muy compleja su cuantificación (por ejemplo, un pronóstico exacto de demanda de un artículo en particular, la determinación de un costo de mantenimiento, costos causados por incumplimiento o niveles de satisfacción del cliente). En este sentido, se puede afirmar que el modelo planteado no debe ser estrictamente rígido, sino que debe considerar su flexibilidad para ejecutar análisis de sensibilidad de los parámetros involucrados, dado que los datos son dinámicos a través del tiempo.

También, hay que considerar los aspectos fortuitos que se puedan presentar y que son muy difíciles de establecer dentro del modelo; pero que las empresas deben tener la capacidad de respuesta rápida a fin de solucionar estos problemas. Dentro de estos aspectos casuales que se presentan se puede mencionar un cierre de una carretera, cierre o apertura de importaciones que permitan mejorar los precios de materias primas o componentes, entre otros. Estos aspectos han sido estudiados por varios autores, cuyas tendencias se esbozan a continuación.

? caracteriza una red de distribución para un operador logístico en Bogotá (Colombia), a partir de la definición de la configuración óptima de una red de entrega, que busca garantizar el cumplimiento de los objetivos de la compañía a través del mejoramiento del servicio y del costo logístico, teniendo en cuenta el tipo de producto, la forma de entrega, el tipo de sector y de industria a la que pertenece. Se toma como referencia un operador logístico que distribuye artículos de telefonía móvil.

Se establece que, para la selección del diseño de una red de entrega, se deben considerar diferentes características del producto, los eslabones, el precio, entre otros. Es importante establecer los indicadores de desempeño para evaluar el funcionamiento del proceso logístico (García Cortes, 2019).

Leiva y Velasco, 2012 proponen el diseño de una operación logística para una empresa que comercializa artículos para la línea hogar, acordes a las necesidades de los clientes, en las diferentes actividades (recepción, almacenamiento, alistamiento y despacho) que algunas organizaciones no



tienen la capacidad de ofrecer en la ciudad de Santiago de Cali (Colombia). Los autores hacen una revisión de las necesidades regionales y particulares, donde se establece que no hay la capacidad operativa frente al crecimiento del mercado. Se resaltan como factores de éxito la comunicación y la gestión entre el centro de distribución y las empresas.

Como se puede observar, la ubicación de los operadores logísticos se puede convertir en una ventaja competitiva para las organizaciones, ya que garantiza su respuesta efectiva frente a los cambios de la sociedad.

## ESTRUCTURA TEÓRICA

El desarrollo del marco teórico del presente trabajo inicia con el avance de la logística a través de los años, la cual surge en sus inicios para acompañar a las decisiones operativas de los altos mandos militares, primordialmente en Inglaterra, en la década de 1940 (Carranza *et al.*, 2009). Allí, se realizan sus primeras aplicaciones, las cuales están ligadas estrechamente a la investigación de operaciones; y su estrategia vital consistía en evitar ataques de los enemigos. A partir de allí empezó a perfeccionarse con la conformación de equipos multidisciplinares. Luego, se hace un pequeño barrido con las generalidades de la programación lineal, tema fundamental en el modelo propuesto en el presente documento.

### Logística

En las últimas dos décadas, el escenario de la logística ha cambiado con rapidez. Han surgido nuevas técnicas y pensamientos diferenciales que han sido aplicados con éxito por algunas empresas líderes de sectores. Los argumentos presentados inicialmente al respecto se orientaban a que era poco lo que los directivos de las empresas conocían sobre las oportunidades de éxito que existían para alcanzar grandes utilidades, mediante la aplicación de la logística.

Aunque, el avance y aplicación de la logística en los últimos años ha sido enorme, aún hace falta mucho en el medio colombiano, ya que falta sagacidad y emprendimiento por parte de algunos directivos de empresas. Esta área permite alcanzar resultados gerenciales de gran magnitud; pero, desafortunadamente para muchos es un territorio inexplorado.

Es importante tener en cuenta que muchas empresas (entre ellas, pymes) no han logrado integrar los procesos logísticos, sin embargo, para otras se ha convertido en un pilar para su desarrollo y crecimiento (Christopher, 2010).

Un aspecto esencial para el éxito competitivo de las empresas es el dominio de la logística, debido al acortamiento del ciclo de vida de los productos, cadenas de distribución cambiantes y tecnologías nuevas. Por tanto, el reto de la administración es atender las demandas que entran en conflicto en cada sistema y decidir si lo mejor es hacer el sistema más eficiente, equilibrarlo o rediseñarlo para un mejor funcionamiento.

Para una gran cantidad de gerentes, la logística está siendo considerada solo como el proceso desde cuando el producto sale de la firma, hasta cuando llega al consumidor final. En este enfoque se subestiman los *costos de traslado* (involucrados en el modelo de este proyecto) y almacenaje de productos semielaborados; además, de ignorar los gastos necesarios para la planeación o para operar sistemas de cómputo. Adicionalmente, se esconden las causas de entregas tardías o defectuosas, inventarios de productos terminados elevados y el hecho de que la transportación se encarece.

Todo lo expuesto, lleva a no tener en cuenta problemas de estructura como: una cantidad de almacenes mal surtidos y demoras en las entregas a los clientes.

Por ello, se debe considerar la logística como un sistema para el diseño, producción y entregas a los clientes; además de las actividades relacionadas con el movimiento de materiales, información y sistemas de control. Esto se debe realizar desde la obtención de la materia prima (proveedores) hasta la entrega final del producto al cliente. Existen dos formas de realizar el proceso: la logística convencional o tradicional, que se hace por la propia entidad; y el operador logístico, que se define como "la empresa que diseña, gestiona y controla los procesos de la cadena de suministro de otra empresa" ([Airpharm Logistics Care, 2019](#)).

Se puede entonces plantear que la logística es una actividad integral, a partir de la cual se deben tomar decisiones importantes como: producir de forma continua o por lotes, realizar una operación manual o automatizada de los almacenes, y ubicar almacenes centralizados o descentralizados. Con la aplicación de esto se obtiene un nivel de servicio alto y efectivo, el cual debe tener un costo adecuado o deseado.

Vale la pena anotar que la evaluación logística se debe realizar estratégicamente mediante la aplicación de todo tipo de métodos para la consecución de los objetivos. Debido a la complejidad, existen varios disponibles, cada uno de ellos apropiado para diferentes aspectos de la planeación estratégica de la logística.

Dentro de los aspectos primordiales a evaluar dentro de un proceso de planeación logística estratégica se pueden enumerar los siguientes:

- *Apalancamiento de la logística*. Tiene que ver con la efectividad de una empresa para distinguirse en el mercado.
- *Evaluación del impacto de los planes estratégicos*. Se relaciona con las mediciones de las consecuencias de planes logísticos alternativos.

Entre dichos métodos, se pueden mencionar el análisis de costos logísticos, modelos para toma de decisiones, instrumentos tradicionales de estrategias de manufactura, entre otros. Estos son útiles para medir el impacto de planes y soluciones propuestas, así como para determinar formas más eficientes de apoyo a la estrategia corporativa. Con ellos se pueden analizar problemas estratégicos como el número y ubicación de plantas, cantidad y ubicación de almacenes, patrones de suministro (cantidades de productos a fabricarse), métodos de transporte y niveles de inventario.

Los enfoques básicos de los modelos para toma de decisiones tienen que ver esencialmente con dos: simulación y modelos de optimización. Entre estos últimos se encuentra la programación lineal, asunto de aplicación en el presente proyecto.

La optimización es una aplicación del flujo, así como la ubicación de instalaciones de producción y operadores logísticos para una cadena de abastecimiento con todas sus restricciones y requerimientos. Para cada caso se modelan los costos de transporte, inventario y manejo. “La optimización es necesaria cuando hay un número significativo de restricciones o una red muy grande con interacciones complejas” (Christopher, 2010).

Este tipo de modelos permite adelantar análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de posibles cambios en la información de los parámetros, sobre la estructura total del sistema. Además, los costos de embarque, para las empresas en la actualidad, representan una proporción tan alta del costo total que las manufacturas, almacenes y otras instalaciones se ubican con un objetivo fundamental: reducción de costos.

### ***Desarrollo de las redes logísticas***

A comienzos de la década de 1960 (Carranza *et al.*, 2009) surge la asociación nacional de logística y distribución física estadounidense, en donde se marca la adquisición de la importancia de la logística para las empresas. En 1986, esta asociación cambia el nombre a Council of Logistics Management, la cual implementa las definiciones más completas conocidas en la disciplina de la logística.

En la evolución de la logística, se evidencian cuatro eventos asociados al desarrollo y a los aportes a las organizaciones (Pierre, 2016).

En el primer evento, denominado *fragmentación*, en 1960, se desarrollaba el estudio con base en el pronóstico de la demanda, compras, planeación de requerimientos, planeación de la producción, inventario de manufactura, almacenamiento, manejo de materiales, empaçado industrial, inventario de artículos terminados, planeación de la distribución, proceso de órdenes, transportación, servicio al cliente, planeación estratégica, tecnología de información, comercialización y ventas. A esta etapa se le denominó fragmentación debido al análisis independiente realizado a cada uno de los factores mencionados; lo cual redundaba en análisis aislados para cada factor.

Un segundo evento viene hacia el año 1980, en lo que se llamó *integración envolvente*, donde se desarrollaron los conceptos de administración de materiales y distribución física. En la administración de materiales se involucró pronóstico de la demanda, compras, planeación de requerimientos, planeación de la producción, inventario de manufactura, almacenamiento, manejo de materiales y empaçado industrial; mientras que en distribución física se agrupó almacenamiento, manejo de materiales, empaçado industrial, inventario de artículos terminados, planeación de la distribución, proceso de órdenes, transportación y servicio al cliente.

Un tercer evento se desarrolla en 1990, con la etapa denominada *integración total*, y bajo el nombre de *logística*, donde se incluye administración de materiales y distribución física. Finalmente, en el

cuarto evento, hacia el año 2000, emerge lo que hoy se conoce como *administración de la cadena de abastecimientos*, en donde se integra la logística con la planeación estratégica, tecnologías de información, comercialización y ventas.

Con base en los avances de la logística, no se puede dejar por fuera del inicio de este documento lo que hoy se conoce como logística. Según la definición promulgada por el Council of Logistics Management (Ballou, 2013) y el Concejo de Administración Logística (CLM),

[...] la logística es el proceso de planear, implementar y controlar el flujo y almacenamiento eficiente y a un costo efectivo de las materias primas, inventarios en proceso, de producto terminado e información relacionada, desde los puntos de origen hasta los de consumo; con el propósito de satisfacer las necesidades de los clientes. (p. 4)

### ***Errores de la logística***

A través del desarrollo y aplicación de la logística, se pretende evitar que se cometan errores, ya que el tiempo es oro para la logística. Dentro de los problemas más frecuentes en este aspecto se pueden mencionar los siguientes: espacio desaprovechado, falta de organización de mercancía, errores en el *picking*, falta de trazabilidad, inventario desactualizado, errores en la manipulación de la mercancía, demoras en las expediciones, señalización deficiente del almacén, kpi logísticos e incorrectos, integración con otros departamentos (ERP).

Para minimizar o evitar estos errores y generar una plataforma competitiva, se debe definir claramente los objetivos y las metas para establecer tiempos y flujos de las redes de distribución; además, tener conocimiento de las normas y programas de capacitación y unas tecnologías de información coherentes con la organización.

Algunas de las preguntas que debe contestar una buena gestión logística son:

- ¿Cuándo, dónde y cómo ampliar las instalaciones: almacenes, equipos, plantas, etc.?
- ¿Conviene centralizar o descentralizar el desarrollo de las operaciones?
- ¿Cuál es la combinación de productos y clientes que maximizan la utilidad?
- ¿Cuál es el escenario óptimo para maximizar el flujo de efectivo?
- ¿Cuál es el plan óptimo de abastecimiento, fabricación y distribución?
- ¿Cuántos centros de distribución se requieren?
- ¿En dónde deben estar ubicarlos los centros de distribución y plantas de producción?
- ¿Cuánto costará incrementar los niveles de servicio al cliente?
- ¿Para qué rutas tengo que contratar el transporte?

- ¿Cuánto inventario se necesita para abastecer la red?

Las respuestas a los anteriores interrogantes no obedecen a otra cosa que a la solución u optimización de los sistemas logísticos de las empresas, ya que durante todo el proceso debe existir un control de costos totales de la actividad de la empresa entre los cuales se pueden nombrar los siguientes (Escalante y Uribe, 2010): el costo del inventario, que incluye el costo del capital invertido y su costo financiero (además de la obsolescencia, roturas y seguros); costo de almacenaje o mantenimiento (Guerrero, 2017a); costos de preparación de pedidos, costos por transporte; costo de envase y embalaje, y los generados por todo el sistema de distribución o entrega al consumidor final.

Además, hay que tener en cuenta que en muchas empresas se trabaja con costos totales por naturaleza, mientras que el operador logístico trabaja con costos unitarios por operaciones.

### *Estructura de un canal logístico*

Un operador logístico se define como

[...] aquella empresa que diseña, organiza, gestiona y controla los procesos de una o varias fases de la cadena de suministro como lo es el aprovisionamiento, transporte, almacenaje, distribución, e incluso algunas actividades del proceso productivo, utilizando para ello infraestructuras físicas, tecnología y sistemas de información, propios o ajenos. El operador logístico responde ante su cliente de los servicios acordados y es un interlocutor directo. (Ragas, 2019, p. 12).

Entonces, el canal logístico se debe analizar como una red integrada por nodos o eventos específicos que se interceptan entre sí, en donde cada evento viene a representar las áreas específicas de la empresa como almacenes, plantas de producción, puntos de venta; y las conexiones entre ellas que representan transportes a través de los cuales se genera el flujo de los materiales o productos. Además, integrados a esta red, se deben relacionar todos los entes externos que corresponden a los clientes y puntos de entrega de productos.

Según la figura 1, después de recibir las materias primas y materiales auxiliares, el producto es manufacturado en diferentes fábricas o plantas de producción, y enviado en medios de transporte a bodegas o almacenes intermedios (operadores logísticos); desde allí, y a través de diferentes medios de transporte, es trasladado a los consumidores o puntos de venta. Dentro de esta estructura se encuentra implícita la red del flujo de información referente a demandas, pedidos a proveedores, estadísticas, niveles de inventario, plazos de entrega y contabilización entre otros aspectos fundamentales.

Las dos redes deben estar interrelacionadas y de su adecuada comunicación depende el éxito del sistema logístico. Otro aspecto fundamental a considerar es la estructura de



**Figura 1.** Estructura de un canal logístico

**Fuente:** Autores.

costos que se genera a través de toda la red, iniciando por los costos derivados de la administración de la demanda, continuando por los costos causados por el aprovisionamiento y seguidos por los costos de producción en planta, costos de transporte, costos de los inventarios y costos de distribución. (Guerrero, 2010, p. 23)

Cuando se realiza una correcta gestión en la red logística, se pueden obtener, entre muchos otros, los siguientes beneficios:

- Disminución de los costos de distribución, tanto de las plantas de producción a los almacenes temporales, como de estos a los puntos de venta.
- Minimización de costos por manejo de inventario, generados por una gestión adecuada de inventarios y la aplicación de modelos de optimización.
- Niveles adecuados de producto terminado en los puntos de venta.
- Cálculo adecuado del número de distribuidores en toda la red logística.
- Solicitud y entrega de productos, materiales y materias primas en las cantidades necesarias, en el momento adecuado y en el punto de la cadena indicado.

## Programación lineal

La programación lineal es una de las muchas técnicas de optimización de la investigación de operaciones. En esta, se realiza la distribución de una cantidad limitada de recursos entre la fabricación

de los productos de una empresa. Obviamente, se persigue un máximo de utilidad o ingreso, o un mínimo de costos. Su estructura general tiene una función objetivo y las restricciones de recursos que tenga la empresa.

### **Modelo general de programación lineal**

El modelo general de programación lineal supone la disponibilidad limitada de  $m$  recursos para la fabricación de  $n$  productos (Guerrero, 2017b).

Donde en forma generalizada se define lo siguiente:

$b_i$  = cantidad disponible del recurso  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ).

$c_j$  = costo o precio unitario del producto o actividad  $j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

$X_j$  = cantidad a fabricar del artículo  $j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

$a_{ij}$  = cantidad de recurso  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ) necesario para fabricar una unidad del artículo  $j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

Con base en lo anterior se obtiene el modelo generalizado, que en su forma estándar se expresa según las ecuaciones (1), (2) y (3):

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j \quad (1)$$

s.a.

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i \quad (2)$$

$$X_j \geq 0 \quad (3)$$

### **Componentes del modelo general**

Los componentes del modelo general de programación lineal se describen a continuación:

- *Matriz A*: contiene todos los elementos de asignación unitaria de recursos.
- *Vector X*: contiene todas las variables del problema y está definido como vector columna.
- *Vector b*: en este se involucran todas las disponibilidades de recursos o términos independientes. Está definido como un vector columna.
- *Vector C*: en este vector fila se involucran todos los coeficientes de costo, utilidad, ingreso o precio, según sea el caso
- *Vector 0*: el vector columna cero contiene tantos ceros como variables involucre el problema, y garantiza las restricciones de no negatividad.

## DESARROLLO DEL MODELO

El modelo que se plantea en el siguiente documento permite localizar operadores logísticos en un horizonte de planeación específico, donde se establece un modelo generalizado del problema de localización dinámica de instalaciones que permite tomar decisiones óptimas en cuanto a la ubicación de operadores logísticos, garantizando la maximización de las utilidades y minimización de los costos de traslado.

### Estructura general del modelo

El modelo generalizado establece la disponibilidad de  $m$  posibles alternativas de localización, para ubicar un operador logístico en una de ellas, en un horizonte de planeación de  $n$  periodos. La solución que arroja el modelo considera localizar de forma óptima un operador logístico en cada periodo del horizonte de planeación, mediante la utilización de la programación lineal; de tal forma que se consideren costos de traslado del operador logístico de un periodo al siguiente, para así obtener el máximo de utilidad en todo el horizonte de planeación.

En este problema se consideran los aspectos de recursividad a que obliga el algoritmo, ya que no se puede considerar la localización del operador logístico en una determinada ubicación sin tener en cuenta en qué sitio se encontraba en el periodo inmediatamente anterior.

El modelo realiza la ubicación óptima de un operador logístico en cada periodo del horizonte de planeación. Para ello se cuenta con  $m$  posibles sitios o ubicaciones y  $n$  posibles periodos en el horizonte de planeación.

### Subíndices del modelo

Para el modelo se definen los siguientes subíndices:

$i$  = subíndice que indica el posible sitio donde se ubicará el operador logístico. ( $i = 1, 2, \dots, m$ ).

$j$  = subíndice que indica el periodo del horizonte de planeación en que se realizará la ubicación del operador logístico ( $j = 2, 3, \dots, n$ ).

$k$  = subíndice que denota el sitio donde se ubicó el operador logístico en el periodo  $j - 1$ . (periodo inmediatamente anterior) ( $k = 1, 2, \dots, m$ ).

### Variables del modelo

Las variables involucradas en el modelo son las siguientes:

$X_{i1}$  = variable que indica ubicar el operador logístico en el sitio  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) para el período 1 del horizonte de planeación.



$X_{ijk}$  = variable que indica ubicar el operador logístico en el sitio  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), para el período  $j$  ( $j = 2, 3, \dots, n$ ); habiendo ubicado en el período anterior ( $j - 1$ ) el operador logístico en el sitio  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ ).

$Y_{ijk}$  = variable que permite disparar ó no el costo de traslado de ubicar el operador logístico en el sitio  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), para el período  $j$  ( $j = 2, 3, \dots, n$ ); habiendo ubicado en el período anterior ( $j - 1$ ) el operador logístico en el sitio  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ ). Este costo de traslado se dispara si  $i \neq k$  y no se dispara si  $i = k$ .

$Y_{i1}$  = variable que dispara el costo de traslado por ubicar el operador logístico en el sitio  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), para el periodo 1.

### Parámetros del modelo

Los parámetros que se involucran en el modelo son:  $C_{i1}$  = utilidad bruta generada por ubicar el operador logístico en el sitio  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), para el período 1 del horizonte de planeación.

$C_{ijk}$  = utilidad bruta generada por ubicar el operador logístico en el sitio  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), para el período  $j$  ( $j = 2, 3, \dots, n$ ); habiendo ubicado en el período anterior ( $j - 1$ ), el operador logístico en el sitio  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ ).

$F_{ijk}$  = costo de traslado generado por ubicar el operador logístico en el sitio  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), para el período  $j$  ( $j = 2, 3, \dots, n$ ); habiendo ubicado en el período anterior ( $j - 1$ ) el operador logístico en el sitio  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ ).

$F_{i1}$  = costo de traslado por ubicar el operador logístico en el sitio  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), para el periodo 1.

### Modelo general

#### Función objetivo

La función objetivo del modelo tiene que ver con maximizar la utilidad neta generada por las ubicaciones del operador logístico a través de todo el horizonte de planeación, ya que se dispone de una utilidad bruta por ubicar en los diferentes sitios posibles y los costos de traslado de un periodo a otro, en el evento en que se causan. La función objetivo se establece mediante la ecuación (4):

$$Max Z = \sum_{i=1}^m C_{i1}X_{i1} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=2}^n \sum_{k=1}^m C_{ijk}X_{ijk} - \sum_{i=1}^m F_{i1}Y_{i1} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=2}^n \sum_{k=1}^m F_{ijk}Y_{ijk} \quad (4)$$

#### Restricciones del modelo

Para garantizar una solución óptima del modelo se deben considerar los siguientes tipos de restricciones:

Restricciones que garantizan una sola ubicación en cada período. Entre las que hay que considerar las siguientes:

$$\sum_{i=1}^m X_{i1} = 1 \quad (5)$$

Garantiza una ubicación para el periodo 1:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m X_{ijk} = 1 \quad \forall j = 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

Garantiza una ubicación para los periodos  $j = 2, 3, 4, \dots, n$ .

Restricciones que garantizan la recursividad.

Este tipo de restricciones garantiza la causación o no del costo de traslado y, además, permite tomar una ruta correcta; esto es, que asignado el operador  $i$  en el periodo  $j$ , para el periodo siguiente tome en cuenta esa ubicación. Por ejemplo, si la ubicación en el periodo 1 se realiza en el sitio 3, para ubicar en el periodo 2 no debe tener en cuenta ubicaciones diferentes al sitio 3 en el periodo 1. Dentro de estas restricciones hay que tener en cuenta las siguientes:

$$X_{i1} + \sum_{i=1}^m \sum_{k \neq 1}^m X_{ijk} \leq 1 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, m \quad y \quad j = 2 \quad (7)$$

Garantiza la recursividad del periodo 1 con el 2.

$$X_{i,j-1,k} + \sum_{i=1}^m \sum_{k \neq i}^m X_{ijk} \leq 1 \quad \forall j = 3, 4, \dots, n; \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, m \quad y \quad \forall k = 1, 2, 3, \dots, m \quad (8)$$

Garantizan la recursividad del periodo 2 con el 3, del periodo 3 con el 4, del periodo 4 con el 5, hasta el periodo  $n - 1$  con el  $n$ .

Restricciones que disparan o no el costo de traslado de un periodo a otro.

$$X_{i1} - Y_{i1} = 0 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (9)$$

Dispara el costo de ubicación en el periodo 1.

$$X_{ijk} - Y_{ijk} = 0 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, m; \quad \forall j = 2, 3, \dots, n \quad y \quad \forall k = 1, 2, 3, \dots, m \quad (10)$$

Dispara o no el costo de traslado de las ubicaciones en los periodos 2, 3, 4, ...,  $n - 1$  y  $n$  del horizonte de planeación.

Restricciones para variables binarias:

$$X_{i1} = 0 \text{ ó } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (11)$$

$$X_{ijk} = 0 \text{ ó } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, m; \quad \forall j = 2, 3, \dots, n \quad y \quad \forall k = 1, 2, 3, \dots, m \quad (12)$$

$$Y_{i1} = 0 \text{ ó } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots m. \quad (13)$$

$$Y_{ijk} = 0 \text{ ó } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots m; \quad \forall j = 2, 3, \dots n \text{ y } \forall k = 1, 2, 3, \dots m \quad (14)$$

## Modelo específico

### Condiciones particulares

Supóngase que se tienen 4 posibles ubicaciones para realizar una ubicación en los próximos 4 años. El modelo específico para  $m = 4$  sitios o posibles ubicaciones y  $n = 4$  años queda de la siguiente manera (utilizando las ecuaciones 4 a 14):

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^4 C_{i1} X_{i1} + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=2}^4 \sum_{k=1}^4 C_{ijk} X_{ijk} - \sum_{i=1}^4 F_{i1} Y_{i1} - \sum_{i=1}^4 \sum_{j=2}^4 \sum_{k=1}^4 F_{ijk} Y_{ijk}$$

S.A.

Restricciones que garantizan una sola ubicación en cada año.

$$\sum_{i=1}^4 X_{i1} = 1.$$

Garantiza una ubicación para el año 1.

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{k=1}^4 X_{ijk} = 1 \quad \forall j = 2, 3 \text{ y } 4.$$

Garantiza una ubicación para los años 2, 3 y 4. Restricciones que garantizan la recursividad.

$$X_{i1} + \sum_{i=1}^4 \sum_{k \neq i}^4 X_{ijk} \leq 1 \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4 \text{ y } j = 2.$$

Garantiza la recursividad del año 1 con el año 2.

$$X_{i,j-1,k} + \sum_{i=1}^4 \sum_{k \neq i}^4 X_{ijk} \leq 1 \quad \forall j = 3 \text{ y } 4; \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4 \text{ y } \forall k = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$$

Garantizan la recursividad del año 2 con el 3, y del año 3 con el 4.

Restricciones que disparan o no el costo de traslado de un año a otro.

$X_{i1} - Y_{i1} = 0 \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$  Dispara el costo de ubicación en el periodo 1.

$X_{ijk} - Y_{ijk} = 0 \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4; \quad \forall j = 2, 3 \text{ y } 4 \text{ y } \forall k = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$  Dispara o no el costo de traslado de las ubicaciones en los años 2, 3 y 4 del horizonte de planeación.

Restricciones para variables binarias.

$$X_{i1} = 0 \text{ o } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$$

$$X_{ijk} = 0 \text{ o } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4; \quad \forall j = 2, 3 \text{ y } 4 \quad \text{y} \quad \forall k = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$$

$$Y_{i1} = 0 \text{ o } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$$

$$Y_{ijk} = 0 \text{ o } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4; \quad \forall j = 2, 3 \text{ y } 4 \quad \text{y} \quad \forall k = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$$

Resolviendo todas las sumatorias el modelo respectivo para  $m = 4$  y  $n = 4$  queda como aparece a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & C_{11}X_{11} + C_{21}X_{21} + C_{31}X_{31} + C_{41}X_{41} + C_{121}X_{121} + C_{122}X_{122} + C_{123}X_{123} + C_{124}X_{124} \\ & + C_{131}X_{131} + C_{132}X_{132} + C_{133}X_{133} + C_{134}X_{134} + C_{141}X_{141} + C_{142}X_{142} + C_{143}X_{143} + C_{144}X_{144} \\ & + C_{221}X_{221} + C_{222}X_{222} + C_{223}X_{223} + C_{224}X_{224} + C_{231}X_{231} + C_{232}X_{232} + C_{233}X_{233} + C_{234}X_{234} \\ & + C_{241}X_{241} + C_{242}X_{242} + C_{243}X_{243} + C_{244}X_{244} + C_{321}X_{321} + C_{322}X_{322} + C_{323}X_{323} + C_{324}X_{324} \\ & + C_{331}X_{331} + C_{332}X_{332} + C_{333}X_{333} + C_{334}X_{334} + C_{341}X_{341} + C_{342}X_{342} + C_{343}X_{343} + C_{344}X_{344} \\ & + C_{421}X_{421} + C_{422}X_{422} + C_{423}X_{423} + C_{424}X_{424} + C_{431}X_{431} + C_{432}X_{432} + C_{433}X_{433} + C_{434}X_{434} \\ & + C_{441}X_{441} + C_{442}X_{442} + C_{443}X_{443} + C_{444}X_{444} - F_{11}Y_{11} - F_{21}Y_{21} - F_{31}Y_{31} - F_{41}Y_{41} - F_{121}Y_{121} \\ & - F_{122}Y_{122} - F_{123}Y_{123} - F_{124}Y_{124} - F_{131}Y_{131} - F_{132}Y_{132} - F_{133}Y_{133} - F_{134}Y_{134} - F_{141}Y_{141} \\ & - F_{142}Y_{142} - F_{143}Y_{143} - F_{144}Y_{144} - F_{221}Y_{221} - F_{222}Y_{222} - F_{223}Y_{223} - F_{224}Y_{224} - F_{231}Y_{231} \\ & - F_{232}Y_{232} - F_{233}Y_{233} - F_{234}Y_{234} - F_{241}Y_{241} - F_{242}Y_{242} - F_{243}Y_{243} - F_{244}Y_{244} - F_{321}Y_{321} \\ & - F_{322}Y_{322} - F_{323}Y_{323} - F_{324}Y_{324} - F_{331}Y_{331} - F_{332}Y_{332} - F_{333}Y_{333} - F_{334}Y_{334} - F_{341}Y_{341} \\ & - F_{342}Y_{342} - F_{343}Y_{343} - F_{344}Y_{344} - F_{421}Y_{421} - F_{422}Y_{422} - F_{423}Y_{423} - F_{424}Y_{424} - F_{431}Y_{431} \\ & - F_{432}Y_{432} - F_{433}Y_{433} - F_{434}Y_{434} - F_{441}Y_{441} - F_{442}Y_{442} - F_{443}Y_{443} - F_{444}Y_{444}. \end{aligned}$$

S.A.

