

Editorial

---

### Investigación

---

Revisión y perspectivas para la construcción de bases de datos robustas con datos faltantes: caso aplicado a información financiera

Gustavo Andrés Romero, Cristian Andrés González Prieto, María Angélica Díaz Barriosnuevos, Nataly Alejandra Rueda Menjura

Diseño de una ruta metodológica para la toma de decisiones en la adquisición de software

Jose Castellanos, Cristian Giovanni Castrillón Arias

Mapas de atención para destacar pólipos potenciales durante la colonoscopia

Fabio Martínez Carrillo, Lina Marcela Ruiz García, Luis Carlos Guayacan Chaparro

---

### Estudio de caso

---

Redes neuronales aplicadas al control estadístico de procesos con cartas de control EWMA

Ruth Milena Suárez Castro, Iván Darío Ladino Vega

Un análisis multicriterio para la toma de decisiones en la selección de una mezcla asfáltica en pavimentos

Edgar Sánchez, Doctor Noé Villegas Flores, Sara del Rocío Ochoa Averos, Yelinca Nalena Saldeño

El sector de la construcción en el departamento del Cauca:

¿una locomotora de crecimiento en el corto y largo plazo?

Andrés Mauricio Gómez-Sánchez, Zoraida Ramírez-Gutiérrez, Jorge Luis Rivadeneira-Daza

---

### Revisión

---

La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI

John Jairo Castro Maldonado, Leidy Katherine Gómez Macho, Esperanza Camargo Casallas

Inteligencia artificial y aprendizaje colaborativo asistido por computadora en la programación: un estudio de mapeo sistemático

Carlos Giovanni Hidalgo Suarez, Víctor Andrés Bucheli-Guerrero, Hugo Armando Ordóñez-Eraso

Evalando los operadores logísticos. Retos y tendencias

María Alejandra Acevedo Cote, Daniela Fernanda Sanchez Polanco, Javier Arturo Orjuela Castro

237 Instructions for authors

250 Instrucciones para autores

Vol. 27 Núm. 75 • Enero - Marzo de 2023 • Bogotá, Colombia • Publicación trimestral - ISSN: 0123-921X • e-ISSN-e 2248-7638

# Tecnura

V.27

N.75



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
Facultad Tecnológica

Revista Tecnura • Volumen 27 – Número 75 • Enero - Marzo de 2023  
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 27 - Número 75  
Enero - Marzo de 2023

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. Andrea del Pilar Rueda Olarte  
Pontificia Universidad Javeirana, Colombia

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

Ph.D. Antoine Manzanera  
ENSTA-Paris Tech, Paris

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

Ph.D. Ing. Armando Ordoñez  
Fundación Universitaria De Popayán, Colombia

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

Ph.D. Carlos José Slebi Acevedo  
Escuela de ingeniería, Colombia

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

Ph.D. Ing. Cristian Figueroa  
Universidad Del Cauca, Colombia

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

Ph.D. Ing. Gabriel Chanchi  
Universidad De Cartagena, Colombia

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

Ph.D. Luis Ángel Meneses Cerón  
Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia

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

Ph.D. Luis Antonio Villafán Amezcua  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla UPAEP, Mexico

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

Ph.D. Milton Mauricio Herrera Ramirez  
Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

## COMITÉ CIENTÍFICO

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

Ph.D. Pedro Limón  
Universidad de Guadalajara, México

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

Ph.D. Ing. Wilmar Campo  
Universidad Del Quindío, Colombia

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

MIng. Adolfo León Agatón  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

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

M. Diego López Franco  
Universidad de Caldas, Colombia

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

M. Johanna Alexandra Torres Martínez  
Universidad de los Andes, Colombia

MIng. Gustavo Andrés Romero Duque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

## 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. Andrea del Pilar Rueda Olarte  
Pontificia Universidad Javeirana, Colombia

Ph.D. Antoine Manzanera  
ENSTA-Paris Tech, Paris

Ph.D. Ing. Armando Ordoñez  
Fundación Universitaria De Popayán, Colombia

Ph.D. Carlos José Slebi Acevedo  
Escuela de ingeniería, Colombia

Ph.D. Ing. Cristian Figueroa  
Universidad Del Cauca, Colombia

Ph.D. Ing. Gabriel Chanchi  
Universidad De Cartagena, Colombia

Ph.D. Luis Ángel Meneses Cerón  
Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia

Ph.D. Luis Antonio Villafán Amezcua  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla UPAEP, Mexico

Ph.D. Milton Mauricio Herrera Ramirez  
Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

Ph.D. Pedro Limón  
Universidad de Guadalajara, México

Ph.D. Ing. Wilmar Campo  
Universidad Del Quindío, Colombia

Ming. Adolfo León Agatón  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

M. Diego López Franco  
Universidad de Caldas, Colombia

M. Johanna Alexandra Torres Martínez  
Universidad de los Andes, Colombia

Ming. Gustavo Andrés Romero Duque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 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.

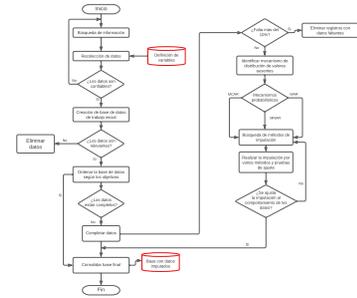
## Editorial

12

### Review and perspectives for the construction of robust databases with missing data: case applied to financial information 14

Revisión y perspectivas para la construcción de bases de datos robustas con datos faltantes: caso aplicado a información financiera

Romero-Duque., G.A. González-Prieto., C.A. Día-Barriosnuevos., M.A y Rueda-Menjura., N.A



### Design of a methodological route for decision making in software acquisition 38

Diseño de una ruta metodológica para la toma de decisiones en la adquisición de software

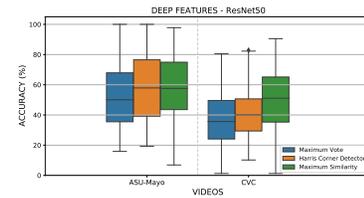
Castellano- Galeano., J.F. y Castrillón-Arias., C.G



### Attention Maps to Highlight Potential Polyps during Colonoscopy 51

Mapas de atención para destacar pólipos potenciales durante la colonoscopia

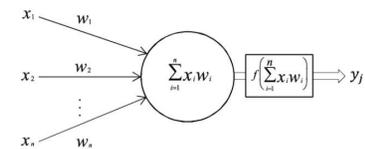
Ruiz-García., L. Guayacán-Chaparro., L. Martínez-Carrillo., F.



### Neural networks applied to statistical process control with EWMA control charts 72

Redes neuronales aplicadas al control estadístico de procesos con cartas de control EWMA

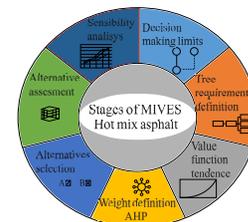
Suárez-Castro., R.M. y Ladino-Vega., I.D.



### A Multi-Criteria Analysis for Decision-Making in the Selection of an Asphalt Mixture on Pavements 89

Un análisis multicriterio para la toma de decisiones en la selección de una mezcla asfáltica en pavimentos