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} = 1.$$

$$X_{121} + X_{122} + X_{123} + X_{124} + X_{221} + X_{222} + X_{223} + X_{224} + X_{321} + X_{322} + X_{323} + X_{324} + X_{421} + X_{422} + X_{423} + X_{424} = 1$$

$$X_{131} + X_{132} + X_{133} + X_{134} + X_{231} + X_{232} + X_{233} + X_{234} + X_{331} + X_{332} + X_{333} + X_{334} + X_{431} + X_{432} + X_{433} + X_{434} = 1.$$

$$X_{141} + X_{142} + X_{143} + X_{144} + X_{241} + X_{242} + X_{243} + X_{244} + X_{341} + X_{342} + X_{343} + X_{344} + X_{441} + X_{442} + X_{443} + X_{444} = 1.$$

$$X_{11} + X_{122} + X_{123} + X_{124} + X_{222} + X_{223} + X_{224} + X_{322} + X_{323} + X_{324} + X_{422} + X_{423} + X_{424} \leq 1.$$

$$X_{21} + X_{121} + X_{123} + X_{124} + X_{221} + X_{223} + X_{224} + X_{321} + X_{323} + X_{324} + X_{421} + X_{423} + X_{424} \leq 1.$$

$$X_{31} + X_{121} + X_{122} + X_{124} + X_{221} + X_{222} + X_{224} + X_{321} + X_{322} + X_{324} + X_{421} + X_{422} + X_{424} \leq 1.$$

$$X_{41} + X_{121} + X_{122} + X_{123} + X_{221} + X_{222} + X_{223} + X_{321} + X_{322} + X_{323} + X_{421} + X_{422} + X_{423} \leq 1.$$

$$X_{121} + X_{132} + X_{133} + X_{134} + X_{232} + X_{233} + X_{234} + X_{332} + X_{333} + X_{334} + X_{432} + X_{433} + X_{434} \leq 1.$$

$$X_{122} + X_{132} + X_{133} + X_{134} + X_{232} + X_{233} + X_{234} + X_{332} + X_{333} + X_{334} + X_{432} + X_{433} + X_{434} \leq 1.$$

$$X_{123} + X_{132} + X_{133} + X_{134} + X_{232} + X_{233} + X_{234} + X_{332} + X_{333} + X_{334} + X_{432} + X_{433} + X_{434} \leq 1.$$

$$X_{124} + X_{132} + X_{133} + X_{134} + X_{232} + X_{233} + X_{234} + X_{332} + X_{333} + X_{334} + X_{432} + X_{433} + X_{434} \leq 1.$$

$$X_{221} + X_{131} + X_{133} + X_{134} + X_{231} + X_{233} + X_{234} + X_{331} + X_{333} + X_{334} + X_{431} + X_{433} + X_{434} \leq 1.$$

$$X_{222} + X_{131} + X_{133} + X_{134} + X_{231} + X_{233} + X_{234} + X_{331} + X_{333} + X_{334} + X_{431} + X_{433} + X_{434} \leq 1.$$

$$X_{223} + X_{131} + X_{133} + X_{134} + X_{231} + X_{233} + X_{234} + X_{331} + X_{333} + X_{334} + X_{431} + X_{433} + X_{434} \leq 1.$$

$$X_{224} + X_{131} + X_{133} + X_{134} + X_{231} + X_{233} + X_{234} + X_{331} + X_{333} + X_{334} + X_{431} + X_{433} + X_{434} \leq 1.$$

$$X_{321} + X_{131} + X_{132} + X_{134} + X_{231} + X_{232} + X_{234} + X_{331} + X_{332} + X_{334} + X_{431} + X_{432} + X_{434} \leq 1.$$

$$X_{322} + X_{131} + X_{132} + X_{134} + X_{231} + X_{232} + X_{234} + X_{331} + X_{332} + X_{334} + X_{431} + X_{432} + X_{434} \leq 1.$$

$$X_{323} + X_{131} + X_{132} + X_{134} + X_{231} + X_{232} + X_{234} + X_{331} + X_{332} + X_{334} + X_{431} + X_{432} + X_{434} \leq 1.$$

$$X_{324} + X_{131} + X_{132} + X_{134} + X_{231} + X_{232} + X_{234} + X_{331} + X_{332} + X_{334} + X_{431} + X_{432} + X_{434} \leq 1.$$

$$X_{421} + X_{131} + X_{132} + X_{133} + X_{231} + X_{232} + X_{233} + X_{331} + X_{332} + X_{333} + X_{431} + X_{432} + X_{433} \leq 1.$$

$$X_{422} + X_{131} + X_{132} + X_{133} + X_{231} + X_{232} + X_{233} + X_{331} + X_{332} + X_{333} + X_{431} + X_{432} + X_{433} \leq 1.$$

$$X_{423} + X_{131} + X_{132} + X_{133} + X_{231} + X_{232} + X_{233} + X_{331} + X_{332} + X_{333} + X_{431} + X_{432} + X_{433} \leq 1.$$

$$X_{424} + X_{131} + X_{132} + X_{133} + X_{231} + X_{232} + X_{233} + X_{331} + X_{332} + X_{333} + X_{431} + X_{432} + X_{433} \leq 1.$$

$$X_{131} + X_{142} + X_{143} + X_{144} + X_{242} + X_{243} + X_{244} + X_{342} + X_{343} + X_{344} + X_{442} + X_{443} + X_{444} \leq 1.$$

$$X_{132} + X_{142} + X_{143} + X_{144} + X_{242} + X_{243} + X_{244} + X_{342} + X_{343} + X_{344} + X_{442} + X_{443} + X_{444} \leq 1.$$

$$X_{133} + X_{142} + X_{143} + X_{144} + X_{242} + X_{243} + X_{244} + X_{342} + X_{343} + X_{344} + X_{442} + X_{443} + X_{444} \leq 1.$$

$$X_{134} + X_{142} + X_{143} + X_{144} + X_{242} + X_{243} + X_{244} + X_{342} + X_{343} + X_{344} + X_{442} + X_{443} + X_{444} \leq 1.$$

$$X_{231} + X_{141} + X_{143} + X_{144} + X_{241} + X_{243} + X_{244} + X_{341} + X_{343} + X_{344} + X_{441} + X_{443} + X_{444} \leq 1.$$

$$X_{232} + X_{141} + X_{143} + X_{144} + X_{241} + X_{243} + X_{244} + X_{341} + X_{343} + X_{344} + X_{441} + X_{443} + X_{444} \leq 1.$$

$$X_{233} + X_{141} + X_{143} + X_{144} + X_{241} + X_{243} + X_{244} + X_{341} + X_{343} + X_{344} + X_{441} + X_{443} + X_{444} \leq 1.$$

$$X_{234} + X_{141} + X_{143} + X_{144} + X_{241} + X_{243} + X_{244} + X_{341} + X_{343} + X_{344} + X_{441} + X_{443} + X_{444} \leq 1.$$

$$X_{331} + X_{141} + X_{142} + X_{144} + X_{241} + X_{242} + X_{244} + X_{341} + X_{342} + X_{344} + X_{441} + X_{442} + X_{444} \leq 1.$$

$$X_{332} + X_{141} + X_{142} + X_{144} + X_{241} + X_{242} + X_{244} + X_{341} + X_{342} + X_{344} + X_{441} + X_{442} + X_{444} \leq 1.$$

$$X_{333} + X_{141} + X_{142} + X_{144} + X_{241} + X_{242} + X_{244} + X_{341} + X_{342} + X_{344} + X_{441} + X_{442} + X_{444} \leq 1.$$

$$X_{334} + X_{141} + X_{142} + X_{144} + X_{241} + X_{242} + X_{244} + X_{341} + X_{342} + X_{344} + X_{441} + X_{442} + X_{444} \leq 1.$$

$$X_{431} + X_{141} + X_{142} + X_{143} + X_{241} + X_{242} + X_{243} + X_{341} + X_{342} + X_{343} + X_{441} + X_{442} + X_{443} \leq 1.$$

$$X_{432} + X_{141} + X_{142} + X_{143} + X_{241} + X_{242} + X_{243} + X_{341} + X_{342} + X_{343} + X_{441} + X_{442} + X_{443} \leq 1.$$

$$X_{433} + X_{141} + X_{142} + X_{143} + X_{241} + X_{242} + X_{243} + X_{341} + X_{342} + X_{343} + X_{441} + X_{442} + X_{443} \leq 1.$$

$$X_{434} + X_{141} + X_{142} + X_{143} + X_{241} + X_{242} + X_{243} + X_{341} + X_{342} + X_{343} + X_{441} + X_{442} + X_{443} \leq 1.$$

$$X_{11} - Y_{11} = 0. X_{21} - Y_{21} = 0. X_{31} - Y_{31} = 0. X_{41} - Y_{41} = 0. X_{121} - Y_{121} = 0. X_{122} - Y_{122} = 0.$$

$$X_{123} - Y_{123} = 0. X_{124} - Y_{124} = 0. X_{131} - Y_{131} = 0. X_{132} - Y_{132} = 0. X_{133} - Y_{133} = 0.$$

$$X_{134} - Y_{134} = 0. X_{141} - Y_{141} = 0. X_{142} - Y_{142} = 0. X_{143} - Y_{143} = 0. X_{144} - Y_{144} = 0.$$

$$X_{221} - Y_{221} = 0. X_{222} - Y_{222} = 0. X_{223} - Y_{223} = 0. X_{224} - Y_{224} = 0. X_{231} - Y_{231} = 0.$$

$$X_{232} - Y_{232} = 0. X_{233} - Y_{233} = 0. X_{234} - Y_{234} = 0. X_{241} - Y_{241} = 0. X_{242} - Y_{242} = 0.$$

$$\begin{aligned}
 X_{243} - Y_{243} = 0. \quad X_{244} - Y_{244} = 0. \quad X_{321} - Y_{321} = 0. \quad X_{322} - Y_{322} = 0. \quad X_{323} - Y_{323} = 0. \\
 X_{324} - Y_{324} = 0. \quad X_{331} - Y_{331} = 0. \quad X_{332} - Y_{332} = 0. \quad X_{333} - Y_{333} = 0. \quad X_{334} - Y_{334} = 0. \\
 X_{341} - Y_{341} = 0. \quad X_{342} - Y_{342} = 0. \quad X_{343} - Y_{343} = 0. \quad X_{344} - Y_{344} = 0. \quad X_{421} - Y_{421} = 0. \\
 X_{422} - Y_{422} = 0. \quad X_{423} - Y_{423} = 0. \quad X_{424} - Y_{424} = 0. \quad X_{431} - Y_{431} = 0. \quad X_{432} - Y_{432} = 0. \\
 X_{433} - Y_{433} = 0. \quad X_{434} - Y_{434} = 0. \quad X_{441} - Y_{441} = 0. \quad X_{442} - Y_{442} = 0. \quad X_{443} - Y_{443} = 0. \\
 X_{444} - Y_{444} = 0.
 \end{aligned}$$

$$X_{i1} = 0 \text{ o } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$$

$$X_{ijk} = 0 \text{ o } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4; \forall j = 2, 3 \text{ y } 4 \text{ y } \forall k = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$$

$$Y_{i1} = 0 \text{ o } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$$

$$Y_{ijk} = 0 \text{ o } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4; \forall j = 2, 3 \text{ y } 4 \text{ y } \forall k = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$$

Supóngase que la información de utilidades brutas para la compañía Sigma, por la ubicación de un operador logístico en las 4 localizaciones posibles (A, B, C y D), en el horizonte de planeación de 4 años, es como se detalla en la tabla 1.

**Tabla 1.** Utilidades brutas por ubicación del operador logístico

Alternativas de localización	Utilidad proyectada en el horizonte de planeación			
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
A	COP 500 000	COP 712 000	COP 900 000	COP 1 200 000
B	COP 525 000	COP 698 000	COP 897 000	COP 1 146 000
C	COP 486 000	COP 702 000	COP 901 000	COP 1 312 000
D	COP 512 000	COP 650 000	COP 917 000	COP 1 300 000

Además, se sabe que el costo de movilización o traslado del operador logístico es de COP 125 000, y que el costo del capital por año se ha avaluado en un 18 %. Con base en estos datos, los costos de traslado del operador logístico de un año a otro, calculados con base en flujos inversos netos en el horizonte de planeación, son los que se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2.** Costos de traslado del operador logístico

Año	Costo del traslado
1	COP 125 000,00
2	COP 105 932,20
3	COP 89 773,05
4	COP 76 078,86

Llevando los datos de utilidad bruta y costos de traslado al modelo, se obtiene el siguiente planteamiento:

$$\begin{aligned}
 Max\ Z = & 500000X_{11} + 525000X_{21} + 486000X_{31} + 512000X_{41} + 712000X_{121} + 712000X_{122} \\
 & + 712000X_{123} + 712000X_{124} + 900000X_{131} + 900000X_{132} + 900000X_{133} + 900000X_{134} \\
 & + 1200000X_{141} + 1200000X_{142} + 1200000X_{143} + 1200000X_{144} + 698000X_{221} + 698000X_{222} \\
 & + 698000X_{223} + 698000X_{224} + 897000X_{231} + 897000X_{232} + 897000X_{233} + 897000X_{234} \\
 & + 1146000X_{241} + 1146000X_{242} + 1146000X_{243} + 1146000X_{244} + 702000X_{321} + 702000X_{322} \\
 & + 702000X_{323} + 702000X_{324} + 901000X_{331} + 901000X_{332} + 901000X_{333} + 901000X_{334} \\
 & + 1312000X_{341} + 1312000X_{342} + 1312000X_{343} + 1312000X_{344} + 650000X_{421} + 650000X_{422} \\
 & + 650000X_{423} + 650000X_{424} + 917000X_{431} + 917000X_{432} + 917000X_{433} + 917000X_{434} \\
 & + 1300000X_{441} + 1300000X_{442} + 1300000X_{443} + 1300000X_{444} - 125000Y_{11} - 125000Y_{21} - \\
 & 125000Y_{31} - 125000Y_{41} - 0Y_{121} - 105932,2Y_{122} - 105932,2Y_{123} - 105932,2Y_{124} - 0Y_{131} - \\
 & 89773,05Y_{132} - 89773,05Y_{133} - 89773,05Y_{134} - 0Y_{141} - 76078,86Y_{142} - 76078,86Y_{143} - \\
 & 76078,86Y_{144} - 105932,2Y_{221} - 0Y_{222} - 105932,2Y_{223} - 105932,2Y_{224} - 89773,05Y_{231} - 0Y_{232} - \\
 & 89773,05Y_{233} - 89773,05Y_{234} - 76078,86Y_{241} - 0Y_{242} - 76078,86Y_{243} - 76078,86Y_{244} - \\
 & 105932,2Y_{321} - 105932,2Y_{322} - 0Y_{323} - 105932,2Y_{324} - 89773,05Y_{331} - 89773,05Y_{332} - 0Y_{333} - \\
 & 89773,05Y_{334} - 76078,86Y_{341} - 76078,86Y_{342} - 0Y_{343} - 76078,86Y_{344} - 105932,2Y_{421} - \\
 & 105932,2Y_{422} - 105932,2Y_{423} - 0Y_{424} - 89773,05Y_{431} - 89773,05Y_{432} - 89773,05Y_{433} - 0Y_{434} - \\
 & 76078,86Y_{441} - 76078,86Y_{442} - 76078,86Y_{443} - 0Y_{444}.
 \end{aligned}$$

S.A.

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} = 1.$$

$$X_{121} + X_{122} + X_{123} + X_{124} + X_{221} + X_{222} + X_{223} + X_{224} + X_{321} + X_{322} + X_{323} + X_{324} + X_{421} + X_{422} + X_{423} + X_{424} = 1$$

$$X_{131} + X_{132} + X_{133} + X_{134} + X_{231} + X_{232} + X_{233} + X_{234} + X_{331} + X_{332} + X_{333} + X_{334} + X_{431} + X_{432} + X_{433} + X_{434} = 1.$$



$$X_{141} + X_{142} + X_{143} + X_{144} + X_{241} + X_{242} + X_{243} + X_{244} + X_{341} + X_{342} + X_{343} + X_{344} + X_{441} + X_{442} + X_{443} + X_{444} = 1.$$

$$X_{11} + X_{122} + X_{123} + X_{124} + X_{222} + X_{223} + X_{224} + X_{322} + X_{323} + X_{324} + X_{422} + X_{423} + X_{424} \leq 1$$

$$X_{21} + X_{121} + X_{123} + X_{124} + X_{221} + X_{223} + X_{224} + X_{321} + X_{323} + X_{324} + X_{421} + X_{423} + X_{424} \leq 1$$

$$X_{31} + X_{121} + X_{122} + X_{124} + X_{221} + X_{222} + X_{224} + X_{321} + X_{322} + X_{324} + X_{421} + X_{422} + X_{424} \leq 1$$

$$X_{41} + X_{121} + X_{122} + X_{123} + X_{221} + X_{222} + X_{223} + X_{321} + X_{322} + X_{323} + X_{421} + X_{422} + X_{423} \leq 1$$

$$X_{121} + X_{132} + X_{133} + X_{134} + X_{232} + X_{233} + X_{234} + X_{332} + X_{333} + X_{334} + X_{432} + X_{433} + X_{434} \leq 1$$

$$X_{122} + X_{132} + X_{133} + X_{134} + X_{232} + X_{233} + X_{234} + X_{332} + X_{333} + X_{334} + X_{432} + X_{433} + X_{434} \leq 1$$

$$X_{123} + X_{132} + X_{133} + X_{134} + X_{232} + X_{233} + X_{234} + X_{332} + X_{333} + X_{334} + X_{432} + X_{433} + X_{434} \leq 1$$

$$X_{124} + X_{132} + X_{133} + X_{134} + X_{232} + X_{233} + X_{234} + X_{332} + X_{333} + X_{334} + X_{432} + X_{433} + X_{434} \leq 1$$

$$X_{221} + X_{131} + X_{133} + X_{134} + X_{231} + X_{233} + X_{234} + X_{331} + X_{333} + X_{334} + X_{431} + X_{433} + X_{434} \leq 1$$

$$X_{222} + X_{131} + X_{133} + X_{134} + X_{231} + X_{233} + X_{234} + X_{331} + X_{333} + X_{334} + X_{431} + X_{433} + X_{434} \leq 1$$

$$X_{223} + X_{131} + X_{133} + X_{134} + X_{231} + X_{233} + X_{234} + X_{331} + X_{333} + X_{334} + X_{431} + X_{433} + X_{434} \leq 1$$

$$X_{224} + X_{131} + X_{133} + X_{134} + X_{231} + X_{233} + X_{234} + X_{331} + X_{333} + X_{334} + X_{431} + X_{433} + X_{434} \leq 1$$

$$X_{321} + X_{131} + X_{132} + X_{134} + X_{231} + X_{232} + X_{234} + X_{331} + X_{332} + X_{334} + X_{431} + X_{432} + X_{434} \leq 1$$

$$X_{322} + X_{131} + X_{132} + X_{134} + X_{231} + X_{232} + X_{234} + X_{331} + X_{332} + X_{334} + X_{431} + X_{432} + X_{434} \leq 1$$

$$X_{323} + X_{131} + X_{132} + X_{134} + X_{231} + X_{232} + X_{234} + X_{331} + X_{332} + X_{334} + X_{431} + X_{432} + X_{434} \leq 1$$

$$X_{324} + X_{131} + X_{132} + X_{134} + X_{231} + X_{232} + X_{234} + X_{331} + X_{332} + X_{334} + X_{431} + X_{432} + X_{434} \leq 1$$

$$X_{421} + X_{131} + X_{132} + X_{133} + X_{231} + X_{232} + X_{233} + X_{331} + X_{332} + X_{333} + X_{431} + X_{432} + X_{433} \leq 1$$

$$X_{422} + X_{131} + X_{132} + X_{133} + X_{231} + X_{232} + X_{233} + X_{331} + X_{332} + X_{333} + X_{431} + X_{432} + X_{433} \leq 1$$

$$X_{423} + X_{131} + X_{132} + X_{133} + X_{231} + X_{232} + X_{233} + X_{331} + X_{332} + X_{333} + X_{431} + X_{432} + X_{433} \leq 1$$

$$X_{424} + X_{131} + X_{132} + X_{133} + X_{231} + X_{232} + X_{233} + X_{331} + X_{332} + X_{333} + X_{431} + X_{432} + X_{433} \leq 1$$

$$X_{131} + X_{142} + X_{143} + X_{144} + X_{242} + X_{243} + X_{244} + X_{342} + X_{343} + X_{344} + X_{442} + X_{443} + X_{444} \leq 1$$

$$X_{132} + X_{142} + X_{143} + X_{144} + X_{242} + X_{243} + X_{244} + X_{342} + X_{343} + X_{344} + X_{442} + X_{443} + X_{444} \leq 1$$

$$X_{133} + X_{142} + X_{143} + X_{144} + X_{242} + X_{243} + X_{244} + X_{342} + X_{343} + X_{344} + X_{442} + X_{443} + X_{444} \leq 1$$

$$X_{134} + X_{142} + X_{143} + X_{144} + X_{242} + X_{243} + X_{244} + X_{342} + X_{343} + X_{344} + X_{442} + X_{443} + X_{444} \leq 1$$

$$X_{231} + X_{141} + X_{143} + X_{144} + X_{241} + X_{243} + X_{244} + X_{341} + X_{343} + X_{344} + X_{441} + X_{443} + X_{444} \leq 1$$

$$X_{232} + X_{141} + X_{143} + X_{144} + X_{241} + X_{243} + X_{244} + X_{341} + X_{343} + X_{344} + X_{441} + X_{443} + X_{444} \leq 1$$

$$X_{233} + X_{141} + X_{143} + X_{144} + X_{241} + X_{243} + X_{244} + X_{341} + X_{343} + X_{344} + X_{441} + X_{443} + X_{444} \leq 1$$

$$X_{234} + X_{141} + X_{143} + X_{144} + X_{241} + X_{243} + X_{244} + X_{341} + X_{343} + X_{344} + X_{441} + X_{443} + X_{444} \leq 1$$

$$X_{331} + X_{141} + X_{142} + X_{144} + X_{241} + X_{242} + X_{244} + X_{341} + X_{342} + X_{344} + X_{441} + X_{442} + X_{444} \leq 1$$

$$X_{332} + X_{141} + X_{142} + X_{144} + X_{241} + X_{242} + X_{244} + X_{341} + X_{342} + X_{344} + X_{441} + X_{442} + X_{444} \leq 1$$

$$X_{333} + X_{141} + X_{142} + X_{144} + X_{241} + X_{242} + X_{244} + X_{341} + X_{342} + X_{344} + X_{441} + X_{442} + X_{444} \leq 1$$

$$X_{334} + X_{141} + X_{142} + X_{144} + X_{241} + X_{242} + X_{244} + X_{341} + X_{342} + X_{344} + X_{441} + X_{442} + X_{444} \leq 1$$

$$X_{431} + X_{141} + X_{142} + X_{143} + X_{241} + X_{242} + X_{243} + X_{341} + X_{342} + X_{343} + X_{441} + X_{442} + X_{443} \leq 1$$

$$X_{432} + X_{141} + X_{142} + X_{143} + X_{241} + X_{242} + X_{243} + X_{341} + X_{342} + X_{343} + X_{441} + X_{442} + X_{443} \leq 1$$

$$X_{433} + X_{141} + X_{142} + X_{143} + X_{241} + X_{242} + X_{243} + X_{341} + X_{342} + X_{343} + X_{441} + X_{442} + X_{443} \leq 1$$

$$X_{434} + X_{141} + X_{142} + X_{143} + X_{241} + X_{242} + X_{243} + X_{341} + X_{342} + X_{343} + X_{441} + X_{442} + X_{443} \leq 1$$

$$X_{11} - Y_{11} = 0. \quad X_{21} - Y_{21} = 0. \quad X_{31} - Y_{31} = 0. \quad X_{41} - Y_{41} = 0. \quad X_{121} - Y_{121} = 0.$$

$$X_{122} - Y_{122} = 0. \quad X_{123} - Y_{123} = 0. \quad X_{124} - Y_{124} = 0. \quad X_{131} - Y_{131} = 0. \quad X_{132} - Y_{132} = 0.$$

$$X_{133} - Y_{133} = 0. \quad X_{134} - Y_{134} = 0. \quad X_{141} - Y_{141} = 0. \quad X_{142} - Y_{142} = 0. \quad X_{143} - Y_{143} = 0.$$

$$X_{144} - Y_{144} = 0. \quad X_{221} - Y_{221} = 0. \quad X_{222} - Y_{222} = 0. \quad X_{223} - Y_{223} = 0. \quad X_{224} - Y_{224} = 0.$$

$$X_{231} - Y_{231} = 0. \quad X_{232} - Y_{232} = 0. \quad X_{233} - Y_{233} = 0. \quad X_{234} - Y_{234} = 0. \quad X_{241} - Y_{241} = 0.$$

$$X_{242} - Y_{242} = 0. \quad X_{243} - Y_{243} = 0. \quad X_{244} - Y_{244} = 0. \quad X_{321} - Y_{321} = 0. \quad X_{322} - Y_{322} = 0.$$

$$X_{323} - Y_{323} = 0. \quad X_{324} - Y_{324} = 0. \quad X_{331} - Y_{331} = 0. \quad X_{332} - Y_{332} = 0. \quad X_{333} - Y_{333} = 0.$$

$$X_{334} - Y_{334} = 0. \quad X_{341} - Y_{341} = 0. \quad X_{342} - Y_{342} = 0. \quad X_{343} - Y_{343} = 0. \quad X_{344} - Y_{344} = 0.$$

$$X_{421} - Y_{421} = 0. \quad X_{422} - Y_{422} = 0. \quad X_{423} - Y_{423} = 0. \quad X_{424} - Y_{424} = 0. \quad X_{431} - Y_{431} = 0.$$

$$X_{432} - Y_{432} = 0. \quad X_{433} - Y_{433} = 0. \quad X_{434} - Y_{434} = 0. \quad X_{441} - Y_{441} = 0. \quad X_{442} - Y_{442} = 0.$$

$$X_{443} - Y_{443} = 0. \quad X_{444} - Y_{444} = 0.$$

$$X_{i1} = 0 \text{ ó } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$$

$$X_{ijk} = 0 \text{ ó } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4; \quad \forall j = 2, 3 \text{ y } 4 \text{ y } \forall k = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$$

$$Y_{i1} = 0 \text{ ó } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$$

$$Y_{ijk} = 0 \text{ ó } 1. \quad \forall i = 1, 2, 3 \text{ y } 4; \quad \forall j = 2, 3 \text{ y } 4 \text{ y } \forall k = 1, 2, 3 \text{ y } 4.$$

### **Solución del modelo específico**

El desarrollo del presente documento no pretendía generar ningún *software*, sino un modelo para la ubicación de operadores logísticos a través de un horizonte de planeación. Por tanto, en este aspecto se recomienda utilizar el paquete WINQSB para obtener las soluciones de los diferentes planteamientos, con base en el número de localizaciones disponibles para ubicar los operadores logísticos y la cantidad de periodos del horizonte de planeación; así como la información de utilidades brutas y costos de traslado que se deben establecer con antelación. A partir del reporte generado con WINQSB para el ejemplo de la compañía Sigma utilizado en el ítem anterior, se interpreta lo siguiente:

$X_{31} = 1$ . Indica que en el año 1 el operador logístico se debe ubicar en el sitio C.

$X_{323} = 1$ . Indica que en el año 2 el operador logístico se debe ubicar en el sitio C, y que en el año 1 se ubicó en el sitio C.

$X_{333} = 1$ . Indica que en el año 3 el operador logístico se debe ubicar en el sitio C, y que en el año 2 se ubicó en el sitio C.

$X_{343} = 1$ . Indica que en el año 4 el operador logístico se debe ubicar en el sitio C, y que en el periodo 3 se ubicó en el sitio C.

$Y_{31} = 1$ . Hace causar el costo de ubicar en el año 1, el operador logístico en el sitio C.

$Y_{323} = 1$ . Hace causar el costo de traslado del operador logístico del sitio C en el año 1, al sitio C en el año 2. Como se puede observar, realmente no hay traslado, porque el operador no cambia de sitio del año 1 al año 2; por lo tanto, no hay costo de traslado. Esto se puede verificar con base en la función objetivo del modelo, pues esta variable tiene como coeficiente "cero".

$Y_{333} = 1$ . Hace causar el costo de traslado del operador logístico del sitio C en el año 2, al sitio C en el año 3. Como se puede observar, realmente no hay traslado porque el operador no cambia de sitio del año 2 al año 3; por lo tanto, no hay costo de traslado. Esto se puede verificar con base en la función objetivo del modelo, pues esta variable tiene como coeficiente "cero".

$Y_{343} = 1$ . Hace causar el costo de traslado del operador logístico del sitio C en el año 3, al sitio C en el año 4. Como se puede observar, realmente no hay traslado porque el operador no cambia de sitio del año 3 al año 4; por tanto, no hay costo de traslado. Esto se puede verificar con base en la función objetivo del modelo, pues esta variable tiene como coeficiente “cero”.

A partir de la solución anterior, se observa que el único costo que se causa es el de la ubicación del primer año, pues de ahí en adelante no se cambia la ubicación del operador logístico. En la tabla 3 se detalla la ubicación óptima del operador logístico en los cuatro años del horizonte de planeación, junto con la utilidad bruta generada.

**Tabla 3.** Ubicación óptima del operador logístico

Año	Ubicación	Utilidad bruta
1	C	COP 486 000
2	C	COP 702 000
3	C	COP 901 000
4	C	COP 1 312 000
<b>Total</b>		COP 3 401 000

La utilidad neta total para la ubicación del operador logístico en el horizonte de planeación es de COP 3.276.000 que se obtiene de COP 3 401 000 menos COP 125 000. Este último dato es el único costo de ubicación o traslado que se causa. El valor de utilidad neta total es justamente el mismo arrojado como máximo valor de la función objetivo por el *WINQSB*.

## CONCLUSIONES

El desarrollo del presente proyecto permite concluir lo siguiente:

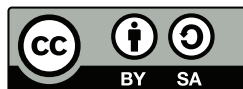
- El modelo aplicado sí garantiza tener en cuenta las restricciones de recursividad de la localización de los operadores logísticos a través de todo el horizonte de planeación. Con base en la solución de la aplicación realizada, se puede observar este hecho, pues  $X_{31}$  indica ubicar en el sitio C para el año 1;  $X_{323}$  especifica la ubicación en el sitio C para el año 2, habiendo ubicado en el año 1 en el sitio C (esto lo indica el tercer subíndice de la variable);  $X_{333}$  establece ubicar en el año 3 en el sitio C (primer subíndice de la variable), dado que en el año 2 se ubicó en C (tercer subíndice de la variable y lo mismo ocurre con la ubicación del cuarto año). Todo lo anterior se hizo para un ejemplo específico; pero se garantiza el modelo sin importar la cantidad de ubicaciones disponibles y el número de periodos del horizonte de planeación.

- El modelo propuesto permite concluir que solo se causan los costos de traslado en el evento que haya cambio de ubicación del operador logístico de un año a otro. En caso contrario, como en la aplicación realizada, causará costo de “cero”.

## REFERENCIAS





- [Airpharm Logistics Care, 2019] Airpharm Logistics Care. (10 de agosto de 2019). *¿Qué es un operador logístico? ¿Qué funciones tiene?* <https://www.airpharmlogistics.com/que-es-operador-logistico/> ↑Ver página 169
- [Ballou, 2013] Ballou, Ronald H. (2013). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. Pearson. ↑Ver página 171
- [Carranza et al., 2009] Carranza, O. et al. (2009). *Logística, mejores prácticas en Latinoamérica*. 2.<sup>a</sup> ed. Editorial Thomson. ↑Ver página 168, 170
- [Chopra y Meindl, 2013] Chopra, S. y Meindl, P. (2013). *Administración de la cadena de suministro: estrategia, planeación y operación*. Editorial Pearson. ↑Ver página 167
- [Christopher, 2010] Christopher, M. (2010). *Logistics and supply chain management*. Pearson Education Inc. ↑Ver página 168, 170
- [Escalante y Uribe, 2010] Escalante Gómez, J. E. y Uribe Marín, R. (2014). *Costos logísticos*. Ecoe Ediciones. ↑Ver página 172
- [García Cortes, 2019] García Cortes, J. G. (2019). *Caracterización de una red de distribución para un operador logístico en Bogotá* [Tesis de grado]. Repositorio de la Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/29> ↑Ver página 167
- [Guadarrama, 2017] Guadarrama González, P. (2017). *Dirección y asesoría de la investigación científica*. Magisterio Editorial. ↑Ver página 167
- [Guerrero, 2010] Guerrero Salas, H. (2010). *Diseño de un modelo teórico de estructuración de redes vinculadas en logística para la distribución física* [Tesis de maestría]. Repositorio de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3750> ↑Ver página 173
- [Guerrero, 2017a] Guerrero Salas, H. (2017a). *Inventarios, manejo y control*. 2.<sup>a</sup> ed. Ecoe Ediciones. ↑Ver página 172
- [Guerrero, 2017b] Guerrero Salas, H. (2017b). *Programación lineal aplicada*. 2.<sup>a</sup> ed. Ecoe Ediciones. ↑Ver página 174

- [Leiva y Velasco, 2012] Leiva Infante, E. y Velasco Cabrera, C. A. (2012). *Propuesta de diseño de operación logística para una empresa que comercializa artículos para la línea hogar* [Tesis de maestría]. Repositorio de la Universidad Icesi. [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/simple-search?filterquery=Trabajos+de+grado&filtername=subject&filtertype>equals](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/simple-search?filterquery=Trabajos+de+grado&filtername=subject&filtertype>equals) ↑Ver página 167
- [Pierre, 2016] Pierre, D. (2016). *Logística internacional. Administración de operaciones de comercio internacional*. Cengage Learning. ↑Ver página 170
- [Ragas, 2019] Ragas Prat, I. (2019). *Logística urbana: manual para operadores logísticos y administraciones públicas*. Alpha Editorial S.A. ↑Ver página 172



## From Sustainable Development to Social Responsibility: A perspective of Scientific Production Indicators and General Interest in Spanish

### Del desarrollo sostenible a la responsabilidad social: una perspectiva de indicadores de producción científica e interés general en español

José Andrés Gómez-Romero <sup>1</sup>, Rosa María Rivas-García <sup>2</sup>, Adriana Valencia-Valencia <sup>3</sup>,  
Hugo Armando Frago-Cano <sup>4</sup>, Omar García-Jiménez <sup>5</sup>, José Carlos Alberto Ortiz-Acle <sup>6</sup>

Fecha de Recepción: 04 de enero de 2022

Fecha de Aceptación: 04 de julio de 2022

**Cómo citar:** Gómez-Romero, J.A. Rivas-García, R.M. Valencia-Valencia, A. Frago-Cano, H.A. García-Jiménez, O. y Ortiz-Acle, J.C.A. (2022). From Sustainable Development to Social Responsibility: A perspective of Scientific Production Indicators and General Interest in Spanish. *Tecnura*, 26(74), 190-212. <https://doi.org/10.14483/22487638.18113>

## Abstract

**Context:** In the last decades, one has the impression that the term *sustainable development* has evolved towards social responsibility and that the activities carried out by organizations and institutions are very similar. Nevertheless, this paper presents a theoretical discussion of the contribution of social responsibility. The question of this research is: through indicators of general interest and scientific production, it is possible to determine the evolution of sustainable development towards social responsibility?

<sup>1</sup>Industrial Engineer, Master of Industrial Engineering, PhD in Management Sciences. Representative of the Directorate of the Hydroelectric Projects Coordination (CPH), part of the Federal Electricity Commission (CFE). Mexico City, Mexico.  
Email: [jose.gomez@cfe.mx](mailto:jose.gomez@cfe.mx)

<sup>2</sup>Bachelor of Tourism, Master of Science in Business Administration, PhD in Management Sciences. Research professor at Instituto Politécnico Nacional (IPN), Mexico City, Mexico.  
Email: [rrivasg@ipn.mx](mailto:rrivasg@ipn.mx)

<sup>3</sup>Bachelor of Psychology, Master's in Management and Development of Education. Digital Product Manager at Macmillan, Mexico City, Mexico.  
Email: [avalenciavale@gmail.com](mailto:avalenciavale@gmail.com)

<sup>4</sup>Computer Systems Engineer, Master's in Project Management, PhD in Management Sciences. Coordinator of the Enterprise Project Management Office at Televisa group by Itera, Mexico City, Mexico. Project management professional (PMP) and Professor at Universidad Tecnológica (UNITEC), Mexico City, Mexico.  
Email: [harmasoho@gmail.com](mailto:harmasoho@gmail.com)

<sup>5</sup>Public accountant, MSc in Administration, PhD in Management Sciences. Leader of the academic body in training *Innovation and strategic development in organizations* of Tecnológico Nacional de México (TNM), State of Mexico, Mexico.  
Email: [gealosma@uis.edu.co](mailto:gealosma@uis.edu.co)

<sup>6</sup>Mechanical Electrical Engineer, PhD in Management Sciences from Instituto Politécnico Nacional (IPN), Mexico City, Mexico.  
Email: [osortac@gmail.com](mailto:osortac@gmail.com)

**Methodology:** Using the non-participatory method of secondary data analysis, secondary data from articles in the Redalyc, WorldCat, Microsoft Academic, Scopus, and Web of Science databases and specialized books on the topics were analyzed. Google Ngram Viewer and Google Trends were used to compare the variations of the indicators of scientific production and interest.

**Results:** Through secondary data analysis, it was possible to establish indicators of general interest and scientific production. A discussion is presented on the evolution of sustainable development towards social responsibility.

**Conclusions:** The results showed that the evolution of sustainable development towards social responsibility was not surpassed over time, except at some moments and in specific geographical locations.

**Keywords:** General interest, scientific production, social responsibility, sustainable development.

---

## Resumen

**Contexto:** En las últimas décadas, se tiene la impresión de que el término desarrollo sustentable ha evolucionado hacia la responsabilidad social y que las actividades que realizan las organizaciones e instituciones son muy similares. No obstante, este artículo presenta una discusión teórica sobre la contribución de la responsabilidad social. La pregunta de esta investigación es: a través de indicadores de interés general y producción científica, ¿es posible determinar la evolución del desarrollo sustentable hacia la responsabilidad social?

**Metodología:** Utilizando métodos no participativos de análisis de datos secundarios, se analizaron datos secundarios de artículos en las bases de datos Redalyc, WorldCat, Microsoft Academic, Scopus, Web of Science y libros especializados en los temas. Se utilizaron Google Ngram Viewer y Google Trends para comparar las variaciones de los indicadores de interés general y producción científica.

**Resultados:** A través del análisis de datos secundarios, fue posible establecer indicadores de interés general y producción científica. Se presenta una discusión sobre la evolución del desarrollo sustentable hacia la responsabilidad social.

**Conclusiones:** Los resultados mostraron que la evolución del desarrollo sustentable hacia la responsabilidad social no fue superada a través del tiempo, salvo en algunos momentos y lugares geográficos específicos.

**Palabras clave:** interés general, producción científica, responsabilidad social, desarrollo sostenible.

---

## Table of Contents

	Page
<b>Introduction</b>	<b>192</b>
<b>Background</b>	<b>192</b>
Definition of terms . . . . .	194
Research question . . . . .	195
<b>Methodology</b>	<b>195</b>
Scientific production . . . . .	195
Book production . . . . .	196
General interest . . . . .	196



---

<b>Results</b>	<b>197</b>
Result analysis . . . . .	197
Production of scientific articles . . . . .	198
Book production . . . . .	201
General interest in the terms . . . . .	202
<b>Discussion</b>	<b>204</b>
<b>Conclusions</b>	<b>205</b>
<b>References</b>	<b>206</b>

## INTRODUCTION

For more than two decades, an evolution of sustainable development towards social responsibility has been perceived. This has been due to the remarkable similarities in the activities carried out by organizations and institutions in favor of sustainable development and social responsibility.

Even though these actions can be of great benefit to companies, there is no shared understanding that they are a priority to contribute to sustainable development. With the declaration given by former UN Secretary-General Kofi Annan at the end of the 20<sup>th</sup> century (UN, 2018) and the establishment of the Global Compact at the beginning of the 21<sup>st</sup>, the concept of social responsibility started to evolve. It was then that experts and organizations began to discuss about their contribution to sustainable development. To analyze the change in these terms, a historical overview of the particularities that differentiate and assimilate them was carried out.

## BACKGROUND

Figure 1 shows a chronology of events on the terms *sustainable development and social responsibility*, as well as terms that are considered to be transcendental in their evolution.

In 1864, Perkins, in his work *Man and Nature*, coined the term *environment*. According to Riechmann and Fernández (1994), in 1947, UNESCO founded the Provisional International Union for the Protection of Nature. In 1949, the United Nations organized the first conference to address environmental issues, which was held in Lake Success, New York. In 1953, Bowen, in his book *Social Responsibilities of the Businessman*, referred to *social responsibility* and the approach to corporate responsibility through philanthropy (Tamames, 1977). In 1968, in Paris, UNESCO held the first International Conference on the Biosphere, with the participation of more than 60 representatives from different countries. In the same year, the Club of Rome was established, which was made up of a multidisciplinary group of planners, businessmen, economists, sociologists, geneticists, and political scientists, among others (Foladori & Pierre, 2005). According to Sanchs (1981), in 1972, in Stockholm,

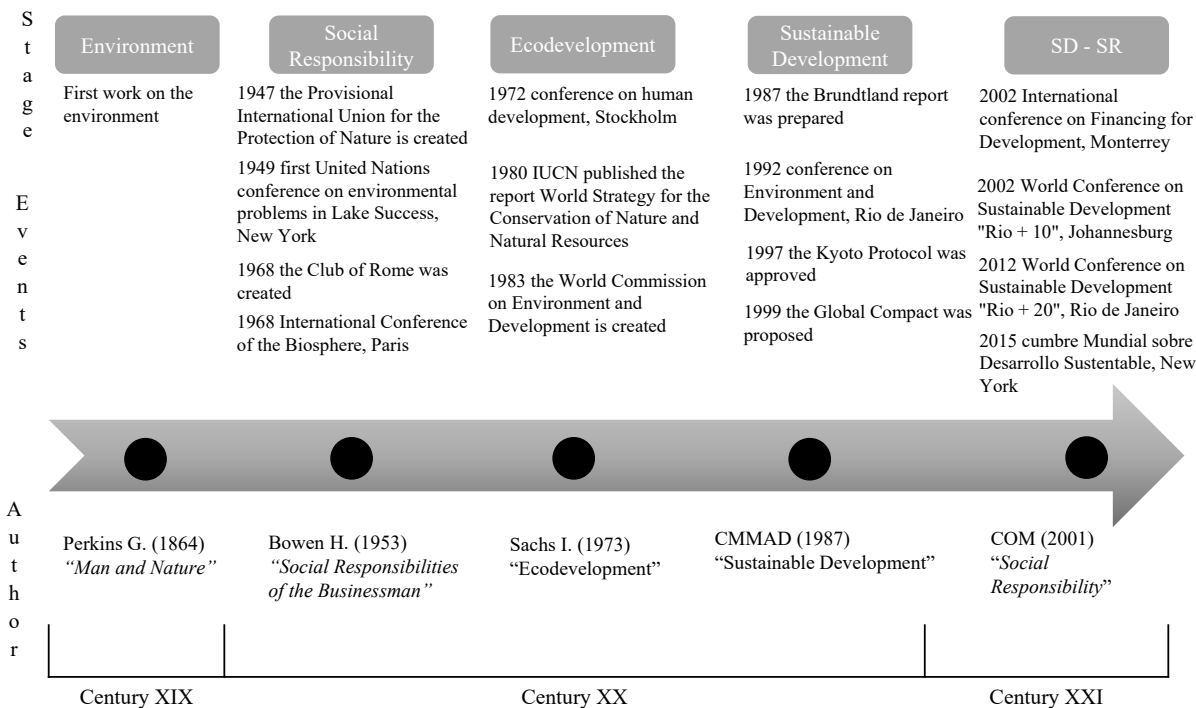


Figure 1. Sustainable development and social responsibility timeline

Source: Adapted from Gómez & Garduño, 2020.

the UN held a conference on the human environment, which established the definition of the term *eco-development*. The International Union for the Conservation of Nature (IUCN, 1980) released the report *World Strategy for the Conservation of Nature and Natural Resources* was released. In 1983, the World Commission on Environment and Development was created (WCED, 1987).

The term sustainable development was coined in Our Common Future, a report prepared for the WCED, 1987. In 1992, in Rio de Janeiro, the first UN Conference on Environment and Development was held (WCED, 1993). On December 11<sup>th</sup>, 1997, the Kyoto Protocol was approved. Its main objective was for developed nations to reduce their greenhouse gas emissions by 5%. At the 1999 World Economic Forum, the former UN Secretary-General Kofi Annan once again promoted social responsibility by declaring that transnational corporations, which are the first beneficiaries of economic liberalization, must share part of the responsibility to address the social and environmental consequences derived from their activities (UN, 2018).

In 2000, the UN began to implement the Global Compact, a voluntary initiative that advocates for social responsibility. With this implementation, companies and other organizations committed to

aligning their strategies and operations with the universal principles of human rights, labor standards, environment, and anti-corruption ([Global Compact, 2017](#)). In 2001, the European Commission published the *Green Paper*, which promotes a framework for social responsibility ([COM, 2011](#)). In 2002, the International Conference on Financing for Development was held in Monterrey, where the importance of social responsibility was recognized ([UN, 2002](#)) as cited in Wolfersberger, 2005. In 2002, in Johannesburg, the second World Conference on Sustainable Development Rio +10 was held. Its objective was to promote actions that would achieve sustainable development in the 21<sup>st</sup> century, and one of the topics discussed was social responsibility. In 2012, in Rio de Janeiro, the third World Conference on Sustainable Development Rio+20 ([UN, n.d.](#)) was held. On September 2015, in New York, the World Summit on Sustainable Development was held, and the *2030 Agenda for Sustainable Development* was approved with 17 sustainable development goals ([UN, 2019](#), [Sánchez et al., 2020](#)).

### Definition of terms

Before all else, it is important to specify that, although some attempts have been made to differentiate between the Spanish terms *desarrollo sustentable* (sustainable development) and *desarrollo sostenible* (sustainability), both terms tend to be applied and defined similarly, as indicated in *Our Common Future*, based on their geographic location, their application in different disciplines, and their permanence over time ([Gómez & Garduño, 2020](#)). In Spanish translation, *desarrollo sustentable* (sustainable development) is used, and, in Mexico, as in other Latin American nations, *desarrollo sostenible* (sustainability) was adopted. Nevertheless, the same definition is used for both translations as published by the UN ([Larrouyet, 2015](#), [García et al., 2021](#)). Therefore, this document regards them as similar, and the definition given by [WCED, 1987](#) is used, which considers that sustainable development is that which meets the needs of the present, without compromising future generations' ability to meet their own needs.

Concerning the term *social responsibility*, some attempts have also been made to differentiate between *responsabilidad social empresarial* (companies' social responsibility) and *responsabilidad social corporative* (corporate social responsibility), relying on the different legal meanings of company and corporation ([Crespo, 2010](#)). In most cases, these terms are used without distinction. As a result, in this document, such terms are considered to be synonyms of social responsibility, and the definition given by the European Commission is used ([COM, 2011](#)): *social responsibility* is the voluntary integration of social and environmental standpoints into everyday company operations and interactions with stakeholders, which is performed by companies given their impact on society.

The literature on sustainable development and social responsibility is vast, and there are no single, globally accepted definitions of the terms. Indistinctly, the theoretical debate is extensive and is constantly being reviewed. The turmoil of companies, organizations, and researchers is to think that any activities promoted in favor of sustainable development and social responsibility are similar. In this sense, [Elkington \(1999\)](#) and [Villegas and Parapinski \(2013\)](#) argue that a sustainable management

model must consider the impact of company operations in three dimensions: economic, social, and environmental.

### Research question

Considering the fundamentals, the definitions of the terms, and the evolution of sustainable development towards social responsibility, an analysis was carried out on the evolution of both terms using indicators of time, geography, and discipline.

The objective of this document is to determine whether the term *sustainable development* has evolved into the term *social responsibility*, in order to verify whether organizations and institutions contribute to the management of sustainable development.

From this perspective, the following research question was formulated:

*Which indicators determine the evolution of the term sustainable development toward the term social responsibility?*

To address this question, the methodology shown was based on the non-participatory method of secondary data analysis, supported by scientific databases and trend software. These non-participatory methods were then applied to analyze secondary data. In this vein, this paper presents the results obtained from the indicators, as well as a discussion and some concluding remarks.

## METHODOLOGY

This research has a descriptive scope, as it is based on quantitative data obtained from non-participatory methods, such as secondary data analysis, which involves the review of physical or electronic files, public records, and documents (Hernández *et al.*, 2010). According to Cabrera *et al.* (2016), non-participatory methods are strategies that study the behavior of users without their knowledge. These methods employ usage statistics software, customer service records, analysis of search sections, and mental and people models. Based on the work by Pérez, 2016, it is necessary to establish indicators for the evolution of a concept using trend software and scientific databases to show the evolutionary patterns of interest in a topic or discipline over time.

### Scientific production

Scientific production on a topic is an indicator of the interest aroused by a discipline. However, it is not always so. Scientific production is affected by external factors (research areas imposed in funded calls or institutional interests) which impact the research topic and the amount produced in each period, which is known as an *academic bubble* (Baker *et al.*, 2012). The annual variation in the production of scientific articles and books on a certain topic is part of the evolution of a discipline.

For [Easterby \*et al.\* \(2012\)](#), a literature review is a decisive step in structuring the type of research. In this sense, [Webster & Watson, 2002](#) argue that this literature review is the basis for creating and advancing knowledge, allowing the development of theory to solve problems in various areas of research and identify those that require an in-depth investigation. For [Martínez and Moyano \(2014\)](#), the search for scientific articles can be executed through logical operators using scientific databases, via the text in the abstract and title.

## Book production

To obtain the book production indicator on a specific topic, the Google Books Ngram Viewer software was used. According to [Google Books Ngram Viewer \(2020a\)](#), this software consults the information in the Google Books database and shows the content of the books, which may range from 1500 to 2019.

In the recent literature, references were found which propose the application of computer tools to determine the interest in a topic or discipline over time. Google Books Ngram Viewer has been used by the following authors: [Wijaya and Yeniterzi \(2011\)](#), who carried out a quantitative analysis of culture using millions of books; [Wijaya and Yeniterzi \(2011\)](#), who conducted studies on the use of books through the semantic changes of words over time; [Lin \*et al.\* \(2012\)](#), presented the new edition of Google Books Ngram Viewer, along with its features and examples of use; [Greenfield \(2013\)](#), who used it to evaluate the predictions made by theory on the changing psychology of culture between rural and urban populations; ([Pérez, 2016](#)), who used it to indicate the production of books on the subject of knowledge management; [Pettit \(2016\)](#), who conducted a study on the culture of psychology and its variation over time; and [Younes and Reips \(2018\)](#), who provided evidenced of the long-term affiliation between ecological and cultural changes in German-speaking countries, based on the theory of social change and human development.

## General interest

The quantitative progress of searches carried out on the Internet can be studied as an indicator of general interest in a given topic ([Pérez, 2016](#)). [Google Trends \(2020a\)](#) is a search trend software that examines historical trends by location and category while using a search proportion scale of 0 to 100.

Google Trends has been used by the following authors: [Choi and Varian \(2012\)](#), who showed its use in forecasting short-term economic indicators; [Preis \*et al.\* \(2013\)](#), who quantified market performance through searches that detect early warning signs; [Dehkordy \*et al.\* \(2014\)](#), who used it as a source of information to monitor and investigate public health of breast cancer; [Linkov \*et al.\* \(2014\)](#), who showed the interest of the population in bariatric surgery, thus helping to improve medical care and services through the use of information; [Pérez, 2016](#), who presented a public interest indicator of knowledge management; [Justel \*et al.\* \(2018\)](#), who analyzed the news related to Donald Trump and

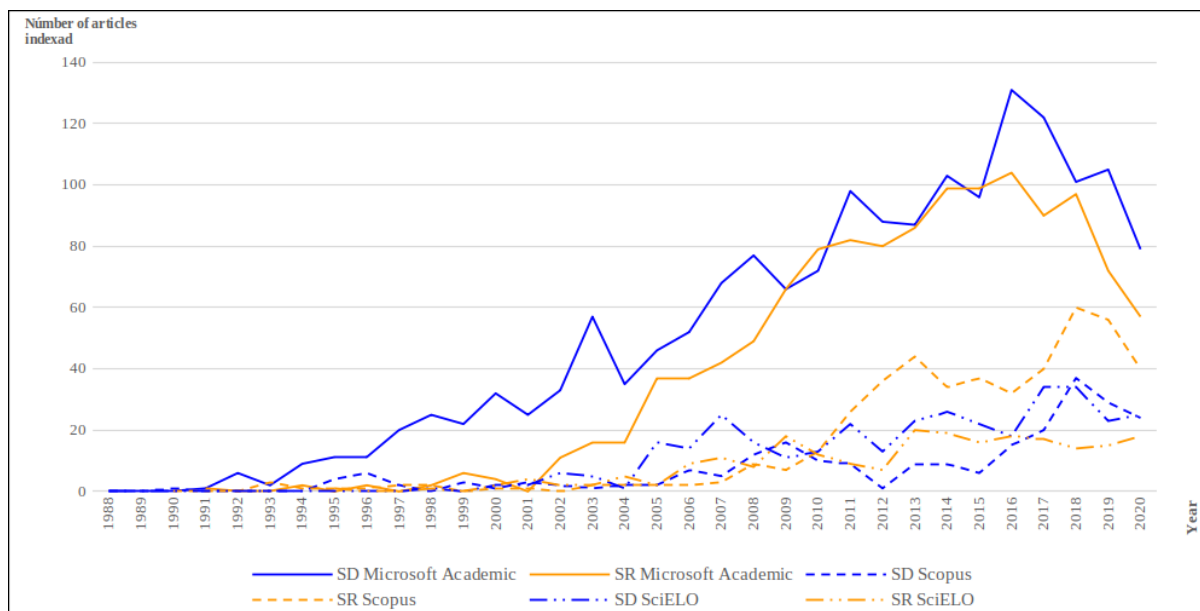
North Korea, the Border Wall with Mexico, and climate change; [Mavragani and Ochoa \(2019\)](#), who presented the first methodological framework in the use of Google Trends in infodemiology and infovigilance; and [Lu et al. \(2019\)](#), who developed a model to predict the occurrence of the avian influenza epidemic.

## RESULTS

The results of the indicators of general interest and scientific production are shown in this section. It is through scientific databases and trend software that the evolutionary patterns of interest are incorporated. To establish the evolution of sustainable development and sustainability (SD) and social responsibility (SR), the variability of the general interest and the annual scientific production of books and articles was analyzed.

### Result analysis

While preparing the annual scientific production indicator, information was obtained from more than 48.000 articles from 1990 to 2020 in different databases. It was observed that 56,6 % of these use the term *sustainable development*, and 43,4 % use *social responsibility*.



**Figure 2.** Production of indexed articles between 1990 and 2020 in SciELO, Scopus, and Microsoft Academic

**Source:** [Scopus \(2020\)](#), [Web of Science \(2020\)](#), and [Microsoft Academic \(2020\)](#).

### Production of scientific articles

To determine the annual production of scientific articles, it was necessary to refer to the main databases: Web of Science (SciELO), Scopus, and Microsoft Academic, which stand out above the rest for their visibility and prestige. Since the approval of articles on SD and SR in Spanish is rare in the databases indicated above, the WorldCat and Redalyc databases were used to improve the query. A triple search was carried out for the Spanish terms *desarrollo sustentable*, *desarrollo sostenible*, and *responsabilidad social* between 1990 and 2020, obtaining six data series (see Figure 2).

Out of the 4.191 articles, 69,6 % are in the Microsoft Academic database, 16,5 % in Scopus, and 13,9 % in SciELO. The analysis was divided into three time periods: from 1988 to 1999, 3,56 % were published; from 2000 to 2009, 24,1 %; and from 2010 to 2020, 72,35 %. Regarding the use of the terms, 54,12 % of the articles use SD and 45,9 % use SR.

As for analyzing the geographic indicator, Microsoft Academic was excluded, as it does not provide information by country. Figure 3 shows the geographic analysis of the SciELO and Scopus databases for SD and SR.

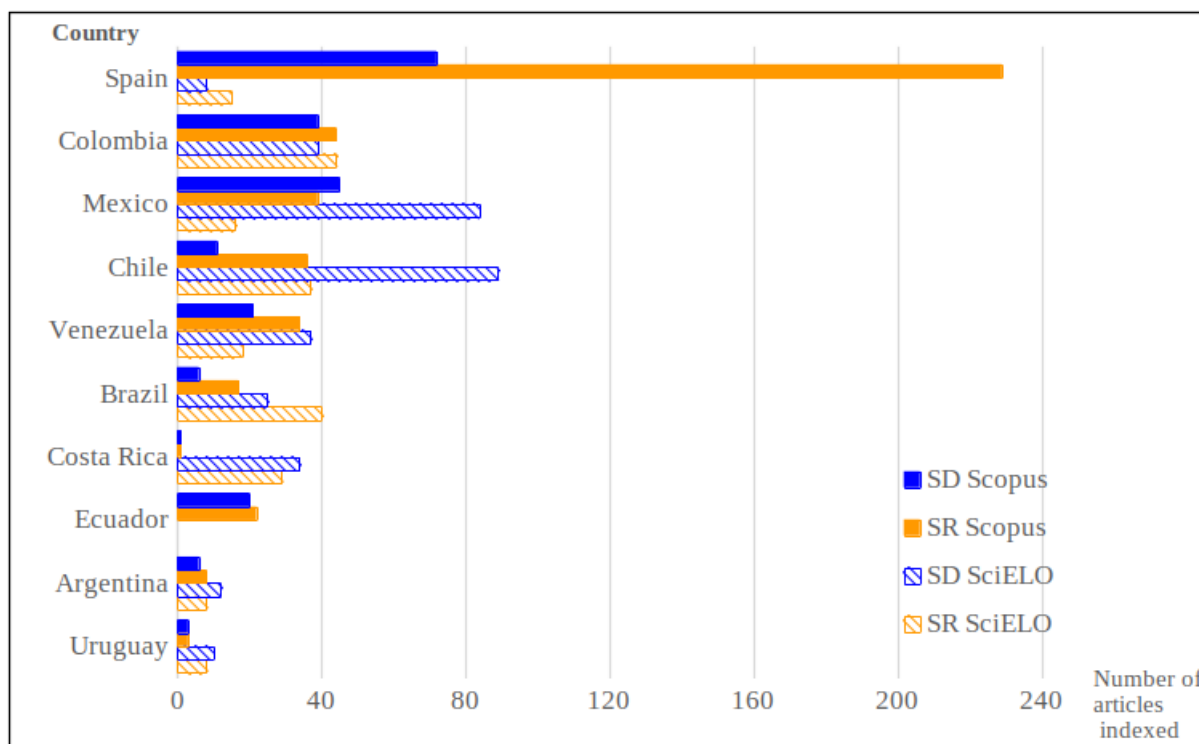


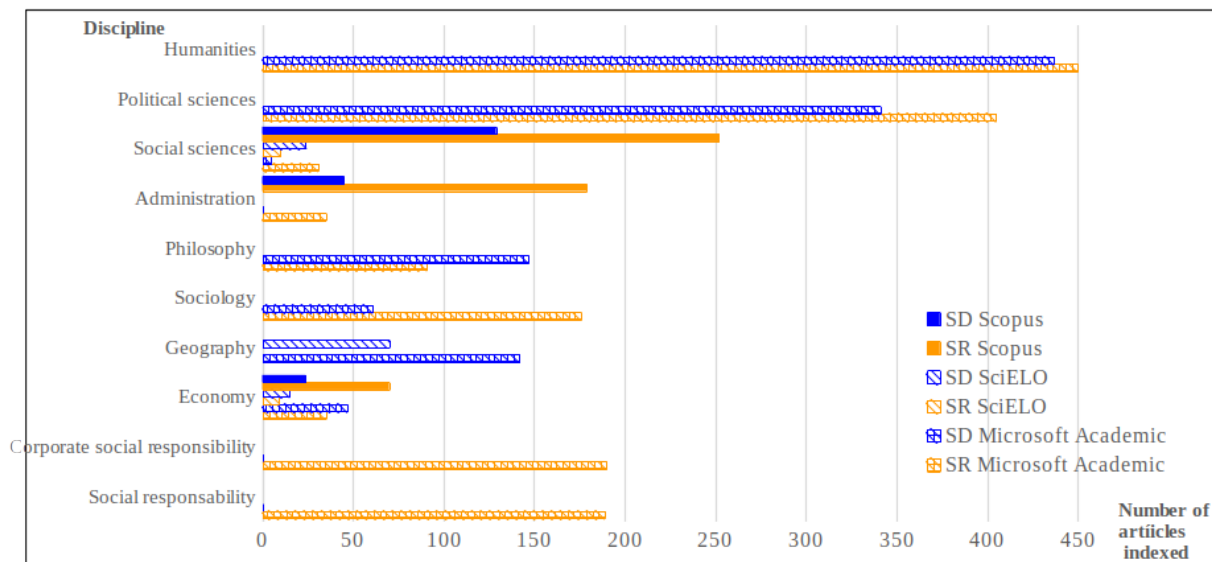
Figure 3. Comparison of SD and SR by country in SciELO and Scopus

Source: Scopus (2020) and Web of Science (2020).

Out of the 28 countries that have records in the SciELO and Scopus databases, only the first 10 countries with the highest number of articles are presented, representing 92,25 % of the total re-

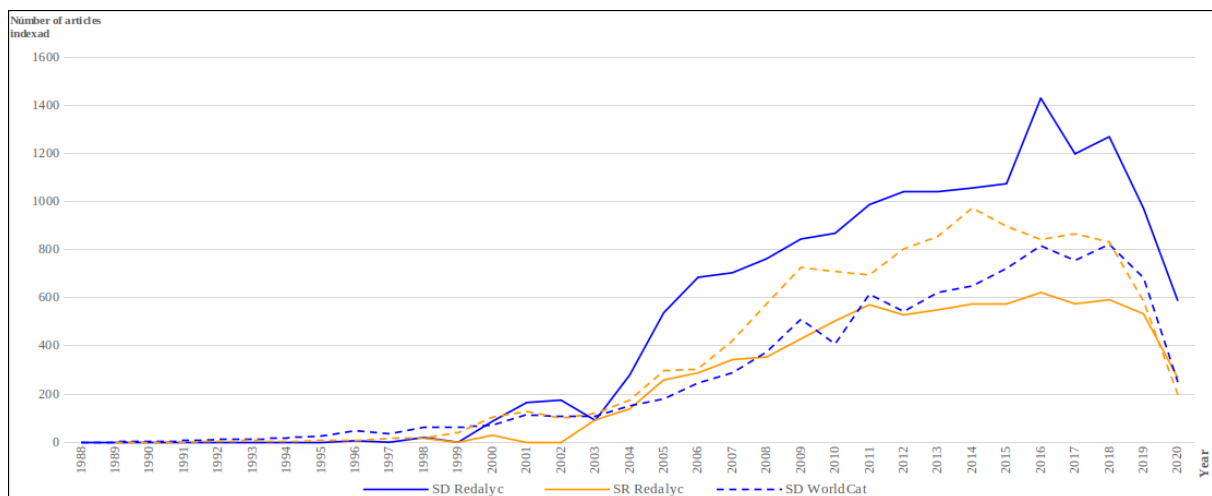
cords. In terms of production, Spain occupies the first place with 24,14 %, followed by Colombia with 14,46 %, and Mexico with 13,71 %.

Regarding the analysis of the discipline indicator, Figure 4 shows the analysis of the SciELO, Scopus, and Microsoft Academic databases for the terms of SD and SR.



**Figure 4.** Comparison of SD and SR by discipline in SciELO, Scopus, and Microsoft Academic

**Source:** SciELO (2020), Scopus (2020), and Microsoft Academic (2020).



**Figure 5.** Production of articles on SD and SR indexed between 1990 and 2020 in WorldCat and Redalyc

**Source:** WorldCat (2020) and Redalyc (2020).



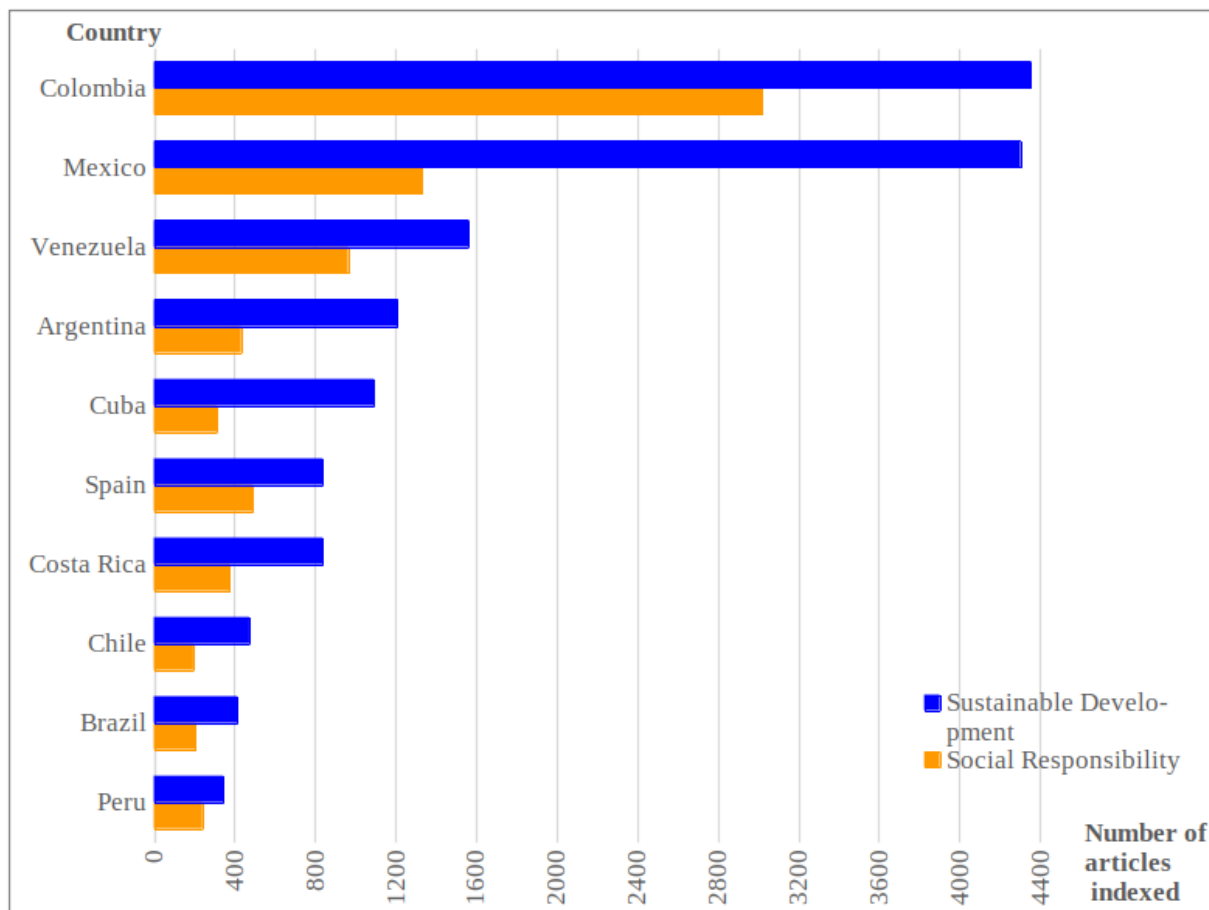


Figure 6. Comparison of SD and SR by country in Redalyc

Source: Redalyc (2020).

Out of the 53 disciplines that have records in these databases, only the first 10 disciplines with the highest number of indexed articles are presented, representing 68,67% of the total records. In terms of production, humanities occupy the first place with 17,05%, followed by political science with 14,15% and social sciences with 8,55%.

A triple search was carried out for the Spanish terms *desarrollo sustentable*, *desarrollo sostenible*, and *responsabilidad social* in the WorldCat and Redalyc databases between 1990 and 2020. Figure 5 shows four data series.

Out of the 44,340 articles, 53,48% are in the Redalyc database and 46,52% are in WorldCat. The analysis was divided into three time periods: from 1990 to 1999, 0,96% were published; from 2000 to 2009, 25,62%; and from 2010 to 2020, 73,41%. Regarding the use of the terms, 56,82% use SD and 43,48% use SR.

For analyzing the geographical indicator, the WorldCat database was excluded, as it does not provide information by country. Figure 6 shows the geographic analysis of the Redalyc database for

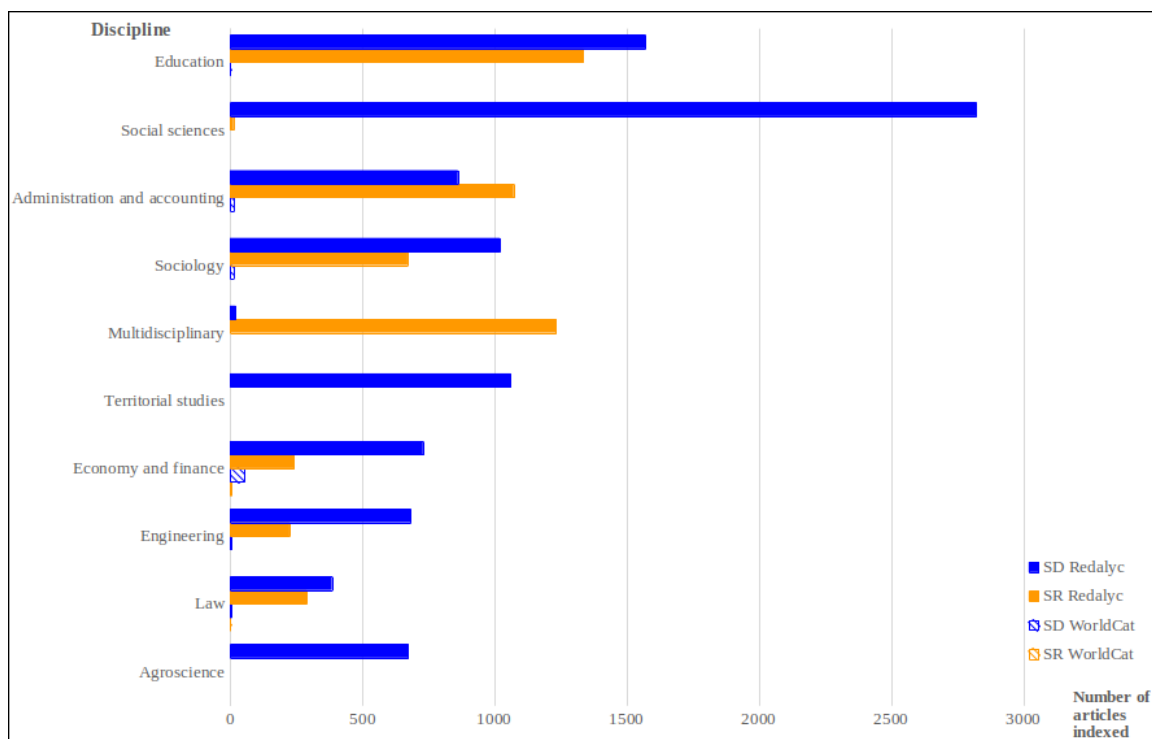


Figure 7. Comparison by discipline in Redalyc and WorldCat of SD and SR

Source: WorldCat (2020) and Redalyc (2020).

the terms SD and SR.

Out of the 20 countries that have records in the Redalyc database, only the first 10 countries with the highest number of articles are presented, representing 95,59 % of the total records. In terms of production, Colombia occupies the first place with 30,63 %, followed by Mexico with 23,42 % and Venezuela with 10,49 %.

As for analyzing the discipline indicator, Figure 7 shows the data on the WorldCat and Redalyc databases for the terms of SD and SR.

Out of the 32 disciplines that are registered in the WorldCat and Redalyc databases, only the first 10 disciplines with the highest number of indexed articles are presented, representing 73,23 % of the total records. In terms of production, education occupies the first place with 14,19 %, followed by social sciences with 13,84 % and administration and accounting with 9,51 %.

### Book production

To obtain information on the annual book production regarding the terms *desarrollo sustentable*, *desarrollo sostenible*, and *responsabilidad social* (see Figure 8), the Google Books Ngram Viewer software

was used.

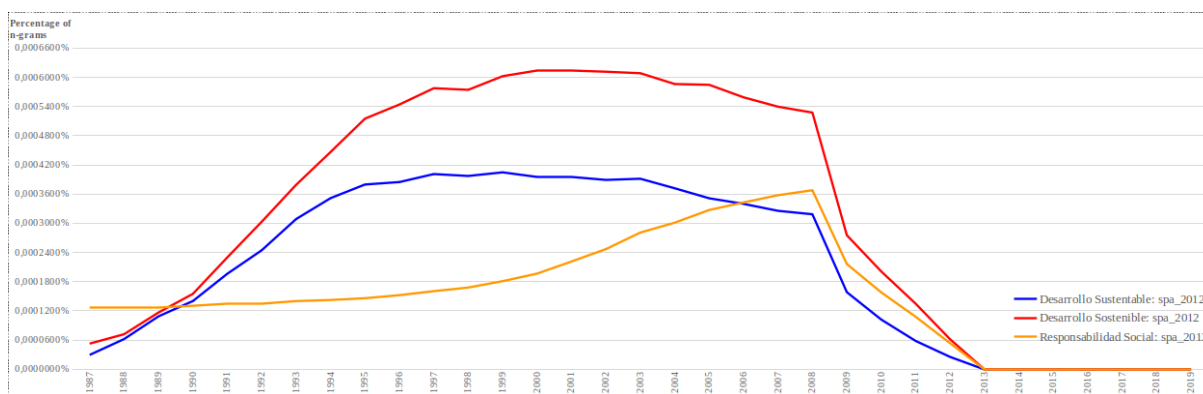


Figure 8. Terms within the Spanish linguistic corpus between 1987 and 2019

Source: Google Books Ngram Viewer (2020b).

It is observed that the term *desarrollo sostenible* exhibits a linear growth from 1987 to 1997. In the period from 1998 to 2005, its production is maintained, and it reaches its highest level in 2001. As of 2006, there is a decrease in production, which is most visible in 2007. For the term *desarrollo sustentable*, a similar behavior can be observed, but with lower production percentages. This term shows a linear growth from 1987 to 1996. In the period from 1997 to 2004, it maintains its production, and it reaches its highest level in 1999. Since 2005, a decrease in production can be observed, which is most visible in 2009. The term *responsabilidad social*, behaves differently: it shows little change from 1987 to 1996, it evolves linearly from 1997 to 2004, it maintains its production levels between 2005 and 2008, it reaches its highest level in 2008, and, as of 2009, its decrease is most visible.

### General interest in the terms

To obtain information on the general interest in the terms: *desarrollo sustentable*, *desarrollo sostenible*, and *responsabilidad social* (see Figure 9), the Google Trends software was used. To determine the scientific and academic interest, a double filter was applied: the first in the books and literature category, and the second in the bibliographies and citations subcategory.

The graph shows the general interest for the three terms in jagged lines, indicating different trends. For the term *desarrollo sustentable*, the year with the highest search proportion is 2018, and it has an average search proportion of 6. As for *responsabilidad social*, the year with the highest search proportion is 2006, and it has an average search proportion of 6. Finally, for *desarrollo sostenible*, the year with the highest search ratio is 2010, and it has an average search proportion of 3.

Regarding the analysis of the geographic indicator of interest, the top 10 countries with the highest search proportion are presented (see Table 1 and Figure 10).

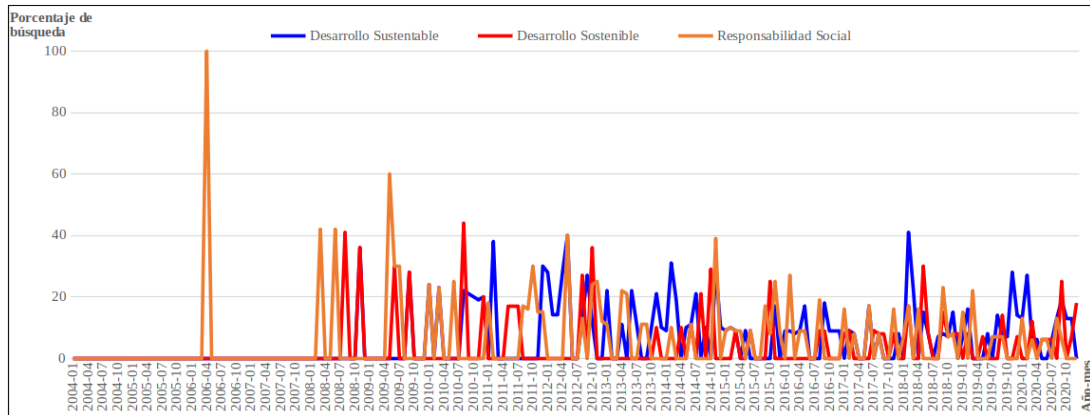


Figure 9. Interest over time in the Spanish terms *desarrollo sustentable*, *desarrollo sostenible*, and *responsabilidad social*

Source: Google Trends (2020b).



Figure 10. Comparative breakdown of the terms *desarrollo sustentable*, *desarrollo sostenible*, and *responsabilidad social* by country

Source: Google Trends (2020b).

Figure 10 shows the countries where the terms are most popular. The darker shadings indicate

**Table 1.** Top 10 countries with the highest search proportion in Spanish between 2004 and 2020

<i>Desarrollo Sustentable</i>		<i>Desarrollo Sostenible</i>		<i>Responsabilidad Social</i>	
Country – % of search		Country – % of search		Country – % of search	
Mexico	100	Nicaragua	100	El Salvador	100
Guatemala	21	El Salvador	52	Ecuador	62
Ecuador	19	Colombia	47	Panama	62
Bolivia	17	Guatemala	39	Costa Rica	57
Chile	11	Honduras	35	Colombia	56
Venezuela	7	Peru	31	Peru	42
Colombia	5	Costa Rica	22	Bolivia	32
Peru	4	Ecuador	14	Guatemala	30
Argentina	4	Bolivia	12	Venezuela	30
United Kingdom	1	Mexico	9	Mexico	25

Source: [Google Trends \(2020b\)](#).

the countries in which the terms are searched the most. Mexico, for example, has search proportion indicators of 100 for *desarrollo sustentable*, 9 for *desarrollo sostenible*, and 25 for *responsabilidad social*.

## DISCUSSION

The recent literature exhibits a discussion on the evolution of sustainable development towards social responsibility, referring to its use over time.

[Accinelli and de la Fuente \(2013\)](#) and [Volpentesta \(2012\)](#) point out that social responsibility has evolved to collaborate with sustainable development. In this vein, companies must work on different issues such as: governance, human rights, labor practices, environment, fair operating practices, consumer affairs, active participation, and community development. In [Amato \(2015\)](#), [Cantú \(2013\)](#), [Fernández \(2013\)](#), [Guédez \(2006\)](#), and [van Marrewijk \(2003\)](#), it is indicated that sustainability is the final objective of organizations, and it is shown how social responsibility is part of it by framing social responsibility as a contribution made by companies towards sustainable development. For [Chirinos et al. \(2012\)](#), socially responsible companies, in order to be considered sustainable, must have a committed leadership that goes beyond assistance, paternalism, and philanthropy. [Roitstein \(2004\)](#) and [Viteri et al. \(2010\)](#) see social responsibility as an accumulation of good practices that each organization

implements and plans together with stakeholders. This, with the purpose of creating a network of beneficial relationships that support competition and the long-term negotiations of the organization while contributing to the improvement of life conditions in society. For [Velázquez and Vargas \(2012\)](#), sustainable development coexists with social responsibility. Companies are the ones that voluntarily integrate these terms into their strategies, in compliance with laws and regulations, aiming for social development through the creation of values and committed business behaviors. In this sense, “networking represents a synergistic way to promote new relationship” ([Valencia & Ramírez, 2020](#), p. 111).

According to [Boidin et al. \(2009\)](#), [Gendron and Girard \(2013\)](#), and [Postel et al. \(2011\)](#), there is a need for a public treatment of social responsibility issues through laws and public policies, as well as a need to debate towards sustainable development rather than business ethics, towards a hybrid regulation rather than towards sterile opposition between the public and private sectors. In this sense, [Campos and Bermúdez \(2020\)](#) establish a relationship between social responsibility actions and sustainable development. In both concepts, the common objective is the responsible development of the economic, social, and environmental spheres. Finally, [Remacha \(2017\)](#) indicates that sustainable development objectives are understood as a list of priorities for the international community and as a tool to encourage organizations to be more ambitious and demanding when it comes to adopting responsible behaviors.

## CONCLUSIONS

Based on the information presented, a series of conclusions were reached which seek to clarify the evolution of sustainable development towards social responsibility. To this effect, it is important to consider what [Velázquez and Vargas \(2012\)](#) point out regarding implementation in certain disciplines, the geographic use of the terms, and their use over time. Hereunder are some potential causes behind these findings:

- Regarding the use of the studied terms over time, it is noted that the decade of 2010 saw the greatest production of indexed articles in the consulted databases. Out of more than 48.000 indexed articles on the Web of Science (SciELO), Scopus, and Microsoft Academic databases, more than 56 % utilize the term sustainable development and 43 % utilize social responsibility. In the WorldCat and Redalyc databases, with more than 44.000 indexed articles, 57 % use the term sustainable development, and 43 % use social responsibility.
- As for the geographic indicator of scientific production on the terms under study, it is noted that the Scopus and SciELO databases concur in the five countries with the highest production of indexed articles: Spain, Colombia, Mexico, Chile, and Venezuela. In Spain and Colombia, there is a preference for the term *responsabilidad social* (social responsibility). In Redalyc, the five

countries with the highest production of indexed articles are Colombia, Mexico, Venezuela, Argentina, and Cuba. These countries have a greater preference for the term *desarrollo sustentable* (sustainable development). With regard to the geographic indicator of general interest, the Google Trends software shows that Mexico and the Central American countries are the countries with the highest search proportion.

- The discipline indicator, as observed in Scopus, SciELO, Microsoft Academic, WorldCat, and Redalyc, shows that there is a greater preference for sustainable development. The disciplines with the highest indexation of articles are education, social sciences, administration, and sociology.
- In the Google Ngram Viewer software, different behaviors were observed in the use of terms in the annual generation of books. *Desarrollo sostenible* (sustainability) stands out over *desarrollo sustentable* and *responsabilidad social*.
- In the Google Trends software, it was observed that interest in the terms *responsabilidad social* and *desarrollo sustentable* have the same average search ratio, which is higher than that of *desarrollo sostenible*.

This allowed clarifying whether the term sustainable development evolved towards social responsibility. With the analysis of the indicators of scientific production and general interest, it was not possible to determine said evolution. Likewise, a preference for the term sustainable development was observed in the analysis by discipline, with a social and administrative orientation. Social responsibility evolved towards a term involving effective management, ethics, and environmental, social, and economic commitment. Finally, the term sustainable development coexists with the term social responsibility.

In future works, evolutionary patterns could be determined regarding the interest in a topic or discipline over time, as well as clarifying possible controversies about the use of certain terms. Non-participatory methods that use database analysis and computer tools such as Google Trends and Google Ngram Viewer should be considered. The foregoing will allow researchers and students to save costs and time in their research, since they are faster and allow obtaining information indirectly.

## REFERENCES

- [Accinelli and de la Fuente (2013)] Accinelli, E., & de la Fuente, J. (2013). Responsabilidad social corporativa, actividades empresariales y desarrollo sustentable: modelo matemático de las decisiones en la empresa. *Contaduría y administración*, 58(3), 227-248. [https://doi.org/10.1016/S0186-1042\(13\)71228-2](https://doi.org/10.1016/S0186-1042(13)71228-2) ↑Ver página 204

- [Amato (2015)] Amato, C. (2015). *Relación entre sustentabilidad, responsabilidad social y responsabilidad extendida al productor*. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/639491-Amato-Relacion%20entre%20Sustentabilidad%20Responsabilidad%20Social%20y%20Responsabilidad%20Extendida%20al%20Productor.pdf> ↑Ver página 204
- [Boidin et al. (2009)] Boidin, B., Postel, N., & Rousseau, S. (2009). *La responsabilité sociale des entreprises: une perspective institutionnaliste*. Presses Universitaires du Septentrion ↑Ver página 205
- [Bowen, 1953] Bowen, H. (1953). *Border social responsibilities of the businessman*. Harper. ↑Ver página
- [Cabrera et al. (2016)] Cabrera, R. (2016). *Software para facilitar la evaluación de la arquitectura de la información en la web* [Undergraduate thesis, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas]. <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/8905/TESIS%20ROBERTO%20CABRERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y> ↑Ver página 195
- [Campos and Bermúdez (2020)] Campos, D., & Bermúdez, L. (2020). PYMES, responsabilidad social y desarrollo sostenible. *InterSedes*, 21(43), 131-151. <https://doi.org/10.15517/isucr.v21i43.41989> ↑Ver página 205
- [Cantú (2013)] Cantú, P. (2013). Responsabilidad Social Empresarial en el marco de la sustentabilidad. *Economía y Sociedad*, 18(44), 21-33. ↑Ver página 204
- [Choi and Varian (2012)] Choi, H., & Varian, H. (2012). Predicting the present with Google Trends. *Economic Record*, 88(s1), 2-9. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4932.2012.00809.x> ↑Ver página 196
- [Chirinos et al. (2012)] Chirinos, M., Fernández, L., & Sánchez, G. (2012). Responsabilidad empresarial o empresas socialmente responsables. *Razón y Palabra*, 17(81), 2-17. ↑Ver página 204
- [COM, 2011] COM (2011). *Libro Verde: Fomentar un marco europeo para la responsabilidad social de las empresas*. Comisión Europea. ↑Ver página 194
- [Crespo, 2010] Crespo, F. (2010). Entre el concepto y la práctica: responsabilidad social empresarial. *Estudios Gerenciales*, 26(117), 119-130. [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(10\)70137-6](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(10)70137-6) ↑Ver página 194
- [Dehkordy et al. (2014)] Dehkordy, S., Carlos, R., Hall, K., & Dalton, V. (2014). Novel data sources for women’s health research. *Academic Radiology*, 21(9), 1172-1176. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2014.05.005> ↑Ver página 196
- [Easterby et al. (2012)] Easterby, M., Thorpe, R., & Jackson, P. (2012). *Management Research* (4 th ed). SAGE Publications. ↑Ver página 196



- [Elkington (1999)] Elkington, J. (1999). Triple bottom line revolution: reporting for the third millennium. *Australian CPA*, 69(11), 75-76. ↑Ver página 194
- [Fernández (2013)] Fernández, F. (2013). *La dimensión económica del desarrollo sostenible*. Editorial Club Universitario. ↑Ver página 204
- [Foladori & Pierre, 2005] Foladori, G., & Pierre, N. (2005). *¿Sustentabilidad?: Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*. Miguel Ángel Porrúa. ↑Ver página 192
- [García et al., 2021] García, P., Fonseca, C., & García, J. (2021). Regional Intellectual Wealth and Sustainable Development in Colombia. *Tecnura*, 25(68), 15-27. <https://doi.org/10.14483/22487638.17389> ↑Ver página 194
- [Gendron and Girard (2013)] Gendron, C., & Girard, B. (2013). *Repenser la responsabilité sociale de l'entreprise: l'école de Montréal*. Armand Colin. ↑Ver página 205
- [Global Compact, 2017] Global Compact (2007). *United Nations Global Compact*. <https://www.unglobalcompact.org/Languages/spanish/index.html> ↑Ver página 194
- [Gómez & Garduño, 2020] Gómez, J., & Garduño, S. (2020). Desarrollo sustentable o desarrollo sostenible, una aclaración al debate. *Tecnura*, 24(64), 117-133. <https://doi.org/10.14483/22487638.15102> ↑Ver página 193, 194
- [Google Books Ngram Viewer (2020a)] Google Books Ngram Viewer (2020a). *What does the Ngram Viewer do?* <https://books.google.com/ngrams/info> ↑Ver página 196
- [Google Books Ngram Viewer (2020b)] Google Books Ngram Viewer (2020b). *Graph*. [https://books.google.com/ngrams/graph?content=desarrollo+sustentable%3Aspa\\_2012%2Cdesarrollo+sostenible%3Aspa\\_2012%2Cresponsabilidad+social%3Aspa\\_2012&year\\_start=1987&year\\_end=2019&corpus=21&smoothing=3](https://books.google.com/ngrams/graph?content=desarrollo+sustentable%3Aspa_2012%2Cdesarrollo+sostenible%3Aspa_2012%2Cresponsabilidad+social%3Aspa_2012&year_start=1987&year_end=2019&corpus=21&smoothing=3). ↑Ver página 202
- [Google Trends (2020a)] Google Trends (2020a). *Ayuda de tendencias de búsqueda*. [https://support.google.com/trends/answer/6248105?hl=es&ref\\_topic=6248052](https://support.google.com/trends/answer/6248105?hl=es&ref_topic=6248052) ↑Ver página 196
- [Google Trends (2020b)] Google Trends (2020b). *Google Trends. Comparar*. <https://trends.google.com.mx/trends/explore?cat=690&date=2004-01-01%202020-12-14&q=Desarrollo%20Sustentable,Desarrollo%20Sostenible,Responsabilidad%20Social>. ↑Ver página 203, 204
- [Greenfield (2013)] Greenfield, P. (2013). The changing psychology of culture from 1800 through 2000. *Science*, 24(9), 1722-1731. <https://doi.org/10.1177/0956797613479387> ↑Ver página 196

- [Guédez (2006)] Guédez, V. (2006). *Ética y práctica de la responsabilidad social empresarial*. Editorial Planeta. ↑Ver página 204
- [Hernández et al., 2010] Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill. ↑Ver página 195
- [IUCN, 1980] IUCN (1980). *World conservation strategy: Living resource conservation for sustainable development*. United Nations. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.1980.9.en> ↑Ver página 193
- [Justel et al. (2018)] Justel, S., Fernández, A., Victoria, M., & Lacasa, I. (2018). Twitter e información política en la prensa digital: la red social como fuente de declaraciones en la era Trump. *El Profesional de la Información*, 27(5), 984-992. <https://doi.org/10.3145/epi.2018.sep.03> ↑Ver página 196
- [Larrouyet, 2015] Larrouyet, C. (2015). *Desarrollo sustentable: origen, evolución y su implementación para el cuidado del planeta*. [Undergraduate thesis, Universidad Nacional de Quilmes]. [https://ridaa.unq.edu.ar/bitstream/handle/20.500.11807/154/TFI\\_2015\\_larrouyet\\_003.pdf?sequ](https://ridaa.unq.edu.ar/bitstream/handle/20.500.11807/154/TFI_2015_larrouyet_003.pdf?sequ) ↑Ver página 194
- [Lin et al. (2012)] Lin, Y., Michel, J., Aiden, E., Orwant, J., Brockman, W., & Petrov, S. (2012, July). *Syntactic annotations for the Google Books Ngram Corpus* [Conference presentation]. 2012 Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, Jeju, Republic of Korea. <https://aclanthology.org/P12-3029.pdf> ↑Ver página 196
- [Linkov et al. (2014)] Linkov, F., Bovbjerg, D., Freese, K., Ramanathan, R., & Gourash, W. (2014). Bariatric surgery interest around the world: What Google Trends can teach us. *Surgery for Obesity and Related Diseases*, 10(3), 533-538. <https://doi.org/10.1016/j.soard.2013.10.007> ↑Ver página 196
- [Lu et al. (2019)] Lu, Y., Wang, S., Wang, J., Zhou, G., Zhang, Q., Zhou, X., & Chou, K. (2019). An epidemic avian influenza prediction model based on Google Trends. *Letters in Organic Chemistry*, 16(4), 303-310. <https://doi.org/10.2174/1570178615666180724103325> ↑Ver página 197
- [Martínez and Moyano (2014)] Martínez, P., & Moyano, J. (2014). Lean management, supply chain management and sustainability: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 85, 134-150. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.042> ↑Ver página 196
- [Mavragani and Ochoa (2019)] Mavragani, A., & Ochoa, G. (2019). Google Trends in infodemiology and infoveillance: methodology framework. *JMIR Public Health and Surveillance*, 5(2), 1-15. <https://doi.org/10.2196/13439> ↑Ver página 197

- [Michel *et al.*, 2011] Michel, J., Shen, Y., Aiden, A., Veres, A., Gray, M., Pickett, J., & Aiden, E. (2011). Quantitative analysis of culture using millions of digitized books. *Science*, 331(6014), 176-182. <https://doi.org/10.1126/science.1199644> ↑Ver página
- [Microsoft Academic (2020)] Microsoft Academic (2020). *Microsoft Academic: Search*. <https://academic.microsoft.com/#/search> ↑Ver página 197, 199
- [Pérez, 2016] Pérez, M. (2016). Gestión del conocimiento: orígenes y evolución. *El Profesional de la Información*, 25(4), 526-534. <https://doi.org/10.3145/epi.2016.jul.02> ↑Ver página 195, 196
- [Perkins, 1864] Perkins, G. (1864). *Man and nature*. University of Washington Press. ↑Ver página
- [Pettit (2016)] Pettit, M. (2016). Historical time in the age of big data: Cultural psychology, historical change, and the Google Books Ngram Viewer. *History of Psychology*, 19(2), 141-153. <https://doi.org/10.1037/hop0000023> ↑Ver página 196
- [Postel *et al.* (2011)] Postel, N., Cazal, D., Chavy, F., & Sobel R. (2011). *La Responsabilité Sociale de l'Entreprise: Nouvelle régulation du capitalisme?* Presses Universitaires du Septentrion. ↑Ver página 205
- [Preis *et al.* (2013)] Preis, T., Moat, H., & Stanley, H. (2013). Quantifying trading behavior in financial markets using Google Trends. *Scientific Reports*, 3, 1684. <https://doi.org/10.1038/srep01684> ↑Ver página 196
- [Redalyc (2020)] Redalyc (2020). *Acerca de: Búsqueda de artículos*. <http://www.redalyc.org/BuscadorTextoCompleto.oa> ↑Ver página 199, 200, 201
- [Remacha (2017)] Remacha, M. (2017). Empresa y objetivos de desarrollo sostenible. *Cuadernos de la Cátedra CaixaBank de Responsabilidad Social Corporativa*, 34, 1-28. ↑Ver página 205
- [Riechmann and Fernández (1994)] Riechmann, J., & Fernández, F. (1994). *Redes que dan libertad: introducción a los nuevos movimientos sociales*. Paidós. ↑Ver página 192
- [Roitstein (2004)] Roitstein, F. (2004). La responsabilidad social empresarial en Argentina: tendencias y oportunidades. *Revista Latinoamericana de Administración*, 32, 5-14. ↑Ver página 204
- [Sánchez *et al.*, 2020] Sánchez, E., Pacheco, C., & Páez, C. (2020). Una visión de Ciudad sostenible desde el modelo de gestión de los residuos de construcción y demolición (Rcd) caso de estudio: Barranquilla. *Tecnura*, 24(63), 68-83. <https://doi.org/10.14483/22487638.15359> ↑Ver página 194
- [SciELO (2020)] SciELO (2020). SciELO. <https://scielo.org/es> ↑Ver página 199

- [Scopus (2020)] Scopus (2020). *Document search*. <https://www-scopus-com/search/> ↑Ver página 197, 198, 199
- [Tamames, 1977] Tamames, R. (1977). *Ecología y desarrollo: la polémica sobre los límites del crecimiento*. Alianza. ↑Ver página 192
- [UN, 2002] UN (2002). *Report of the International Conference on Financing for Development*. <https://www.cepal.org/noticias/noticias/2/10582/aconf198-1ling.pdf> ↑Ver página 194
- [UN, 2018] UN (2018). *United Nations Global Compact*. <https://www.unglobalcompact.org/> ↑Ver página 192, 193
- [UN, 2019] UN (2019). *Sustainable Development Goals*. <http://www.fao.org/3/CA3121EN/ca3121en.pdf> ↑Ver página 194
- [UN, n.d.] UN (n.d.). *Background*. <http://www.un.org/millenniumgoals/bkgd.shtml> ↑Ver página 194
- [Valencia & Ramírez, 2020] Valencia, A., & Ramírez, E. (2020). *Revista Innovación Educativa*, 20(83), 99-118. ↑Ver página 205
- [van Marrewijk (2003)] van Marrewijk, M. (2003). Concepts and definitions of CSR and corporate sustainability: Between agency and communion. *Journal of Business Ethics*, 44(2), 95-105. <https://doi.org/10.1023/a:1023331212247> ↑Ver página 204
- [Velázquez and Vargas (2012)] Velázquez, L., & Vargas, J. (2012). La sustentabilidad como modelo de desarrollo responsable y competitivo. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 11, 97-107. ↑Ver página 205
- [Villegas and Parapinski (2013)] Villegas, N., & Parapinski, A. (2013). Análisis de indicadores para determinar el grado de sostenibilidad en concretos especiales. *Tecnura*, 17(38), 12-25. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2013.4.a01> ↑Ver página 194
- [Viteri et al. (2010)] Viteri, J. (2010). Responsabilidad social. *Enfoque UTE*, 1(1), 90-100. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v1n1.20> ↑Ver página 204
- [Volpentesta (2012)] Volpentesta, J. (2012). Las acciones sociales en empresas con responsabilidad social. *Revista Científica "Visión de Futuro"*, 16(2), 802-825. ↑Ver página 204
- [WCED, 1987] WCED. (1987). *Our common future*. New York. ↑Ver página 193, 194
- [WCED, 1993] WCED. (1993). *Río 92: Programa*. Alianza. ↑Ver página 193

[Web of Science (2020)] Web of Science (2020). *Web of Science. Search*. <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/microsoft-academic-graph/http://webofknowledge.com/Search.do> ↑Ver página 197, 198

[Webster & Watson, 2002] Webster, J., & Watson, R. (2002). Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. *MIS Quarterly*, 26(2), XIII-XXIII. ↑Ver página 196

[Wijaya and Yeniterzi (2011)] Wijaya, D., & Yeniterzi, R. (2011, October). Understanding semantic change of words over centuries [Conference presentation]. 2011 International Workshop on Detecting and Exploiting Cultural Diversity on the Social Web, Glasgow, Scotland, UK. <https://doi.org/10.1145/2064448.2064475> ↑Ver página 196




[Wolfensberger, 2005] Wolfensberger, L. (2005). *Sustentabilidad y desarrollo. Suficiente siempre*. Porrúa. ↑Ver página

[WorldCat (2020)] WorldCat (2020). WorldCat: Search [https://www.worldcat.org/search?q=&qt=lang\\_switch&lang=en](https://www.worldcat.org/search?q=&qt=lang_switch&lang=en) ↑Ver página 199, 201



## Human Activity Recognition via Feature Extraction and Artificial Intelligence Techniques: A Review

### Reconocimiento de actividades humanas por medio de extracción de características y técnicas de inteligencia artificial: una revisión

José Camilo Eraso-Guerrero <sup>1</sup>, Elena Muñoz-España <sup>2</sup>, Mariela Muñoz-Añasco <sup>3</sup>

Fecha de Recepción: 03 de enero de 2022

Fecha de Aceptación: 04 de julio de 2022

**Cómo citar:** Eraso-Guerrero, J.C. Muñoz-España, E. y Muñoz-Añasco, M. (2022). Human Activity Recognition via Feature Extraction and Artificial Intelligence Techniques: A Review. *Tecnura*, 26(74), 213-236. <https://doi.org/10.14483/22487638.17413>

### Abstract

**Context:** In recent years, the recognition of human activities has become an area of constant exploration in different fields. This article presents a literature review focused on the different types of human activities and information acquisition devices for the recognition of activities. It also delves into elderly fall detection via computer vision using feature extraction methods and artificial intelligence techniques.

**Methodology:** This manuscript was elaborated following the criteria of the document review and analysis methodology (RAD), dividing the research process into the heuristics and hermeneutics of the information sources. Finally, 102 research works were referenced, which made it possible to provide information on current state of the recognition of human activities.

**Results:** The analysis of the proposed techniques for the recognition of human activities shows the importance of efficient fall detection. Although it is true that, at present, positive results are obtained with the techniques described in this article, their study environments are controlled, which does not contribute to the real advancement of research.

**Conclusions:** It would be of great impact to present the results of studies in environments similar to reality, which is why it is essential to focus research on the development of databases with real falls of adults or in uncontrolled environments.

**Keywords:** human activity recognition, fall detection, type of activities, feature extraction, convolutional neural networks

<sup>1</sup>Electronics engineer, Master's candidate in Automatics. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

Email: [joseeraso@unicauca.edu.co](mailto:joseeraso@unicauca.edu.co)

<sup>2</sup>Electronics and Telecommunications engineer, specialist in Industrial Informatics, specialist in Telematic Networks and Services, Master's in Electronics and Telecommunications. Professor at Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

Email: [elenam@unicauca.edu.co](mailto:elenam@unicauca.edu.co)

<sup>3</sup>Industrial engineer, Master's in Business Administration, Master's in Automatics, PhD in Automatics, Robotics, and Industrial Informatics. Professor at Universidad del Cauca. Popayán.

Email: [mamunoz@unicauca.edu.co](mailto:mamunoz@unicauca.edu.co)

## Resumen

**Contexto:** En los últimos años, el reconocimiento de actividades humanas se ha convertido en un área de constante exploración en diferentes campos. Este artículo presenta una revisión de la literatura enfocada en diferentes tipos de actividades humanas y dispositivos de adquisición de información para el reconocimiento de actividades, y profundiza en la detección de caídas de personas de tercera edad por medio de visión computacional, utilizando métodos de extracción de características y técnicas de inteligencia artificial.

**Metodología:** Este manuscrito se elaboró con criterios de la metodología de revisión y análisis documental (RAD), dividiendo el proceso de investigación en heurística y hermenéutica de las fuentes de información. Finalmente, se referenciaron 102 investigaciones que permitieron dar a conocer la actualidad del reconocimiento de actividades humanas.

**Resultados:** El análisis de las técnicas propuestas para el reconocimiento de actividades humanas muestra la importancia de la detección eficiente de caídas. Si bien es cierto en la actualidad se obtienen resultados positivos con las técnicas descritas en este artículo, sus entornos de estudio son controlados, lo cual no contribuye al verdadero avance de las investigaciones.

**Conclusiones:** Sería de gran impacto presentar resultados de estudios en entornos semejantes a la realidad, por lo que es primordial centrar el trabajo de investigación en la elaboración de bases de datos con caídas reales de personas adultas o en entornos no controlados.

**Palabras clave:** reconocimiento de la actividad humana, detección de caídas, tipos de actividades, extracción de características, redes neuronales convolucionales

---

## Table of Contents

	Page
<b>Introduction</b>	215
<b>Classification of human activities</b>	216
<b>Information acquisition methods</b>	217
<b>Feature extraction</b>	218
Global feature extraction . . . . .	218
Local feature extraction . . . . .	220
Depth-based feature extraction . . . . .	221
Convolutional neural networks . . . . .	222
<b>Conclusions</b>	224
<b>Acknowledgments</b>	225
<b>References</b>	225

## INTRODUCTION

Human activity recognition (HAR) aims to model user behavior and automatically identify the tasks they perform by observing and analyzing human behavior (Saini *et al.*, 2018, Uzunovic *et al.*, 2018, Brophy *et al.*, 2018), which results in the recognition of people's activities, identities, personalities, and psychological state (Vrigkas *et al.* (2015)).

In recent years, HAR has become an area of constant exploration in different fields; its applications are a current research subject, as it helps automate processes and activities that may go unnoticed by the human eye or may constitute tedious tasks. For Lohit *et al.* (2018), a human pose transmits the configuration of the body parts and implicit predictive information on people's subsequent movement, dynamic information that may be utilized in various applications. By reviewing the literature, it can be found that HAR exhibits a growing demand in the fields of entertainment (Lawrence *et al.*, 2010, Han *et al.*, 2013, Akhavian & Behzadan, 2016); video surveillance systems (Ryoo, 2011, Preis *et al.*, 2012, Liu *et al.*, 2014, Ben Mabrouk & Zagrouba, 2018, Cosar *et al.*, 2017, J.-W. Hsieh *et al.*, 2014); emergency rescue and emergency robotics (Durrant-Whyte *et al.*, 2012); smart cities, sports performance, military applications, medical monitoring for caring of the elderly, and diverse health care (Banos *et al.*, 2012, Chen *et al.*, 2012, Avci *et al.*, 2010, Kim *et al.*, 2010, Sazonov *et al.*, 2011, Ismail *et al.*, 2015, Rafferty *et al.*, 2017); among others (Elbasiony & Gomaa,). The common factor of research on HAR is the set of problems under study, which involve recognizing a specific activity such as the weather, object protection, and lighting conditions, among others. Moreover, an activity may vary from one person to another (Y. Yang *et al.*, 2019, Kahani *et a.*, 2019). Thus, it is essential to find different ways to optimize the recognition of human activities.

Modern and efficient methods for healthcare are now being proposed, such as the use of blockchain and the Internet of Things (Pava *et al.*, 2021). However, this review prioritizes the works and advances on HAR, specifically elderly fall detection since, according to the World Health Organization (WHO), the proportion of the planet's population over 60 years will double from 11 to 22 % between 2000 and 2050 (2015). In huge numbers, this age group will grow from 605 million to 2 billion in the course of half a century. As a consequence, caring for and monitoring the health of the elderly will become an essential and daunting task. Li *et al.* (2018) state that approximately 58 % of elderly over 80 years old have passed away after a severe fall due to physical trauma, mild traumatic brain injury, hip fracture, among others, which may discourage this population from working out. A sedentary lifestyle in the elderly is another problem that entails other health consequences, such as obesity and cardiovascular diseases (Suto & Oniga, 2019).

As workout and movement are vital for the elderly, monitoring and recognizing daily activities is essential to provide them with proper healthcare. According to Li *et al.* (2018), the automatic detection of falls or movements that may affect health can significantly reduce the consequences of the incident. It may also allow tracking and reporting anomalies from patterns of normal daily behaviors by adults



with high risk of falling.

This document presents a review of the state of the art regarding 1) the classification of human activities, 2) the methods for HAR information acquisition and 3) the methods that have been used for feature extraction from videos and images in order to recognize the activities of the elderly.

This research was conducted following the criteria for review methodology and document analysis (Barbosa-Chacón *et al.*, 2013), dividing the research process into the heuristics and hermeneutics of the different information sources.

## CLASSIFICATION OF HUMAN ACTIVITIES

Human activity recognition is a current research topic due to its various applications in the entertainment industry, video surveillance, healthcare, robotics, smart cities, sports performance, and military applications. Therefore, the main objective of this work is to review the field of HAR with a focus on elderly care.

Human activities are classified depending on their complexity and duration. For Hassan *et al.* (2018), activities are divided into short-term activities and simple and complex tasks: firstly, short-term activities such as the transition between sitting and standing up; secondly, basic activities such as walking and reading; and complex activities, which involve scenarios where there is an interaction with objects or people. On the other hand, Vrigkas *et al.* (2015) propose another mechanism to classify activities which also considers their complexity. A summary of this classification is shown in Table 1.

**Table 1.** Classification of human activities

Classification	Description
<i>Gestures</i>	Primitive movements of a person's body parts, which correspond to a particular action.
<i>Atomic actions</i>	A person's movements that are part of more complex activities.
<i>Human-object interaction or human-human interaction</i>	Human activities that involve two or more people or objects.
<i>Activities in group</i>	Activities carried out by groups of people.
<i>Behaviors</i>	Physical activities associated with feelings, personality, and the psychological state of an individual.
<i>Events</i>	High-level activities that describe social actions between individuals and indicate a person's social roles.

Source: Vrigkas *et al.* (2015)

Research related to recognizing activities carried out by the elderly is focused on identifying short-term and basic-specific activities. An example of this is the work carried out by [Khan \*et al.\* \(2011\)](#), which aimed to detect six specific activities (forward falls, backward falls, chest pain, faints, vomiting, and headaches). On the other hand, [X. Ma \*et al.\* \(2014\)](#) attempted to recognize other six activities (people falling, flexing, sitting, squatting, or lying down). In turn, [Amiri \*et al.\* \(2014\)](#) increased the number of activities to be recognized (a person cleaning a table, drinking a drink, taking or dropping an object, reading, sitting, standing up, writing, using a phone, and falling), which also expanded the difficulty and vagueness of the system due to occlusion issues and the similarity between actions ([Yu \*et al.\*, 2013](#)).

## INFORMATION ACQUISITION METHODS

The first step to recognize a determined human activity is obtaining information for subsequent processing. This process may be carried out in different ways. The first method is based on environmental sensors, such as pressure, acoustic, electromyography, and different sensors that may be integrated and distributed around the environment where the identification of different activities is required ([L. Yang \*et al.\* \(2016\)](#)). The use of different sensors may entail high costs and could be an intrusive method. Aspects such as the arrangement and generation of different types of sensors should also be taken into account, especially in underdeveloped territories, as discussed by [Nivia-Vargas & Jaramillo-Jaramillo \(2018\)](#).

The second method also receives information through portable sensors such as contact sensors, gyroscopes, and accelerometers ([Rosati \*et al.\*, 2018](#)). Using methods based on sensors has a specific set of difficulties when recognizing elderly activities. According to [Khan \*et al.\* \(2013\)](#), the elderly often forget to wear portable sensors, and their use in different parts of the body causes frustration since it limits their movement.

On the other hand, ([Kwolek & Kepski \(2014\)](#)) argue that the vast majority of elderly people do not enjoy using sensors, as they generate excessive false alarms. Some daily activities are wrongly detected as falls, which may also frustrate users.

This article delves into the third information acquisition method: incorporating computer vision using cameras, depth sensors, and image processing techniques. According to [Yu \*et al.\*, 2013](#) and [Amiri \*et al.\* \(2014\)](#), this is a non-intrusive method that can extract a large amount of information in comparison with portable sensor methods. Furthermore, this method is not easily affected by noise in the environment. On that premise, [Panahi & Ghods \(2018\)](#) highlight the technological progress of extracting images from video using RGB (red, green, and blue) cameras or using depth map images to determine the different distances of objects or people. [L. Yang \*et al.\* \(2016\)](#) divide the vision-based method into three categories: methods using standard RGB cameras, 3D-based methods using multiple cameras, and 3D-based methods using depth cameras.

The vision-based method also has its limitations, which include a lack of privacy, as it implies having a camera in the environment at all times. Moreover, [Concone \*et al.\* \(2019\)](#) criticize its computational cost, since this method may rarely run in real-time, and they highlight the fact that the performance of the method strongly depends on the position of the cameras.

## FEATURE EXTRACTION

Although HAR has been a continuous topic of research in the last decade, there are still different aspects that hinder the accurate recognition of elderly activities. With the computer vision method, this includes features such as the weather, object protection or occlusion, lighting conditions, the similarity between some activities, clutter in the background of the image, privacy problems, and other specific difficulties that may cause false detections. For this reason, it is vital to study the different methods in order to optimize the recognition of these activities, especially regarding fall detection.

Some studies ([Yu \*et al.\*, 2013](#), [Goudelis \*et al.\*, 2015](#)) argue that the most essential step for successful activity recognition is to select a method for feature extraction from an image or a video. Different methods have been proposed whose purpose is to effectively distinguish non-intentional actions such as falls from other daily activities. This review of the state of the art focuses on the classification of feature extraction methods presented by [S. Zhang \*et al.\* \(2017\)](#), which classifies them in terms of their approach: local characteristics, global characteristics, and depth-based representation. Also, the current method based on convolutional neural networks is attached.

For [Das Dawn & Shaikh \(2016\)](#), the shape or edge of an object are relevant data that can be used to determine local characteristics. However, global information involves flow description or movement in a video.

### Global feature extraction

This method allows extracting global descriptions from videos and images, which, according to [S. Zhang \*et al.\* \(2017\)](#), allows localizing the human subject and isolating them from the background, using subtraction methods to acquire their silhouette and shape. Other global representation methods are 3D space-time volumes, which monitor a human being's silhouette for a determined period of time. There is also the Fourier Transform method, which is based on monitoring the frequency of a silhouette for activity recognition.

Various other studies use global feature extraction to recognize human actions, especially for elderly fall detection. In general, research in this field takes advantage of the silhouette of the human body to reach its objective.

Elderly fall detection is the main objective of several works ([Khan \*et al.\* \(2011\)](#), [Khan \*et al.\* \(2013\)](#), [Yu \*et al.\*, 2012](#), [Yu \*et al.\*, 2013](#), [Foroughi \*et al.\*, 2008](#)), which focus on extracting the human silhouette for subsequent processing. These studies have several differences. [Khan \*et al.\* \(2011\)](#) use the human silhouet-

te to extract information from the elderly using R-transform, invariant scale, rotation characteristics, and Kernel discriminant analysis (KDA) as they attempt to detect human falls while considering the different distances of people in front of the camera. On the other hand, the works by [Yu et al., 2012](#), [Yu et al., 2013](#) have several common factors: both techniques detect falls in the elderly, extract the adult's silhouette, and calculate the human figure's center of mass. Nonetheless, [Yu et al., 2013](#) employ the method presented by [Rougier et al. \(2007\)](#) to extract and delimit people's silhouettes via ellipse features and look for the structural characteristics and shape of human actions, locating its centroid as a fall detection method. Meanwhile, [Yu et al., 2012](#) calculate the centroid of the human silhouette and identify the person's orientation. To this effect, at least two cameras are needed, both of them synchronized in order to minimize occlusion. Finally, ([Foroughi et al., 2008](#)) use the human silhouette as captured from videos or images to identify histograms of its segmented projection, analyzing temporary changes in an elderly person's head in order to recognize a possible fall.

As these systems were implemented in different contexts, they reported different performances. However, the study areas of these works were controlled environments such as small apartments with multiple cameras, few lighting changes, and high computational costs. For instance, [Auvinet \(n.d\)](#) used various cameras to extract 3D images, aiming to detect and analyze the volume in the elderly silhouette's vertical space, activating a falling alarm when the volume distribution was abnormally close to the floor. For an extended period, this method reached a recognition effectiveness of 99,7 %, albeit using eight simultaneous cameras, having a high computational cost with regard to synchronization and performance, and making the system challenging to implement on a daily basis.

On the other hand, ([Nguyen et al., 2016](#)) aimed to recognize indoor human actions tested in different environments with natural lighting and different shadows, as well as involving diverse daily activities, which caused several failures. Nonetheless, as their method is based on the use of a single RGB camera, it is easy to implement and entails a low computational cost. Falls in the elderly are detected by analyzing movement orientation and magnitude, changes in the human shape, and movement in the image's histogram. The authors suggest using additional techniques in future research, which includes detecting the head and the inactivity zone.

Optical flow is a global extraction technique used to extract and describe silhouettes on moving or dynamic backgrounds. [Efros et al. \(2003\)](#) used this method to recognize actions performed by soccer and tennis players and ballet dancers in TV broadcasts. The authors suggest applying this technique to extract the dynamic background, focusing only on the sportsmen's silhouette.

Despite the fact that systems using global feature extraction have performed well in controlled environments, [S. Zhang et al. \(2017\)](#) have exposed the difficulties of these systems given their noise sensitivity and viewpoint changes. Furthermore, authors such as ([Goudelis et al., 2015](#)) have indicated that methods based on silhouettes and figures lack solidity and generalization, as they depend on an accurate extraction of the human silhouette and the different geometric transformations, which may be distorted by the distance and position of the subject.

## Local feature extraction

S. Zhang *et al.* (2017) explain that this method focuses on specific local patches determined by interest point detectors or dense sampling, which densely cover the content of a video or an image. The first interest point detector was proposed by Harris & Stephens (1988) and is known for being an excellent corner detector, giving rise to further research works such as the one by Laptev & Lindeberg (2003), who proposed 3D space-time interest points (STIP). The latter would become the main interest point detectors and inspire even further research (Chakraborty *et al.*, 2012, Laptev, 2005, Nguyen *et al.*, 2015), which aimed to optimize these techniques.

According to Das Dawn & Shaikh (2016), STIP is an essential technique for robust interest points extraction from a video or image in the space-time domain, such as a corner point or an isolated point where the intensity is maximum or minimum –even endpoints of lines and curves.

Amiri *et al.* (2014) focused on simulating a smart home environment using two cameras and a Kinect sensor placed between them. Local feature extraction with space-time techniques was implemented using the Hariss3D algorithm as a feature detector and STIP as a feature descriptor. The system's main difficulties are occlusion problems and clutter in the background, since tracking the human body is a challenging and an error-prone task. The capacity of the Kinect sensor to recognize skeletal information only for objects in the range of 1,2 to 3,5 m may also have caused recognition problems. On the other hand, Berlin & John (2016) used Harris's corner point detectors differently, including the histogram form of the diverse images in order to recognize different activities performed in two sets with controlled environments. The results showed 95 and 88 % recognition rates for Set1 and Set2, respectively.

Conversely, Venkatesha & Turk (2010) attempted online human activity recognition, that is to say, without storing any video. The systems immediately learned the actions in the scene and classified them, considering the shape of human actions. They also used interest point extraction techniques while analyzing the histogram of the image in order to identify the action performed. This method showed a recognition effectiveness of 87 % in non-complex actions. Meanwhile, Peng *et al.* (2016) obtained a similar recognition rate, albeit combining local space-time characteristics and the construction of a visual dictionary, proposing a hybrid super vector.

Zhu *et al.* (2011) presented another technique based on recognizing an action through feature coding of local 3D space-time gradients within the framework of scattered code. By doing so, each space-time characteristic is transformed into a linear combination of some 'atoms' in a dictionary trained to detect local movement and appearance features. This method provides an increase in scale invariance, achieving the recognition of some basic activities. Considering the above studies and that proposed by H.-B. Zhang *et al.* (2019), local feature extraction does not require pre-processing activities such as background segmentation or human detection. It also offers scale invariance and rotation and is stable under lighting changes and more resistant to occlusion than global feature extraction.

S. Zhang *et al.* (2017) highlighted the fact that, although these detectors achieve satisfactory results in HAR, they have a significant deficiency: the calculation of stable interest points is often inadequate, as “discriminative” and “correct” interest points are difficult to identify. Similarly, H.-B. Zhang *et al.* (2019) faced some difficulties with the current local feature extraction method, as it is easily affected by changes in camera view, background movement, and camera movement.

### Depth-based feature extraction

The development of depth sensors such as the Microsoft Kinect (Shotton *et al.*, 2011) has allowed higher access to depth maps and the real-time position of skeletal joints, thus contributing to HAR via computer vision.

Various studies (X. Ma *et al.* (2014), Planinc & Kampel, 2013, Nizam *et al.* (2017), Mastorakis & Makris (2014), Yao *et al.*, 2017, Jalal *et al.* (2012)) have used the Kinect sensor as an information acquisition instrument and employed its depth images for HAR. The difference lies in the characteristics that each researcher wanted to extract. For example, X. Ma *et al.* (2014) conducted a complex study aiming to recognize six human actions (people falling, bending, sitting down, squatting, walking, and lying down) while combining global extraction techniques from depth images and analyzing changes in the human shape in short periods of time. On the other hand, (Nizam *et al.* (2017)) focused on extracting the elderly center of mass and added the angle between the human body and the floor plan. If this data is below specific thresholds, then a fall is detected.

On the other hand, Kwolek & Kepski (2014) complemented the use of depth images and calculated the distance from the human center of mass to the ground using an accelerometer for elderly fall detection. In this approach, if the acceleration exceeds a threshold value, it means that the person is in motion. At that moment, the depth sensor begins to extract information in order to detect a possible fall. However, the process requires calibrating the cameras and accelerometers, which increases its computational cost. Nizam *et al.* (2017) also used a Kinect sensor to study the speed and position of a person. Thus, if a high speed in a short time is detected, it is assumed that a fall has occurred. The fall is confirmed or discarded by analyzing the position of the body. This system has an average precision of 93,94 %.

Mastorakis & Makris (2014) attempted elderly fall detection by using a Kinect sensor to extract the environment’s 3D image, aiming to obtain a 3D bounding box surrounding the older person. Here, when the bounding box changes its width, height, and depth, the speed is analyzed. When the speed is higher than a certain threshold, it is considered that a fall has occurred. In turn, Yao *et al.*, 2017 used depth images to extract information such as the movement of the human torso, the 3D positions of the central hip joint, the central shoulder joint, and the height of a person’s centroid. With this method, a fall can be identified when the rates of the aforementioned characteristics reach threshold values. Despite this robust method, using only a Kinect makes the system dependent on the distance at which the sensor is working.

Unlike the aforementioned studies, [Jalal et al. \(2012\)](#) did not calculate the distance to the ground of any part of the human body. Instead, they combined the extraction of some global features such as depth data in order to recognize the elderly's daily activities. To this effect, R-transform was used to extract depth silhouettes of elderly body parts, and a hidden Markov model was subsequently used to train and recognize daily household activities. The results showed an average recognition rate of 96,55 %.

According to [X. Ma et al. \(2014\)](#), light is not a problem when extracting silhouettes, since the Kinect sensor uses infrared light. This is very advantageous, as the sensor can also recognize human silhouettes in the dark and extract information from the human skeleton for HAR ([Yong Du et al., 2015](#)). This technique has been widely applied in different studies ([Keceli & Burak Can, 2013](#), [Pazhoumand-Dar et al., 2015](#), [X. Yang & Tian, 2014](#), [Hbali et al., 2018](#)). However, occlusion represents a problem with this approach, as recognition can be affected if the human body is occluded by any object. Therefore, several studies ([Ni et al., 2013](#), [Jalal et al., 2017](#), [Liu & Shao, 2013](#)) have merged spatial-temporal features with RGB cameras and depth data to reduce the occlusion problem. Data merging makes the processing volume larger, which increases feature dimensions. These factors increase the computational complexity of the algorithm for activity recognition.

## Convolutional neural networks

Finally, the current state of the art highlights the growing importance and impact of using convolutional neural networks (CNN) for HAR, as well as their classification and optimization in recent years. Different authors have adopted the use of CNN as a recognition method. For instance, [Hsieh & Jeng \(2018\)](#) applied a feedback CNN of optical flow to video transmission incorporating point estimation histograms, the limit of the object in motion, and limits of the subject in order to detect falls. Moreover, [Yan et al., 2018](#) proposed a novel model of dynamic skeletons called Spatial Temporal Graph Convolutional Networks. This model automatically learns the spatial and temporal patterns of data, which allows for a higher generalization capacity. [Xu et al. \(2020\)](#) also based their research on mapping the human skeleton to predict falls using OPENPOSE, thus obtaining a skeletal map and transforming it into a dataset to then feed the CNN. Other studies involving CNNs are based on the movement of a person. [Wang et al. \(2015\)](#) extracted the trajectory in a determined scenario while attempting to recognize and classify different activities. [Núñez-Marcos et al. \(2017\)](#) used optical flow images as the neural network's input, followed by a training phase to detect falls. Similarly, [Espinosa et al. \(2019\)](#) incorporates optical flow to a CNN that not only learns static information. CNNs have also been used in studies that incorporate depth maps from a Kinect sensor for fall detection ([Rah-nemoonfar & Alkittawi, 2018](#), [Adhikari et al. \(2017\)](#)). [Adhikari et al. \(2017\)](#) concludes that combining RGB image background subtraction and depth images with CNNs provides a possible solution to monitor falls based on indoor videos.

**Table 2.** Databases of human falls

Data base	Videos	Data provided	Environment	Population	Types of falls
URFD (Kwolek & Kepski (2014))	70 videos, 30 falls, and 40 daily activities	RGB depth images, images, and accelerometer signals	Indoors	Adult people	People falling while standing and sitting on a chair
LE2I (Charfi et al., 2013)	191 videos: falls and daily activities	RGB images	Realistic indoors, home environments, and offices with variable lighting, occlusion, and cluttered and textured background	Adult people	Falls when walking, stumbling, and falling from chairs
CMDFALL (COMVIS-PTIT, n.d.)	600 videos with 20 human actions including falls	RGB images, depth images, and accelerometer signals	Home simulation indoors	30 men and 20 women between 21 and 40 years old	Falling backwards and forwards, to the left, and to the right
FALL-UP (Martínez-Villaseñor et al., 2019)	361 videos including falls and daily activities	RGB images, accelerometer signals and different indoor images	Sensors	17 adults between 18 and 24 years old	Different falls
Multiple Cameras Fall Dataset (Auvinet (n.d))	192 videos including falls and daily activities	RGB images	Realistic and indoor home environments with occlusion, disorder, texture, variable lighting, and movement in the background	Adults	Backward falls, forward falls
UCF101 (Soomro et al., 2012)	13.000 clips, 27 hours of video data with 101 human actions	RGB images	Controlled and realistic environments, moving cameras, and cluttered background	Adult people	Different falls

Source: Authors



Lu *et al.* (2017) used a three-dimensional convolutional neural network (3D-CNN) to extract the spatial characteristics of 2D images. It also incorporated video motion information to detect falls, thus reducing the failures caused by image noise, lighting variations, and occlusion. Similarly, C. Ma *et al.* (2019) incorporated a 3D-CNN, albeit hiding the facial regions optically perceivable in the video capture phase, thus helping to protect privacy while using surveillance cameras. Khraief *et al.* (2020) used a CNN with its own characteristics. In this study, the authors created a multi-stream CNN –a CNN with multiple flows. That is to say, four CNNs fed by the same images but extracting different features from them (color, texture, depth, shape, movement). Finally, they concatenated the four CNNs in order to obtain a unique classification of activities for fall detection.

A different CNN-based method to detect falls was proposed by Sreenidhi (2020), in which feature extraction from images of people falling was carried out. The CNN employed facial recognition because the author manifests that human expression when falling is highly distinguishable.

When working with CNNs, a large amount of data is required for training, which may be disadvantageous. For that reason, some authors (Cai *et al.*, 2019, Khraief *et al.* (2020), Li *et al.* (2018)) have used networks based on pre-trained architectures such as AlexNet, VGG16 Krizhevsky *et al.*, 2012, and ResNet He *et al.* (2016).

According to El Kaid *et al.* (2019), although the application of CNNs in activity recognition is successful, it has been done in very restricted environments. None of these networks are flexible enough to work well outside their domain. In this vein, the studies by Debard *et al.* (2016) and Fan *et al.* (2017) are concerned with the functioning of algorithms for detecting human actions, considering real falls, global and local feature extraction, and feature extraction through CNN.

Accordingly, the vast majority of studies focus on HAR using short video data segments captured in artificial environments, optimal conditions, and simulated falls by actors. Thereupon, Debard *et al.* (2016) selected algorithms with a good percentage of activity recognition when used with databases created in controlled or acted scenarios in order to implement them in real environments and falls of real adults. The authors concluded that said algorithms did not have the same efficiency, since they do not consider image quality, overexposure problems, occlusion, and changes in lighting conditions, thus demonstrating that not all the specifications for a robust system in real-world situations are met. Modern clustering techniques, such as the one proposed by Contreras-Contreras *et al.* (2022) could be applied to such databases.

## CONCLUSIONS

This work reviewed the progress made on human activity recognition with an emphasis on elderly falls, showing different devices and techniques to acquire data for subsequent processing and recognition. Furthermore, the main feature extraction methods used in the literature to detect human falls were presented.

Despite the fact that the vast majority of the proposed techniques have a high fall detection percentage and perform well in controlled environments, methods such as global feature extraction are highly sensitive to noise, occlusion, and viewpoint changes.

Similarly, local feature extraction shows a high deficiency when calculating correct interest points. Moreover, interest points are affected by changes in camera view, movement of the background, and camera movement. In addition, the main issue with extracting depth-based features is occlusion, as it may affect human skeleton extraction. Current applications of convolutional neural networks have been successful. However, they are placed in controlled and restricted environments, and their performance is not very good outside their domain.

This work demonstrates the importance of an efficient fall detection method, as well as the great potential of this research area going forward. Although good results are obtained by using the different techniques proposed by the authors mentioned in this paper, the environments where these techniques have been used are controlled, unrealistic, or use simulated falls, which does not contribute to the real advancement of this field. Therefore, presenting the results of these studies in environments similar to reality would have a positive impact, which is why studies that focus on elaborating databases with real falls of adults in non-controlled environments become essential.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to express their sincere thanks to Universidad del Cauca for supporting this research process.

## REFERENCES

- [Adhikari *et al.* (2017)] Adhikari, K., Bouchachia, H., & Nait-Charif, H. (2017, May 8-12). *Activity recognition for indoor fall detection using convolutional neural network* [Conference presentation]. 2017 Fifteenth IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA). Nagoya, Japan. <https://doi.org/10.23919/MVA.2017.7986795> ↑Ver página 222
- [Akhavian & Behzadan, 2016] Akhavian, R., & Behzadan, A. H. (2016). Smartphone-based construction workers' activity recognition and classification. *Automation in Construction*, 71(Part 2), 198-209. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.015> ↑Ver página 215
- [Amiri *et al.* (2014)] Amiri, S. M., Pourazad, M. T., Nasiopoulos, P., & Leung, V. C. M. (2014). Improved human action recognition in a smart home environment setting. *IRBM*, 35(6), 321-328. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2014.10.005> ↑Ver página 217, 220

- [Auvinet (n.d)] Auvinet, E., Rougier, C., Meunier, J., St-Arnaud, A., & Rousseau, J. (n.d.). *Multiple cameras fall dataset*. <http://www.iro.umontreal.ca/~labimage/Dataset/> ↑Ver página 219, 223
- [Auvinet et al., 2011] Auvinet, E., Multon, F., Saint-Arnaud, A., Rousseau, J., & Meunier, J. (2011). Fall detection with multiple cameras: An occlusion-resistant method based on 3-D silhouette vertical distribution. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 15(2), 290-300. <https://doi.org/10.1109/TITB.2010.2087385> ↑Ver página
- [Avci et al., 2010] Avci, A., Bosch, S., Marin-Perianu, M., Marin-Perianu, R., & Havinga, P. (2010, February 22-25). *Activity recognition using inertial sensing for healthcare, wellbeing and sports applications: A survey* [Conference presentation]. 23th International Conference on Architecture of Computing Systems, Hannover, Germany. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5759000> ↑Ver página 215
- [Banos et al., 2012] Banos, O., Damas, M., Pomares, H., Prieto, A., & Rojas, I. (2012). Daily living activity recognition based on statistical feature quality group selection. *Expert Systems with Applications*, 39(9), 8013-8021. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.164> ↑Ver página 215
- [Barbosa-Chacón et al., 2013] Barbosa-Chacón, J. W., Barbosa-Herrera, J. C., & Rodríguez-Villabona, M. (2013). Revision y análisis documental para estado del arte: una propuesta metodológica desde el contexto de la sistematización de experiencias educativas. *Scielo Analytics*, 27, 83-105. [https://doi.org/10.1016/S0187-358X\(13\)72555-3](https://doi.org/10.1016/S0187-358X(13)72555-3) ↑Ver página 216
- [Ben Mabrouk & Zagrouba, 2018] Ben Mabrouk, A., & Zagrouba, E. (2018). Abnormal behavior recognition for intelligent video surveillance systems: A review. *Expert Systems with Applications*, 91, 480-491. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.09.029> ↑Ver página 215
- [Berlin & John (2016)] Berlin, S. J., & John, M. (2016, October 24-27). *Human interaction recognition through deep learning network* [Conference presentation]. 2016 IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST), Orlando, FL, USA. <https://doi.org/10.1109/CCST.2016.7815695> ↑Ver página 220
- [Brophy et al., 2018] Brophy, E., Domínguez-Veiga, J. J., Wang, Z., & Ward, T. E. (2018, June 21-22). *A machine vision approach to human activity recognition using photoplethysmograph sensor data* [Conference presentation]. 2018 29th Irish Signals and Systems Conference (ISSC), Belfast, UK. <https://doi.org/10.1109/ISSC.2018.8585372> ↑Ver página 215
- [Cai et al., 2019] Cai, X., Liu, X., Li, S., & Han, G. (2019, October 16-19). *Fall detection based on colorization coded MHI combining with convolutional neural network* [Conference presentation]. 2019 IEEE 19th International Conference on Communication Technology (ICCT), Xi'an, China. <https://doi.org/10.1109/ICCT46805.2019.8947223> ↑Ver página 224

- [Chakraborty *et al.*, 2012] Chakraborty, B., Holte, M. B., Moeslund, T. B., and González, J. (2012). Selective spatio-temporal interest points. *Computer Vision and Image Understanding*, 116(3), 396-410. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2011.09.010> ↑Ver página 220
- [Charfi *et al.*, 2013] Charfi, I., Miteran, J., Dubois, J., Atri, M., & Tourki, R. (2013). Optimized spatio-temporal descriptors for real-time fall detection: comparison of support vector machine and Adaboost-based classification. *Journal of Electronic Imaging*, 22(4), 041106. <https://doi.org/10.1117/1.JEI.22.4.041106> ↑Ver página 223
- [Chen *et al.*, 2012] Chen, L., Nugent, C. D., & Wang, H. (2012). A knowledge-driven approach to activity recognition in smart homes. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 24(6), 961-974. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2011.51> ↑Ver página 215
- [COMVIS-PTIT, n.d.] Computer Vision Department of the MICA International Research Institute & Posts & Telecommunications Institute of Technology (COMVIS-PTIT) (n.d.). Continuous multimodal multi-view dataset of human fall (CMD FALL). <https://www.mica.edu.vn/perso/Tran-Thi-Thanh-Hai/CMD FALL.html> ↑Ver página 223
- [Concone *et al.* (2019)] Concone, F., Re, G. Lo, & Morana, M. (2019). A fog-based application for human activity recognition using personal smart devices. *ACM Transactions on Internet Technology*, 19(2), 1-20. <https://doi.org/10.1145/3266142> ↑Ver página 218
- [Contreras-Contreras *et al.* (2022)] Contreras-Contreras, G. F., Medina-Delgado, B., Acevedo-Jaimes, B. R., & Guevara-Ibarra, D. (2022). Metodología de desarrollo de técnicas de agrupamiento de datos usando aprendizaje automático. *Tecnura*, 26(72), 42-58. <https://doi.org/10.14483/22487638.17246> ↑Ver página 224
- [Cosar *et al.*, 2017] Cosar, S., Donatiello, G., Bogorny, V., Garate, C., Alvares, L. O., & Bremond, F. (2017). Toward abnormal trajectory and event detection in video surveillance. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 27(3), 683-695. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2016.2589859> ↑Ver página 215
- [Das Dawn & Shaikh (2016)] Das Dawn, D., & Shaikh, S. H. (2016). A comprehensive survey of human action recognition with spatio-temporal interest point (STIP) detector. *The Visual Computer*, 32(3), 289-306. <https://doi.org/10.1007/s00371-015-1066-2> ↑Ver página 218, 220
- [Debard *et al.* (2016)] Debard, G., Mertens, M., Deschodt, M., Vlaeyen, E., Devriendt, E., Dejaeger, E., Milisen, K., Tournoy, J., Croonenborghs, T., Goedemé, T., Tuytelaars, T., & Vanrumste, B. (2016). Camera-based fall detection using real-world versus simulated data: How far are we from the solution? *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 8(2) 149-168. <https://doi.org/10.3233/AIS-160369> ↑Ver página 224

- [Durrant-Whyte *et al.*, 2012] Durrant-Whyte, H., Roy, N., & Abbeel, P. (2012). *Robotics: Science and Systems VII*. MIT Press. ↑Ver página 215
- [Efros *et al.* (2003)] Efros, Berg, Mori, & Malik. (2003, October 13-16). *Recognizing action at a distance* [Conference presentation]. 9th IEEE International Conference on Computer Vision, Nice, France. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2003.1238420> ↑Ver página 219
- [El Kaid *et al.* (2019)] El Kaid, A., Baïna, K., & Baïna, J. (2019). Reduce false positive alerts for elderly person fall video-detection algorithm by convolutional neural network model. *Procedia Computer Science*, 148, 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.004> ↑Ver página 224
- [Elbasiony & Gomaa,] Elbasiony, R., & Gomaa, W. (2020). A survey on human activity recognition based on temporal signals of portable inertial sensors. In A. E. Hassanien, A. T. Azar, T. Gaber, R. Bhatnagar, & M. F. Tolba (Eds.), *The International Conference on Advanced Machine Learning Technologies and Applications (AMLTA2019)* (pp. 734-745). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14118-9\\_72](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14118-9_72) ↑Ver página 215
- [Espinosa *et al.* (2019)] Espinosa, R., Ponce, H., Gutiérrez, S., Martínez-Villaseñor, L., Brieva, J., & Moya-Albor, E. (2019). A vision-based approach for fall detection using multiple cameras and convolutional neural networks: A case study using the UP-Fall detection dataset. *Computers in Biology and Medicine*, 115, 103520. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2019.103520> ↑Ver página 222
- [Fan *et al.* (2017)] Fan, Y., Levine, M. D., Wen, G., & Qiu, S. (2017). A deep neural network for real-time detection of falling humans in naturally occurring scenes. *Neurocomputing*, 260, 43-58. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.02.082> ↑Ver página 224
- [Foroughi *et al.*, 2008] Foroughi, H., Aski, B. S., & Pourreza, H. (2008). *Intelligent video surveillance for monitoring fall detection of elderly in home environments* [Conference presentation]. 2008 11th International Conference on Computer and Information Technology, Khulna, Bangladesh. <https://doi.org/10.1109/ICCITECHN.2008.4803020> ↑Ver página 218, 219
- [Goudelis *et al.*, 2015] Goudelis, G., Tsatiris, G., Karpouzis, K., & Kollias, S. (2015). Fall detection using history triple features. In ACM (Eds.), *Proceedings of the 8th ACM International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA '15* (art. 81). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2769493.2769562> ↑Ver página 218, 219
- [Han *et al.*, 2013] Han, J., Shao, L., Xu, D., & Shotton, J. (2013). Enhanced computer vision with Microsoft Kinect sensor: A review. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 43(5), 1318-1334. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2013.2265378> ↑Ver página 215

- [Harris & Stephens (1988)] Harris, C., & Stephens, M. (1988). A combined edge and corner detector. In C. J. Taylor (Ed.), *Proceedings of the Alvey Vision Conference* (pp. 23.1-23.6). Alvey Vision Club. [↑Ver página 220](#)
- [Hassan *et al.* (2018)] Hassan, M. M., Uddin, M. Z., Mohamed, A., & Almogren, A. (2018). A robust human activity recognition system using smartphone sensors and deep learning. *Future Generation Computer Systems*, 81, 303-313. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.11.029> [↑Ver página 216](#)
- [Hbali *et al.*, 2018] Hbali, Y., Hbali, S., Ballihi, L., & Sadgal, M. (2018). Skeleton-based human activity recognition for elderly monitoring systems. *IET Computer Vision*, 12(1), 16-26. <https://doi.org/10.1049/iet-cvi.2017.0062> [↑Ver página 222](#)
- [He *et al.* (2016)] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016, June 27-30). Deep residual learning for image recognition [Conference presentation]. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, NV, USA. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90> [↑Ver página 224](#)
- [J.-W. Hsieh *et al.*, 2014] Hsieh, J.-W., Chuang, C.-H., Alghyaline, S., Chiang, H.-F., & Chiang, C.-H. (2014). Abnormal scene change detection from a moving camera using bags of patches and spider-web map. *IEEE Sensors Journal*, 15(5), 2866-2881. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2014.2381257> [↑Ver página 215](#)
- [Hsieh & Jeng (2018)] Hsieh, Y.-Z., & Jeng, Y.-L. (2018). Development of home intelligent fall detection iot system based on feedback optical flow convolutional neural network. *IEEE Access*, 6, 6048-6057. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2771389> [↑Ver página 222](#)
- [Ismail *et al.*, 2015] Ismail, S. J., Rahman, M. A. A., Mazlan, S. A., & Zamzuri, H. (2015, October 18-20). *Human gesture recognition using a low cost stereo vision in rehab activities* [Conference presentation]. 2015 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IRIS), Langkawi, Malaysia. <https://doi.org/10.1109/IRIS.2015.7451615> [↑Ver página 215](#)
- [Jalal *et al.*, 2017] Jalal, A., Kim, Y.-H., Kim, Y.-J., Kamal, S., & Kim, D. (2017). Robust human activity recognition from depth video using spatiotemporal multi-fused features. *Pattern Recognition*, 61, 295-308. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2016.08.003> [↑Ver página 222](#)
- [Jalal *et al.* (2012)] Jalal, A., Uddin, M. Z., Kim, J. T., & Kim, T.-S. (2012). Recognition of human home activities via depth silhouettes and  $\mathfrak{R}$  transformation for smart homes. *Indoor and Built Environment*, 21(1), 184-190. <https://doi.org/10.1177/1420326X11423163> [↑Ver página 221, 222](#)
- [Kahani *et a.*, 2019] Kahani, R., Talebpour, A., & Mahmoudi-Aznaveh, A. (2019). A correlation based feature representation for first-person activity recognition. *Multimedia Tools and Applications*, 78, 21673-21694. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-7429-3> [↑Ver página 215](#)

- [Keceli & Burak Can, 2013] Keceli, A. S., & Burak Can, A. (2013, April 24-26). *Recognition of human actions by using depth information* [Conference presentation]. 2013 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Haspolat, Turkey. <https://doi.org/10.1109/SIU.2013.6531211> ↑Ver página 222
- [Khan *et al.* (2011)] Khan, Z. A., & Sohn, W. (2011). Abnormal human activity recognition system based on R-transform and kernel discriminant technique for elderly home care. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 57(4), 1843-1850. <https://doi.org/10.1109/TCE.2011.6131162> ↑Ver página 217, 218
- [Khan *et al.* (2013)] Khan, Z. A., & Sohn, W. (2013). A hierarchical abnormal human activity recognition system based on R-transform and kernel discriminant analysis for elderly health care. *Computing*, 95(2), 109-127. <https://doi.org/10.1007/s00607-012-0216-x> ↑Ver página 217, 218
- [Khraief *et al.*, 2019] Khraief, C., Benzarti, F., & Amiri, H. (2019). Convolutional Neural network based on dynamic motion and shape variations for elderly fall detection. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 9(6), 814-820. <https://doi.org/10.18178/ijmlc.2019.9.6.878> ↑Ver página
- [Khraief *et al.* (2020)] Khraief, C., Benzarti, F., & Amiri, H. (2020). Elderly fall detection based on multi-stream deep convolutional networks. *Multimedia Tools and Applications*, 79, 19537-19560. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-08812-x> ↑Ver página 224
- [Kim *et al.*, 2010] Kim, E., Helal, S., & Cook, D. (2010). Human activity recognition and pattern discovery. *IEEE Pervasive Computing*, 9(1), 48-53. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2010.7> ↑Ver página 215
- [Krizhevsky *et al.*, 2012] Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. (2012). *ImageNet classification with deep convolutional neural networks* [Conference presentation]. 26th Annual Conference on Neural Information Processing Systems, Lake Tahoe, NV, USA. <https://proceedings.neurips.cc/paper/2012/file/c399862d3b9d6b76c8436e924a68c45b-Paper.pdf> ↑Ver página 224
- [Kwolek & Kepski (2014)] Kwolek, B., & Kepski, M. (2014). Human fall detection on embedded platform using depth maps and wireless accelerometer. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 117(3), 489-501. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2014.09.005> ↑Ver página 217, 221, 223
- [Laptev & Lindeberg (2003)] Laptev, I., & Lindeberg, T. (2003, October 13-16). *Space-time interest points* [Conference presentation]. Ninth IEEE International Conference on Computer Vision, Nice, France. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2003.1238378> ↑Ver página 220

- [Laptev, 2005] Laptev, I. (2005). On space-time interest points. *International Journal of Computer Vision*, 64, 107-123. <https://doi.org/10.1007/s11263-005-1838-7> ↑Ver página 220
- [Lawrence et al., 2010] Lawrence, E., Sax, C., Navarro, K. F., & Qiao, M. (2010, February 10-16). *Interactive games to improve quality of life for the elderly: Towards integration into a WSN monitoring system* [Conference presentation]. 2010 Second International Conference on EHealth, Telemedicine, and Social Medicine, Saint Marteen, Netherlands Antilles. <https://doi.org/10.1109/eTELEMED.2010.21> ↑Ver página 215
- [Li et al. (2018)] Li, H., Shrestha, A., Fioranelli, F., Kernec, J. Le, & Heidari, H. (2018, October 28-31). *Hierarchical classification on multimodal sensing for human activity recognition and fall detection* [Conference presentation]. 2018 IEEE SENSORS, New Delhi, India. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2018.8589797> ↑Ver página 215, 224
- [Li et al., 2017] Li, X., Pang, T., Liu, W., & Wang, T. (2017, October 14-16). *Fall detection for elderly person care using convolutional neural networks* [Conference presentation]. 2017 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI), Shanghai, China. <https://doi.org/10.1109/CISP-BMEI.2017.8302004> ↑Ver página
- [Liu & Shao, 2013] Liu, L., & Shao, L. (2013). Learning discriminative representations from RGB-D video data. In F. Rossi (Ed.), *IJCAI '13: Proceedings of the Twenty-Third international joint conference on Artificial Intelligence* (pp. 1493-1500). ACM <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2540128.2540343> ↑Ver página 222
- [Liu et al., 2014] Liu, Y., Li, X., & Jia, L. (2014, June 29 - July 4). *Abnormal crowd behavior detection based on optical flow and dynamic threshold* [Conference presentation]. 11th World Congress on Intelligent Control and Automation, Shenyang, China. <https://doi.org/10.1109/WCICA.2014.7053189> ↑Ver página 215
- [Lohit et al. (2018)] Lohit, S., Bansal, A., Shroff, N., Pillai, J., Turaga, P., & Chellappa, R. (2018, June 18-22). *Predicting dynamical evolution of human activities from a single image* [Conference presentation]. 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), Salt Lake City, UT, USA. <https://doi.org/10.1109/CVPRW.2018.00079> ↑Ver página 215
- [Lu et al. (2017)] Lu, N., Ren, X., Song, J., & Wu, Y. (2017, August 20-23). *Visual guided deep learning scheme for fall detection* [Conference presentation]. 2017 13th IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Xi'an, China. <https://doi.org/10.1109/COASE.2017.8256202> ↑Ver página 222
- [C. Ma et al. (2019)] Ma, C., Shimada, A., Uchiyama, H., Nagahara, H., & Taniguchi, R. (2019). Fall detection using optical level anonymous image sensing system. *Optics & Laser Technology*, 110, 44-61. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.07.013> ↑Ver página 224



- [X. Ma *et al.* (2014)] Ma, X., Wang, H., Xue, B., Zhou, M., Ji, B., & Li, Y. (2014). Depth-based human fall detection via shape features and improved extreme learning machine. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 18(6), 1915-1922. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2014.2304357> ↑Ver página 217, 221, 222
- [Martínez-Villaseñor *et al.*, 2019] Martínez-Villaseñor, L., Ponce, H., Brieva, J., Moya-Albor, E., Núñez-Martínez, J., & Peñafort-Asturiano, C. (2019). UP-Fall detection dataset: A multimodal approach. *Sensors*, 19(9), 1988. <https://doi.org/10.3390/s19091988> ↑Ver página 223
- [Mastorakis & Makris (2014)] Mastorakis, G., & Makris, D. (2014). Fall detection system using Kinect's infrared sensor. *Journal of Real-Time Image Processing*, 9(4), 635-646. <https://doi.org/10.1007/s11554-012-0246-9> ↑Ver página 221
- [Nguyen *et al.*, 2015] Nguyen, T. V., Song, Z., & Yan, S. (2015). STAP: Spatial-Temporal Attention-Aware Pooling for action recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 25(1), 77-86. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2014.2333151> ↑Ver página 220
- [Nguyen *et al.*, 2016] Nguyen, V. A., Le, T. H., & Nguyen, T. T. (2016). Single camera based fall detection using motion and human shape features. In ACM (Eds.), *Proceedings of the Seventh Symposium on Information and Communication Technology - SoICT '16*. (pp. 339-344) ACM Press. <https://doi.org/10.1145/3011077.3011103> ↑Ver página 219
- [Ni *et al.*, 2013] Ni, B., Pei, Y., Moulin, P., & Yan, S. (2013). Multilevel depth and image fusion for human activity detection. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 43(5), 1383-1394. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2013.2276433> ↑Ver página 222
- [Nivia-Vargas & Jaramillo-Jaramillo (2018)] Nivia-Vargas, A. M., & Jaramillo-Jaramillo, I. (2018). La industria de sensores en Colombia. *Tecnura*, 22(57), 44-54. <https://doi.org/10.14483/22487638.13518> ↑Ver página 217
- [Nizam *et al.* (2017)] Nizam, Y., Mohd, M. N. H., & Jamil, M. M. A. (2017). Human fall detection from depth images using position and velocity of subject. *Procedia Computer Science*, 105, 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.191> ↑Ver página 221
- [Núñez-Marcos *et al.* (2017)] Núñez-Marcos, A., Azkune, G., & Arganda-Carreras, I. (2017). Vision-based fall detection with convolutional neural networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2017, 9474806. <https://doi.org/10.1155/2017/9474806> ↑Ver página 222
- [OMS, 2015] OMS (WHO) (2015). *Datos interesantes acerca del envejecimiento*. <http://www.who.int/ageing/about/facts/es/> ↑Ver página

- [Panahi & Ghods (2018)] Panahi, L., & Ghods, V. (2018). Human fall detection using machine vision techniques on RGB-D images. *Biomedical Signal Processing and Control*, 44, 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2018.04.014> ↑Ver página 217
- [Pava *et al.*, 2021] Pava, R., Pérez-Castillo, J. N., & Niño-Vásquez, L. F. (2021). Perspectiva para el uso del modelo P6 de atención en salud bajo un escenario soportado en IoT y blockchain. *Tecnura*, 25(67), 112-130. <https://doi.org/10.14483/22487638.16159> ↑Ver página 215
- [Pazhoumand-Dar *et al.*, 2015] Pazhoumand-Dar, H., Lam, C.-P., & Masek, M. (2015). Joint movement similarities for robust 3D action recognition using skeletal data. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 30, 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2015.03.002> ↑Ver página 222
- [Peng *et al.* (2016)] Peng, X., Wang, L., Wang, X., & Qiao, Y. (2016). Bag of visual words and fusion methods for action recognition: Comprehensive study and good practice. *Computer Vision and Image Understanding*, 150, 109-125. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2016.03.013> ↑Ver página 220
- [Planinc & Kampel, 2013] Planinc, R., & Kampel, M. (2013). Introducing the use of depth data for fall detection. *Personal and Ubiquitous Computing*, 17(6), 1063-1072. <https://doi.org/10.1007/s00779-012-0552-z> ↑Ver página 221
- [Preis *et al.*, 2012] Preis, J., Kessel, M., Werner, M., & Linnhoff-Popien, C. (2012). *Gait Recognition with Kinect*. [https://www.researchgate.net/publication/239862819\\_Gait\\_Recognition\\_with\\_Kinect/citations](https://www.researchgate.net/publication/239862819_Gait_Recognition_with_Kinect/citations) ↑Ver página 215
- [Rafferty *et al.*, 2017] Rafferty, J., Nugent, C. D., Liu, J., & Chen, L. (2017). From activity recognition to intention recognition for assisted living within smart homes. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 47(3), 368-379. <https://doi.org/10.1109/THMS.2016.2641388> ↑Ver página 215
- [Rahnemoonfar & Alkittawi, 2018] Rahnemoonfar, M., & Alkittawi, H. (2018, December 10-13). *Spatio-temporal convolutional neural network for elderly fall detection in depth video cameras* [Conference presentation]. 2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), Seattle, WA, USA. <https://doi.org/10.1109/BigData.2018.8622342> ↑Ver página 222
- [Rosati *et al.*, 2018] Rosati, S., Balestra, G., & Knaflitz, M. (2018). Comparison of different sets of features for human activity recognition by wearable sensors. *Sensors*, 18(12), 4189. <https://doi.org/10.3390/s18124189> ↑Ver página 217
- [Rougier *et al.* (2007)] Rougier, C., Meunier, J., St-Arnaud, A., & Rousseau, J. (2007, May 21-23). *Fall detection from human shape and motion history using video surveillance* [Conference presentation]. 21st

- International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07), Niagara Falls, ON, Canada. <https://doi.org/10.1109/AINAW.2007.181> ↑Ver página 219
- [Ryoo, 2011] Ryoo, M. S. (2011, November 6-13). *Human activity prediction: Early recognition of ongoing activities from streaming videos* [Conference presentation]. 2011 International Conference on Computer Vision, Barcelona, Spain. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2011.6126349> ↑Ver página 215
- [Saini *et al.*, 2018] Saini, R., Kumar, P., Roy, P. P., & Dogra, D. P. (2018). A novel framework of continuous human-activity recognition using Kinect. *Neurocomputing*, 311, 99-111. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.05.042> ↑Ver página 215
- [Sazonov *et al.*, 2011] Sazonov, E., Metcalfe, K., Lopez-Meyer, P., & Tiffany, S. (2011, November 28 - December 1). *RF hand gesture sensor for monitoring of cigarette smoking* [Conference presentation]. 2011 Fifth International Conference on Sensing Technology, Palmerson North, New Zealand. <https://doi.org/10.1109/ICSensT.2011.6137014> ↑Ver página 215
- [Shotton *et al.*, 2011] Shotton, J., Fitzgibbon, A., Cook, M., Sharp, T., Finocchio, M., Moore, R., Kipman, A., & Blake, A. (2011, June 20-25). *Real-time human pose recognition in parts from single depth images* [Conference presentation]. CVPR 2011, Colorado Springs, CO, USA. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2011.5995316> ↑Ver página 221
- [Soomro *et al.*, 2012] Soomro, K., Roshan, A., & Shah, M. (2012). UCF101: A Dataset of 101 human actions classes from videos in the wild. *arXiv preprint*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1212.0402> ↑Ver página 223
- [Sreenidhi (2020)] Sreenidhi, I. (2020). Real-time human fall detection and emotion recognition using embedded device and deep learning. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(3), 780-786. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/28832020> ↑Ver página 224
- [Suto & Oniga, 2019] Suto, J., & Oniga, S. (2019). Efficiency investigation from shallow to deep neural network techniques in human activity recognition. *Cognitive Systems Research*, 54, 37-49. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2018.11.009> ↑Ver página 215
- [Uzunovic *et al.*, 2018] Uzunovic, T., Golubovic, E., Tucakovic, Z., Acikmese, Y., & Sabanovic, A. (2018, October 21-23). *Task-based control and human activity recognition for human-robot collaboration* [Conference presentation]. IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Washington DC, USA. <https://doi.org/10.1109/IECON.2018.8591206> ↑Ver página 215

- [Venkatesha & Turk (2010)] Venkatesha, S., & Turk, M. (2010, August 23-26). *Human activity recognition using local shape descriptors* [Conference presentation]. 2010 20th International Conference on Pattern Recognition, Istanbul, Turkey. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2010.902> ↑Ver página 220
- [Vrigkas et al. (2015)] Vrigkas, M., Nikou, C., & Kakadiaris, I. A. (2015). A review of human activity recognition methods. *Frontiers in Robotics and AI*, 2, 28. <https://doi.org/10.3389/frobt.2015.00028> ↑Ver página 215, 216
- [Wang et al. (2015)] Wang, L., Qiao, Y., & Tang, X. (2015, June 7-12). *Action recognition with trajectory-pooled deep-convolutional descriptors* [Conference presentation]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Boston, MA, USA. ↑Ver página 222
- [Xu et al. (2020)] Xu, Q., Huang, G., Yu, M., & Guo, Y. (2020). Fall prediction based on key points of human bones. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 540, 123205. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.123205> ↑Ver página 222
- [Yan et al., 2018] Yan, S., Xiong, Y., & Lin, D. (2018). Spatial temporal graph convolutional networks for skeleton-based action recognition. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 32(1), 12328. <https://doi.org/10.1609/aaai.v32i1.12328> ↑Ver página 222
- [L. Yang et al. (2016)] Yang, L., Ren, Y., & Zhang, W. (2016). 3D depth image analysis for indoor fall detection of elderly people. *Digital Communications and Networks*, 2(1), 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2015.12.001> ↑Ver página 217
- [X. Yang & Tian, 2014] Yang, X., & Tian, Y. (2014). Effective 3D action recognition using EigenJoints. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 25(1), 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2013.03.001> ↑Ver página 222
- [Y. Yang et al., 2019] Yang, Y., Hou, C., Lang, Y., Guan, D., Huang, D., & Xu, J. (2019). Open-set human activity recognition based on micro-Doppler signatures. *Pattern Recognition*, 85, 60-69. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2018.07.030> ↑Ver página 215
- [Yao et al., 2017] Yao, L., Min, W., & Lu, K. (2017). A new approach to fall detection based on the human torso motion model. *Applied Sciences*, 7(10), 993. <https://doi.org/10.3390/app7100993> ↑Ver página 221
- [Yong Du et al., 2015] Yong Du, Wang, W., & Wang, L. (2015, June 7-12). *Hierarchical recurrent neural network for skeleton based action recognition* [Conference presentation]. 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Boston, MA, USA. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298714> ↑Ver página 222

- [Yu *et al.*, 2012] Yu, M., Naqvi, S. M., Rhuma, A., & Chambers, J. (2012). One class boundary method classifiers for application in a video-based fall detection system. *IET Computer Vision*, 6(2), 90-100. <https://doi.org/10.1049/iet-cvi.2011.0046> ↑Ver página 218, 219
- [Yu *et al.*, 2013] Yu, M., Yu, Y., Rhuma, A., Naqvi, S. M. R., Wang, L., & Chambers, J. A. (2013). An online one class support vector machine-based person-specific fall detection system for monitoring an elderly individual in a room environment. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 17(6), 1002-1014. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2013.2274479> ↑Ver página 217, 218, 219
- [H.-B. Zhang *et al.* (2019)] Zhang, H.-B., Zhang, Y.-X., Zhong, B., Lei, Q., Yang, L., Du, J.-X., & Chen, D.-S. (2019). A comprehensive survey of vision-based human action recognition methods. *Sensors*, 19(5), 1005. <https://doi.org/10.3390/s19051005> ↑Ver página 220, 221
- [S. Zhang *et al.* (2017)] Zhang, S., Wei, Z., Nie, J., Huang, L., Wang, S., & Li, Z. (2017). A review on human activity recognition using vision-based method. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017, 3090343. <https://doi.org/10.1155/2017/3090343> ↑Ver página 218, 219, 220
- [Zhu *et al.* (2011)] Zhu, Y., Zhao, X., Fu, Y., & Liu, Y. (2011). Sparse coding on local spatial-temporal volumes for human action recognition. In R. Kimmel, R. Klette, & A. Sugimoto (Eds.), *Computer Vision - ACCV 2010* (pp. 660-671). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-19309-5\\_51](https://doi.org/10.1007/978-3-642-19309-5_51) ↑Ver página 220



## 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 aparecen 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://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](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](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto: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](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto: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://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](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](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto: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](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)

Web page:

<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>

## Volume 26 Number 71, 72, 73, 74 2022

### RESEARCH

Branch Optimal Power Flow Model for DC Networks with Radial Structure: A Conic Relaxation

Colombian sign language recognition using convolutional neural networks and motion capture

Comparative Methods for Solving Optimal Power Flow in Distribution Networks Computational models in posturography

Considering Distributed Generators: Metaheuristics vs. Convex Optimization

Design of a simulation model that represents the collective intelligence genome of (malone *et al.*, 2010)

Development Methodology of Techniques for Data Clustering Using Machine Learning

Environmental, Biological, and Fishing Factors Influencing Fish Mortality and Development of the Cachirra event, Navío Quebrao Lagoon

Firefly Algorithm for Facility Layout Optimization

Homogenization Analysis in Particle Boards with Rice Husk Reinforcement

Low-cost Prototype Pyrgeometer for Atmospheric Radiation Measurements

Magnetic Barkhausen Noise Measurements on Rocks

Measuring parameters in transmission lines with embedded systems

Method for the assessment of a feedback control strategy on the power grasp functionality with a prosthetic robotic hand

Methodology to identify areas and elevated structures with the greatest amount of lightning impacts in Barrancabermeja-Yondó

Modeling of Mass Movement Phenomena to Determine the Depth of Rainfall Infiltration into the Soil

Monitoring system for electrical variables implementing blockchain and Python

Multitemporal Analysis of Urban Expansion in the Municipality of Madrid, Cundinamarca, between 1977 and 2020

Parameter Determination of Coupled and Decoupled Admittance Matrix Methods of the Norton Equivalent Model for an Air Extractor

Project management model for IT consulting SMEs in Bogotá, based on agile frameworks

Selection of tourism guides by agencies to carry out tours in cases of immediacy in

Cartagena de Indias

The Environmental education and healthy housing as strategies for the prevention of COVID-19 at the household level

## CASE STUDY

Evaluation of the number of publications in computer science in South America in a period of 20 years

Evaluation of two types of adsorbents for the recovery of hydrocarbon vapors generated at the RECOPE plant in Ochomogo

Learning Strategy for Programming Supported by Meaningful Learning, Brain-Based Learning, and Aesthetic Disposition

Portland Cement Mortars Tested with Two Superplasticizers: A Case Study to Reduce Cement and Water in Concrete

Technological resources used by university professors of engineering careers in virtual times in Barranquilla (Colombia)

Urban Drainage Water Quality Modeling on the SWMM Software, Northeastern Sector,

Santa Inés District, Tunja

Walking speed characterization. Case study pedestrian bridge

## TOPIC REVIEW

Human Activity Recognition via Feature Extraction and Artificial Intelligence Techniques: A Review

New challenges for small and medium-sized businesses in times of pandemic

Quantitative methods of public space evaluation: Contribution to the fulfillment of the SDGs

Taxonomy of Outsourcing Alternatives Through Systematic Literature Review

The From Sustainable Development to Social Responsibility: A perspective of Scientific Production Indicators and General Interest in Spanish

## REFLECTION

Employing Robotics in a Health Emergency



## Volumen 26

## Número 71, 72, 73, 74

2022

### INVESTIGACIÓN

Algoritmo luciérnaga para la optimización de distribución en planta

Análisis de homogenización en paneles aglomerados con refuerzo de cascarilla de arroz

Análisis multitemporal de la expansión urbana en el municipio de Madrid, Cundinamarca, entre 1977 y 2020

Determinación de parámetros de métodos de matriz de admitancia acoplada y desacoplada del modelo Equivalente Norton para extractor de aire

Diseño de modelo de simulación que representa el genoma de inteligencia colectiva de Malone, Laubacher y Dellarocas

Educación ambiental y vivienda saludable como estrategias de prevención del COVID-19 a nivel Domiciliario

Factores ambientales, biológicos y pesqueros que influyen en la mortalidad de peces y el desarrollo del evento Cachirra, Laguna Navío Quebrao

Flujo de Potencia Óptimo de Ramas para Redes DC con Estructura Radial: Una Relajación Cónica

Medición de parámetros en líneas de

transmisión con sistemas embebidos

Mediciones del Ruido Magnético Barkhausen en rocas

Método para evaluación de una estrategia de control realimentado en la funcionalidad de agarre de poder con una prótesis de mano robótica

Metodología de desarrollo de técnicas de agrupamiento de datos usando aprendizaje automático

Metodología para identificar zonas y estructuras elevadas con mayor cantidad de impactos de rayos en Barrancabermeja-Yondó

Métodos comparativos para la solución óptima del flujo de energía en redes de distribución considerando generadores distribuidos: metaheurística vs. optimización convexa

Modelado del fenómeno de remoción de masa para determinar la profundidad de infiltración de la lluvia en el suelo

Modelo en gerencia de proyectos para pymes de consultoría informática en Bogotá, basado en marcos ágiles de trabajo

Modelos computacionales en la posturografía

Prototipo de pirgeómetro de bajo costo para mediciones de radiación atmosférica

Reconocimiento de lengua de señas colombiana mediante redes neuronales convolucionales y captura de movimiento

Selección de guías de turismo por parte de agencias para realizar recorridos en casos de inmediatez en Cartagena de Indias

Sistema de monitoreo de variables eléctricas implementando blockchain y Python

Ubicación de un operador logístico para varios periodos de un horizonte de planeación utilizando programación lineal

## ESTUDIO DE CASO

Caracterización de la velocidad de caminata. Caso de estudio puente peatonal

Estrategia de aprendizaje de la programación apoyado en aprendizaje significativo, brain-based learning y disposición estética

Evaluación de dos tipos de adsorbentes para la recuperación de vapores de hidrocarburos generados en Plantel de Recope en Ochoyogo

Evaluación del número de publicaciones en ciencias de la computación en Suramérica en un periodo de veinte años

Modelación de calidad de agua del drenaje urbano en el software SWMM, sector

nororiental, Santa Inés, Tunja

Morteros de cemento Portland probados con dos superplastificantes: estudio de caso para la reducción de cemento y agua en concretos

Recursos tecnológicos utilizados por profesores universitarios de carreras de ingeniería, en tiempos de virtualidad en Barranquilla (Colombia)

## REVISIÓN DE TEMA

Del desarrollo sostenible a la responsabilidad social: una perspectiva de indicadores de producción científica e interés general en español

Métodos cuantitativos de evaluación del espacio público: aporte al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Nuevos desafíos de las pequeñas y medianas empresas en tiempos de pandemia

Reconocimiento de actividades humanas por medio de extracción de características y técnicas de inteligencia artificial: una revisión

Taxonomía de las alternativas de outsourcing mediante revisión sistemática de literatura

## REFLEXIÓN

Uso de robótica en una emergencia sanitaria

## Volumen 26 Número 71, 72, 73, 74 2022

### **Adriana Valencia-Valencia**

Bachelor of Psychology, Master's in Management and Development of Education. Digital Product Manager at MacMillan, Mexico City, Mexico.

<https://orcid.org/0000-0003-1479-9477>  
[avalenciavale@gmail.com](mailto:avalenciavale@gmail.com)

### **Aldemar Gordillo Galeano**

Doctor en Ciencias Farmacéuticas, Universidad Nacional, magíster en Ciencias Farmacéuticas, Universidad Nacional. Químico, Universidad Nacional; docente e investigador, miembro del grupo de Investigación en Desarrollo y Calidad de Productos Farmacéuticos y Cosméticos de la Universidad Nacional de Colombia, y asociado de Patentes en Olarte Moure & Asociados. Bogotá, Colombia.

### **Alejandra Martínez-Peñaloza**

Electrical Engineer, Electrical Engineering Master's and PhD student at Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-0328-4478>  
[alejandra2198146@correo.uis.edu.co](mailto:alejandra2198146@correo.uis.edu.co)

### **Alexander Molina-Cabrera**

PhD in Engineering, Master's degree in Electrical Engineering, electrical engineer. Associate professor of the Department of Engineering, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

### **Andrea Muñoz-Zapata**

Materials engineer, Universidad de Antioquia. CComposites laboratory, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

[andreamuzzap@gmail.com](mailto:andreamuzzap@gmail.com)

### **Andrés Arias-Londoño**

PhD in Engineering, Master's degree in Electrical Engineering, electrical engineer. Assistant professor of the Department of Engineering, Institución Universitaria

Pascual Bravo, Medellín, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-6210-3449>  
[andres.arias366@pascualbravo.edu.co](mailto:andres.arias366@pascualbravo.edu.co)

### **Angelo Joseph Soto-Vergel**

Ingeniero electrónico, tecnólogo en Análisis y Diseño de Sistemas de Información, especialista en Tecnologías Avanzadas para el Desarrollo de Software, magíster en Educación Matemática. Docente de la Universidad Francisco de Paula Santander, Norte de Santander, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-5093-0183>  
[angelosephsv@ufps.edu.co](mailto:angelosephsv@ufps.edu.co)

### **Jemay Mosquera**

Architect. PhD in Architecture, Postdoctoral Fellow in Cities and Megacities. Full professor and director of the Gestión Integral del Territorio (Integral Territory Management, GIT) research group of Universidad de Pamplona. Pamplona, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-5989-5644>  
[jemay.mosquera@unipamplona.edu.co](mailto:jemay.mosquera@unipamplona.edu.co)

### **Brandon Steven Ardila Murillo**

Ingeniero electricista. Estudiante de la Maestría en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-9805-7245>  
[brandon2208141@correo.uis.edu.co](mailto:brandon2208141@correo.uis.edu.co)

### **Brayan René Acevedo Jaimes**

Ingeniero electrónico, magíster en Ingeniería Eléctrica. Investigador Computational Intelligence Laboratory, LITC, Belo Horizonte, Brasil.

<https://orcid.org/0000-0001-9643-656X>  
[payo.rene@ufmg.br](mailto:payo.rene@ufmg.br)

### **Byron Medina Delgado**

Ingeniero electrónico, magíster en Ingeniería Electrónica, doctor en Ciencias. Profesor de la Universidad Francisco



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

# ÍNDICE PERIÓDICO DE AUTORES

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/about/submissions>

de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-0754-8629>

[byronmedina@ufps.edu.co](mailto:byronmedina@ufps.edu.co)

## Camilo Alberto Torres Parra

Ingeniero Ambiental y Sanitario, especialista en Gerencia de Proyectos, magister en Educación. Docente de la Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.

[catorres@ucatolica.edu.co](mailto:catorres@ucatolica.edu.co)

## Carlos Alberto Ramírez-Vanegas

Master in Electrical Engineering, Electrical Engineer. Professor Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.

## Carlos Alberto Gaviria López

Doctor en Automatización Avanzada y Robótica, ingeniero en Electrónica. Docente titular Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-9773-7660>

[cgaviria@unicauca.edu.co](mailto:cgaviria@unicauca.edu.co)

## Carlos Augusto Toledo Bueno

Master in Industrial Engineering, Mechanical Engineer, Full professor, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-6437-092X>

[catoledob@udistrital.edu.co](mailto:catoledob@udistrital.edu.co)

## Carlos Parra-Ortega

Systems Engineer. PhD in Applied Sciences, Full profesor of Universidad de Pamplona. Pamplona, Colombia.

[carapa@unipamplona.edu.co](mailto:carapa@unipamplona.edu.co)

## César Alexander Chacón-Cardona

Posgraduate studies: Master's and Doctoral Degrees in Science, Physics; Undergraduate studies: physicist. Assistant professor at Universidad Distrital Francisco José de Caldas and member of the Electromagnetic Compatibility (CEM) research group, Bogotá D.C., Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-7219-5287>

[cachaconc@udistrital.edu.co](mailto:cachaconc@udistrital.edu.co)

## César Augusto García-Ubaque

PhD in Engineering. Full professor, Department of Technology, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-1825-0097>

[cagarciau@udistrital.edu.co](mailto:cagarciau@udistrital.edu.co)

## Cesar Augusto López Ramírez

Master of Industrial Engineering, Industrial Engineering. Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-8324-7003>

[cesar.lopez04@uptc.edu.co](mailto:cesar.lopez04@uptc.edu.co)

## César Quintana-Cabeza

Civil Engineer. Master in Environmental Engineering. Professor at Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-2553-950X>

[cdquintana@ucatolica.edu.co](mailto:cdquintana@ucatolica.edu.co)

## Cristian Camilo Serrano-Franco

Student of the Electronics Technician program (propaedeutic cycles). Student, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-4721-3911>

[ccserranof@correo.udistrital.edu.co](mailto:ccserranof@correo.udistrital.edu.co)

## Daniel Alejandro Moreno-Arias

Projects engineer, Controller, NETWORKS FOREVER company, Bogotá DC, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-2105-1299>

[daniel.moreno@n4e.com.co](mailto:daniel.moreno@n4e.com.co)

## Darwin Orlando Cardozo-Sarmiento

Ingeniero electrónico, magíster en Ingeniería Electrónica. Docente de la Universidad Francisco de Paula Santander, Norte de Santander, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-3177-3893>

[darwinorlandocs@ufps.edu.co](mailto:darwinorlandocs@ufps.edu.co)

## David Antonio Franco Borré

Ingeniero de Sistemas, magíster en Ciencias Computacionales. Docente del programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Cartagena. Líder del grupo de investigación Gimatica. Cartagena de Indias, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-7500-0206>

[dfrancob@unicartagena.edu.co](mailto:dfrancob@unicartagena.edu.co)



## Diego Armando Giral-Ramírez

Master in Electrical Engineering, Electrical Engineer. Assistant professor, Technological Department, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D. C., Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-9983-4555>  
[dagiralr@udistrital.edu.co](mailto:dagiralr@udistrital.edu.co)

## Dinael Guevara Ibarra

Ingeniero electricista, especialista en Teleinformática, magíster en Ingeniería Electrónica, doctor en Ingeniería. Profesor de la Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

[dinaelgi@ufps.edu.co](mailto:dinaelgi@ufps.edu.co)

## Domingo Ernesto Dueñas Ruiz

Ingeniero en Transporte y Vías, magíster en Planeación del Transporte, doctor en Caminos, Canales y Puertos. Docente Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-3525-3847>  
[doduenasr@yahoo.com](mailto:doduenasr@yahoo.com)

## Edison Andrés Soto Ríos

Ingeniero electricista; magíster en Ingeniería Eléctrica, y doctor en Ingeniería – Línea Automática, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Profesor asociado e investigador en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-6039-1769>  
[easotor@uis.edu.co](mailto: easotor@uis.edu.co)

## Edwin Alexander Revelo Cuarán

Industrial Engineering Student, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá

[edareveloc@correo.udistrital.edu.co](mailto:edareveloc@correo.udistrital.edu.co)

## Elena Muñoz-España

Electronics and Telecommunications engineer, specialist in Industrial Informatics, specialist in Telematic Networks and Services, Master's in Electronics and Telecommunications. Professor at Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-3919-563X>  
[elenam@unicauca.edu.co](mailto:elenam@unicauca.edu.co)

## Elín Raquel Márquez Guloso

Environmental engineer, Master's in Environmental Science. Lecturer at University of La Guajira. PICHIHÜEL Research Group. Riohacha, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-5796-5784?lang=es>  
[emarquez@uniguajira.edu.co](mailto:emarquez@uniguajira.edu.co)

## Elkin Gregorio Flórez-Serrano

PhD in Mechanical Engineering, Master's in Mechanical Engineering, Master's in Chemical and Process Engineering, and mechanical engineer. Professor and researcher at Universidad de Pamplona. Pamplona, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-3431-146X>  
[eflorez@unipamplona.edu.co](mailto:eflorez@unipamplona.edu.co)

## Fernando Luis Castro-Echavez

Graduate in Biology and Chemistry, specialist in Environmental Science, Magister's in Environmental Science, Doctor in Environmental Engineering. Professor at University of La Guajira. PICHIHÜEL Research Group. Riohacha, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-1419-6107>  
[fcastro@uniguajira.edu.co](mailto:fcastro@uniguajira.edu.co)

## Frank Nixon Giraldo-Ramos

Instrumentation and electronic control engineer. Professor at Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-8407-1831>  
[fngiraldor@udistrital.edu.co](mailto:fngiraldor@udistrital.edu.co)

## Fredy Alberto Guío Burgos

Ingeniero en Transporte y Vías, especialista en Infraestructura Vial, magíster en Ingeniería con énfasis en Tránsito. Docente de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-9433-6303>  
[fredyguio@uptc.edu.co](mailto:fredyguio@uptc.edu.co)

## Gabriel Ordóñez-Plata

Electrical Engineer, PhD in Industrial Engineering. Associate Professor and researcher at Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-2772-4362>  
[gaby@uis.edu.co](mailto:gaby@uis.edu.co)



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

# ÍNDICE PERIÓDICO DE AUTORES

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/about/submissions>

## German Osma-Pinto

Electrical and Industrial Engineering, Master's in Electrical Engineering, PhD in Engineering. Assistant Professor and researcher at Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-9665-0267>  
[gealosma@uis.edu.co](mailto:gealosma@uis.edu.co)

## Ghiordy Ferney Contreras Contreras

Ingeniero electrónico. Estudiante de Maestría en Ciencias en el Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Guadalajara, México.

<https://orcid.org/0000-0002-8945-2737>  
[ghiordyferneycc@ufps.edu.co](mailto:ghiordyferneycc@ufps.edu.co)

## Guillermo Roa Rodríguez

Ingeniero en Mecatrónica, especialista en Gerencia Integral de Proyectos, magíster en Ingeniería Mecatrónica. Docente de la Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-6389-924X>  
[guillermo.roa@unimilitar.edu.co](mailto:guillermo.roa@unimilitar.edu.co)

## Gustavo Andrés Romero Duque

Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; magíster en Innovación del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, México; ingeniero de Producción, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia; diseñador industrial, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá Colombia. Docente-investigador y miembro del grupo GIDAD de la Fundación Universitaria Los Libertadores

<https://orcid.org/0000-0002-3194-9943>  
[garomerod@libertadores.edu.co](mailto:garomerod@libertadores.edu.co)

## Henry A. Colorado-Lopera

PhD Materials Science and Engineering, University of California, Los Angeles. Mechanical engineer, Universidad Nacional de Colombia. Full professor and director of the CComposites laboratory, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-4948-0482>  
[henry.colorado@udea.edu.co](mailto:henry.colorado@udea.edu.co)

## Hugo Armando Fragoso-Cano

Computer Systems Engineer, Master's in Project Management, PhD in Management Sciences. Coordinator

of the Enterprise Project Management Office at Televisa group by Itera, Mexico City, Mexico. Project management professional (PMP) and Professor at Universidad Tecnológica (UNITEC), Mexico City, Mexico.

<https://orcid.org/0000-0002-8314-4231>  
[harmasoho@gmail.com](mailto:harmasoho@gmail.com)

## Humberto Guerrero Salas

Ingeniero industrial, especialista en Gerencia de Producción, magíster en Ingeniería Industrial. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-5795-8071>  
[hguerreros@correo.udistrital.edu.co](mailto:hguerreros@correo.udistrital.edu.co)

## Isidoro Fasolino

Ingeniero civil, doctor en Técnicas de Planificación. Docente de la universidad de Salerno. Fisciano, Italia.

[i.fasolino@unisa.it](mailto:i.fasolino@unisa.it)

## Iván Andrés Padilla Escorcía

Licenciado en Matemáticas, especialista en Estadística Aplicada, magíster en Educación. Docente e investigador de la Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia.

[iapadilla@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:iapadilla@mail.uniatlantico.edu.co)

## Iván Darío Acosta-Sabogal

Civil engineer, specialist in Water Resources. Professor at the Department of Civil Engineering, Universidad Santo Tomás. Villavicencio, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-1496-9261>  
[ivan.acosta@usantotomas.edu.co](mailto:ivan.acosta@usantotomas.edu.co)

## Jairo Rafael Rosado-Vega

Biologist, Master's in Sea Science. Professor at University of La Guajira. Director of the PICHIHÜEL Research Group. Riohacha, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-8176-2095>  
[jrosado@uniguajira.edu.co](mailto:jrosado@uniguajira.edu.co)

## Javier Andres Muñoz-Romero

Electrical Engineering. Electricity Technologist. Project Engineer, Axon Group. Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-7131-7190>  
[javier.munoz@axongroup.com.co](mailto:javier.munoz@axongroup.com.co)

## Jenny Mairena Herrera Rodríguez

Business Administration. Full time professor. Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Boyacá. Sogamoso, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-9809-5604>

[jmairena.herrera@gmail.com](mailto:jmairena.herrera@gmail.com)

## Jimmy Alejandro Plazas López

Estudiante de Ingeniería de Sistemas y Computación. Sogamoso, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-4417-0274>

[jimmy.plazas@uptc.edu.co](mailto:jimmy.plazas@uptc.edu.co)

## Johanna Catalina Adan Gallo

Ingeniera de Producción, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnóloga industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnóloga en Automatización Industrial, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-5299-1518>

[jcadang@correo.udistrital.edu.co](mailto:jcadang@correo.udistrital.edu.co)

## Jonatan Jair Villamarín Monroy

Ingeniero en Transporte y Vías, especialista en Tránsito y Transporte, magíster en Ingeniería con énfasis en Tránsito. Docente de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-1473-0122>

[onatan.villamarin@uptc.edu.co](mailto:onatan.villamarin@uptc.edu.co)

## Jorge Enrique Herrera-Rubio

Ingeniero electrónico, especialista en Telecomunicaciones, magíster en Ingeniería Electrónica, doctor en Ciencias. Docente de la Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-9661-5450>

[jherrera@unipamplona.edu.co](mailto:jherrera@unipamplona.edu.co)

## Jorge Galindo-Díaz

Ph. D. en Arquitectura por la ETSAB, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona (España), arquitecto. Profesor titular, Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de Colombia, Manizales (Colombia).

<https://orcid.org/0000-0001-8407-8347>

[jagalindod@unal.edu.co](mailto:jagalindod@unal.edu.co)

## José Andrés Gómez-Romero

Industrial Engineer, Master of Industrial Engineering, PhD in Management Sciences. Representative of the Hydroelectric Projects Coordination Directorate (CPH), part of the Federal Electricity Commission (CFE). Mexico City, Mexico.

<https://orcid.org/0000-0002-8337-124X>

[jose.gomez@cfе.mx](mailto:jose.gomez@cfе.mx)

## José Camilo Eraso-Guerrero

Electronics engineer, Master's candidate in Automatics. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-2264-6385>

[joseeraso@unicauca.edu.co](mailto:joseeraso@unicauca.edu.co)

## José Carlos Alberto Ortiz-Acle

Mechanical Electrical Engineer, PhD in Management Sciences from Instituto Politécnico Nacional (IPN), Mexico City, Mexico.

<https://orcid.org/0000-0002-9547-2769>

[osortac@gmail.com](mailto:osortac@gmail.com)

## José Martelo Gómez

Ingeniero de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander, especialista en Redes y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander. Docente investigador de tiempo completo de la Universidad de Cartagena. Líder del grupo de investigación Ingesinfo, categoría B de Colciencias. Cartagena de Indias, Colombia.

[rmartelol@unicartagena.edu.co](mailto:rmartelol@unicartagena.edu.co)

## Juan José Castiblanco Prieto

Arquitecto, Magister en Hábitat. Docente de la Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.

[jjcastiblanco@ucatolica.edu.co](mailto:jjcastiblanco@ucatolica.edu.co)

## Juan José Gutiérrez Leguizamón

Estudiante de Ingeniería de Sistemas y Computación. Sogamoso, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-0160-4178>

[juan.gutierrez04@uptc.edu.co](mailto:juan.gutierrez04@uptc.edu.co)

## Juan Sebastián González Sanabria

Ingeniero de Sistemas y Computación, magíster en Ingeniería del Software. Docente asistente de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia.



<https://orcid.org/0000-0002-1024-6077>  
[juansebastian.gonzalez@uptc.edu.co](mailto:juansebastian.gonzalez@uptc.edu.co)

## **Karen Julieth Bohórquez-Bautista**

Studies engineer, Energy Computer Systems company, Bogotá DC, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-9725-889X>  
[kbohorquez@energyco.com](mailto:kbohorquez@energyco.com)

## **Laura Alejandra Munar López**

Ingeniera de Producción, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnóloga industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-2134-9194>  
[lamunar@correo.udistrital.edu.co](mailto:lamunar@correo.udistrital.edu.co)

## **Laura Vanessa Quesada Carvajal**

Ingeniera química, especialista en Emisiones Atmosféricas con énfasis en Tratamiento de Gases; máster en Dirección Medioambiental. Docente del Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

<https://orcid.org/0000-0003-4964-8468>  
[aura.quesada@itcr.ac.cr](mailto:aura.quesada@itcr.ac.cr)

## **Lely Adriana Luengas Contreras**

Doctor en Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

[laluengasc@udistrital.edu.co](mailto:laluengasc@udistrital.edu.co)

## **Luis Eduardo Muñoz Guerrero**

Systems Engineer, MSc in Systems Engineering, PhD (C) in Education Sciences, Full Professor, Department of Engineering, Systems and Computational Engineering, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Risaralda, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-9414-6187>  
[lemunozg@utp.edu.co](mailto:lemunozg@utp.edu.co)

## **Luis Felipe Wanumen Silva**

Magíster en Ingeniería de Sistemas y Computación. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

[lwanumen@udistrital.edu.co](mailto:lwanumen@udistrital.edu.co)

## **Luis Fernando Restrepo Betancur**

Estadístico, especialista en Estadística y Biomatemática. Docente titular Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

<http://orcid.org/0000-0002-8583-5028>

[lfernando.restrepo@udea.edu.co](mailto:lfernando.restrepo@udea.edu.co)

## **Luis R. Vásquez-Varela**

Magíster en Ingeniería-Geotecnia, ingeniero civil. Profesor asociado, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Manizales (Colombia).

<https://orcid.org/0000-0003-2293-7294>  
[lrvasquezv@unal.edu.co](mailto:lrvasquezv@unal.edu.co)

## **Luisa Fernanda Vargas-Pardo**

Student of the Industrial Production Management technological program. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-2138-1714>  
[lfvargasp@udistrital.edu.co](mailto:lfvargasp@udistrital.edu.co)

## **Luz Esperanza Bohórquez Arévalo**

Doctor en Ciencias de la Dirección, magíster en Administración de Empresas, especialista en Ingeniería de la Calidad, ingeniera Industrial. Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-8401-3471>  
[lbohorqueza@udistrital.edu.co](mailto:lbohorqueza@udistrital.edu.co)

## **Marco Javier Suárez Barón**

Ingeniero de Sistemas, magíster en Gestión de Información, doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología. Docente asociado de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-1656-4452>  
[marco.suarez@uptc.edu.co](mailto:marco.suarez@uptc.edu.co)

## **María Fernanda Culma-Tamara**

Civil engineer, MsC in Construction and Habitat. Professor at Universidad Agraria de Colombia, Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-7690-766X>  
[culmat.maria@uniagraria.edu.co](mailto:culmat.maria@uniagraria.edu.co)

## **María Isabel López-Pumarega**

Bachelor of Physical Sciences, Department of Exact and Natural Sciences, Universidad de Buenos Aires, Argentina. PhD in Physics, Department of Exact and Natural Sciences, Universidad de Buenos Aires, Argentina. ICES department, National Atomic Energy Commission (CNEA), Buenos Aires, Argentina.





UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

# ÍNDICE PERIÓDICO DE AUTORES

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/about/submissions>

<https://orcid.org/0000-0002-2160-3885>  
[ilopezpumarega@gmail.com](mailto:ilopezpumarega@gmail.com)

## **Mariela Muñoz-Añasco**

Industrial engineer, Master's in Business Administration, Master's in Automatics, PhD in Automatics, Robotics, and Industrial Informatics. Professor at Universidad del Cauca. Popayán.

<https://orcid.org/0000-0003-4392-947X>  
[mamunoz@unicauca.edu.co](mailto:mamunoz@unicauca.edu.co)

## **Mario Ricardo Arbulu Saavedra**

Ingeniero electromecánico; máster en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática; Ph. D. en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática. Docente de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN). Bogotá, Colombia.

<http://orcid.org/0000-0002-8191-9689>  
[mario\\_arbulu@cun.edu.co](mailto:mario_arbulu@cun.edu.co)

## **Martin Gómez**

Bachelor of Physical Sciences, Universidad de Buenos Aires. Master of Materials Science and Technology and PhD in Science and Technology with an emphasis on Materials, IT Sabato, Universidad de San Martín, Argentina. Associate professor, Delta Regional Faculty, Universidad Tecnológica Nacional, Campana, Argentina. Scientific director of the International Center for Earth Studies (ICES). Head of the ICES department, Constituyentes Atomic Center, National Atomic Energy Commission (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

<https://orcid.org/0000-0001-9578-2399>  
[mpgomez@cnea.gov.ar](mailto:mpgomez@cnea.gov.ar)

## **Melquisedec Cortés-Zambrano**

Civil engineer, Master's degree in Civil Engineering with an emphasis on Water Resources and Hydroinformatics, PhD in Materials Engineering and Science. Professor at the Department of Civil Engineering, Universidad Santo Tomás. Tunja, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-6073-3391>  
[melquisedec.cortes@usantoto.edu.co](mailto:melquisedec.cortes@usantoto.edu.co)

## **Miriam Rocío Neyra-Astudillo**

Bachelor of Physics, Department of Natural Sciences and Mathematics, Universidad Federico Villarreal, Lima, Perú. PhD in Science and Technology with an emphasis on Materials, IT Sabato, Universidad de San Martín,

Argentina. Professor at the Delta Regional Faculty, Universidad Tecnológica Nacional, Campana, Argentina. International Center for Earth Studies (ICES) project. Constituyentes Atomic Center, National Atomic Energy Commission (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

## **Mónica Patricia Vargas Guarnizo**

Ingeniera mecánica, magíster en Ingeniería Industrial. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-5310-0086>  
[mpvargas@correo.udistrital.edu.co](mailto:mpvargas@correo.udistrital.edu.co)

## **Mónica Yineth Lara-Pérez**

Master's degree in Civil Engineering with an emphasis on Hydro-Environment Engineering, civil engineer. Professor at the Department of Civil Engineering, Universidad Santo Tomás. Villavicencio, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-8397-565X>  
[onicalara@usantotomas.edu.co](mailto:onicalara@usantotomas.edu.co)

## **Nayive Nieves Pimiento**

Master in Environmental Sciences, Mechanical Engineering, Researcher-Professor, Mechatronic and Telecommunications Systems Research Group, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

[nnievesp@udistrital.edu.co](mailto:nnievesp@udistrital.edu.co)  
<https://orcid.org/0000-0003-2914-4836>

## **Neider Nadid Romero-Núñez**

PhD candidate in Mechanical Engineering, Master's in Mechanical Engineering, and mechanical engineer. Doctoral student at Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brazil.

<https://orcid.org/0000-0002-9076-2601>  
[neider.romero@posgrad.ufsc.br](mailto:neider.romero@posgrad.ufsc.br)

## **Noé Villegas Flores**

Ingeniero civil, magister en Ingeniería de la Construcción, doctor en Caminos, Canales y Puertos. Docente de la Universidade Federal de Integração Latino-Americana. Foz do Iguaçu, Brasil.

[noe.flores@unila.edu.br](mailto:noe.flores@unila.edu.br)

## **Omar García-Jiménez**

Public accountant, MSc in Administration, PhD in Management Sciences. Leader of the academic body



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

# ÍNDICE PERIÓDICO DE AUTORES

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/about/submissions>

in training Innovation and strategic development in organizations of Tecnológico Nacional de México (TNM), State of Mexico, Mexico.

<https://orcid.org/0000-0003-0058-7035>

[omar.garcia@tesoem.edu.mx](mailto:omar.garcia@tesoem.edu.mx)

## Omar Iván Trejos Buriticá

Systems Engineer, Physical Instrumentation Specialist, MSc in Educational Communication, PhD in Education Sciences, Full Professor, Department of Engineering, Systems and Computational Engineering, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Risaralda, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-3751-6014>

[omartrejos@utp.edu.co](mailto:omartrejos@utp.edu.co)

## Oscar Danilo Montoya-Giraldo

Electrical engineer, Master's in Electrical Engineering, PhD in Engineering. Assistant professor at the Department of Engineering, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá DC, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-6051-4925>

[odmontoyag@udistrital.edu.co](mailto:odmontoyag@udistrital.edu.co)

## Pablo Alejandro Perdomo Fernández

Ingeniero en Automática Industrial. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-1563-4148>

[pperdomo@unicauca.edu.co](mailto:pperdomo@unicauca.edu.co)

## Paulo Sexto Oyola Quitero

Administrador de Empresas de la Universidad de Cartagena, magíster en Educación, Universidad de Cartagena. Docente investigador del programa de Administración de Empresas, Universidad de Cartagena. Cartagena de Indias, Colombia.

[poyolaq@unicartagena.edu.co](mailto:poyolaq@unicartagena.edu.co)

## Rafael Guillermo García Cáceres

Doctorate industrial engineering. Industrial Engineering. Associate Professor, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso, Colombia.

[rafael.garcia01@uptc.edu.co](mailto:rafael.garcia01@uptc.edu.co)

## Rafael Isaac Amón Pérez

Químico, especialista en Espectrometría de Masas, gerente general Laboratorio Químico Lambda S.A. San José, Costa Rica

<https://orcid.org/0000-0001-7857-9479>

[afaelamon56@gmail.com](mailto:afaelamon56@gmail.com)

## Robinson Junior Conde Carmona

Licenciado en Matemáticas, especialista en Métodos Numéricos, doctorando en Educación Matemáticas. Docente e investigador de la Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-7421-1754>

[rjconde@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:rjconde@mail.uniatlantico.edu.co)

## Rosa María Rivas-García

Bachelor of Tourism, Master of Science in Business Administration, PhD in Management Sciences. Research professor at Instituto Politécnico Nacional (IPN), Mexico City, Mexico.

<https://orcid.org/0000-0002-8371-6068>

[rivasg@ipn.mx](mailto:rivasg@ipn.mx)

## Sergio Cifuentes-Mosquera

Civil engineer, Universidad Industrial de Santander. Conasfaltos S.A., Medellín, Colombia.

[scifuentesmosquera@gmail.com](mailto:scifuentesmosquera@gmail.com)

## Silvana Evangelina-Geuna

Bachelor of Geological Sciences (Universidad de Buenos Aires). PhD in Geological Sciences (Universidad Nacional de Córdoba). Specialist in Rock Paleomagnetism. Associate professor (Internal Geodynamics) of Universidad de Buenos Aires. Rosario de Lerma, Argentina.

<https://orcid.org/0000-0002-4777-8683>

[geuna@gl.fcen.uba.ar](mailto:geuna@gl.fcen.uba.ar)

## Tania Giraldo-Ospina

Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo, arquitecta. Profesora asociada, Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de Colombia, Manizales (Colombia).

<https://orcid.org/0000-0002-7643-8565>

[tgiraldoo@unal.edu.co](mailto:tgiraldoo@unal.edu.co)

## Teremy Tovar Ortega

Licenciada en Ciencias Básicas con énfasis en Matemáticas, magíster en Educación. Docente e investigadora de la Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-7213-242X>



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

# ÍNDICE PERIÓDICO DE AUTORES

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/about/submissions>

[ttovarortega@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:ttovarortega@mail.uniatlantico.edu.co)

## Walter Julián Gil-González

Electrical engineer, Master's in Electrical Engineering, PhD in Engineering. Assistant professor at the Department of Engineering. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-7609-1197>

[wjgil@utp.edu.co](mailto:wjgil@utp.edu.co)

## Yelinca Saldeño Madero

Ingeniera Civil, doctora en Gestión del territorio e infraestructura del transporte. Docente de la Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.

[ynsaldeno@ucatolica.edu.co](mailto:ynsaldeno@ucatolica.edu.co)

## Yeraldin Arias Battle

Ingeniera de Sistemas, magíster en Gerencia de Proyectos de la Universidad Militar Nueva Granada. Data Analyst de la compañía Seidor Analytics. Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-1294-3869>

[u21100080@unimilitar.edu.co](mailto:u21100080@unimilitar.edu.co)

## Yeyson Alejandro Becerra Mora

Ingeniero en Automatización, máster en Automática y Robótica. Docente de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN). Bogotá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-6718-4962>

[yeyson\\_becerra@cun.edu.co](mailto:yeyson_becerra@cun.edu.co)

## Volumen 26 Número 71, 72, 73, 74 2022

### EVALUADORES 2022

**Ph. D. Andrés Pavas**  
Universidad Nacional de Colombia

**Ph. D. Alfonso Azevedo**  
Universidad Estatal del Norte Fluminense, Brasil

**Ph. D. Ing. Carlos Alberto Ramírez-Vanegas**  
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

**Ph. D. Ing. Diego Fernando del Rio Trujillo**  
Universidad Nacional de Colombia

**Ph. D. Elkin Ivan Gutierrez Velasquez**  
Universidad Antonio Nariño, Colombia

**Ph. D. Ernesto Pérez**  
Universidad Nacional, Colombia

**Ph. D. Fredy Hernan Martinez Sarmiento**  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas,  
Colombia

**Ph. D. Isaac Céspedes Camacho**  
Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

**Ph. D. Ing. Jaime Francisco Pantoja Benavides**  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas,  
Colombia

**Ph. D. Ing. Javier Antonio Ballesteros Ricaurte**  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de  
Colombia, Colombia

**Ph. D. Ing. Jorge Gómez Rojas**  
Universidad del Magdalena, Colombia

**Ph. D. Ing. Jose Juliam Villate Corredor**  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

**Ph. D. Julio César Marín Leal**  
Universidad del Zulia, Venezuela

**Ph. D. Ing. Laugeny Díaz**  
Universidad del Zulia, Venezuela

**Ph. D. Ing. Luis Fernando Castro Rojas**  
Universidad del Quindío, Colombia

**Ph. D. Ing. Lucas Frizera Encarnação**  
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

**Ph. D. Ing. Luis Fernando Grisales Noreña**  
Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín,  
Colombia

**Ph. D. Ing. Marlon Mauricio Hernández Cely**  
Universidad de Sao Paulo, Brasil

**Ph. D. Ing. Marcos Rubinstein**  
Instituto Federal Suizo de Tecnología, Lausanne,  
Suiza

**Ph. D. Nelson Antonio Moreno Monsalve**  
Universidad EAN, Colombia

**Ph. D. Paola Andrea Niño**  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
(ESIME), México

**Ph. D.. Rocío Soto Flores**  
Instituto Politécnico Nacional, Mexico

**Ph. D.. Rosa Piotrkowski**  
Universidad Nacional de Buenas Aires, Argentina

**Ph. D. Sandra Ximena Carvajal**  
Universidad Nacional, Colombia

**Ph. D. Ing. Yolanda Torres**  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de  
Colombia

**Ph. D. Ing. Yulieth Jimenez Manjarres**  
Electrificadora de Santander – ESSA. Colombia

**M. Adolfo León**  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas.  
Colombia

**M. Carlos Bruno Fiscal**  
Universidad De Sinaloa. Mexico

**M. Carlos Granados Ortiz**  
Universidad de Antioquia. Colombia

**M. Ing. Diego Andrés Suarez Gómez**  
Universidad Pedagógica y Tecnológica, Colombia

**M. Ing. Fernando Martinez Santa**  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas.  
Colombia

**M. Gustavo Cáceres Castellanos**  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de  
Colombia. Colombia

**M. Ing. Hugo Castro**  
Universidad Pedaogica y Tecnologica de Colombia

**M. Ing. Jairo Naicipa Otalora**  
SENA. Colombia

**M. Jaime Hernández-García**  
Pontificia Universidad Javeriana. Colombia

**M. Ing. James Ronald Vera Rozo**  
Universidad de Guanajuato, Mexico

**M. Ing. Jesus Alvarez Guerrero**  
Universidad Libre. Colombia

**M. Jorge Luis Martelo Gaviria**  
Universidad EAN. Colombia

**M. Maira Cecilia Gasca Mantilla**  
Universidad Antonio Nariño. Colombia

**M. Ing. María Fernanda Díaz Hernández**  
Universidad El Bosque, Colombia

**M. María José Freire**  
Universidad Central de Ecuador, Ecuador

**M. Mónica Esther Ospino Pinedo**  
Universidad de Cartagena. Colombia

**M. Moctezuma Xicoténcatl Sumuano  
Martínez**  
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.  
Mexico

**M. Oriana Patricia Heredia Gómez**  
Universidad del Atlántico, Colombia

**M. Ing. Orlando De Antonio Suarez**  
Universidad Libre De Colombia. Colombia

**M. Stella Maren Schroeder**  
Universidad de Piura, Peru

**M. Sergio Basilio Sepulveda Mora**  
University of Delaware, Estados unidos

**M. Ing. Wilson Enrique Amaya Tequia**  
Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia

**M Ing. William Ricardo Mozo Moreno**  
Universidad Pedagógica y Tecnologica de  
Colombia

**M. Yasmín Moya Villa**  
Universidad de Cartagena. Colombia

**M. Yessika Rojas Sandoval**  
Universidad del Atlántico, Colombia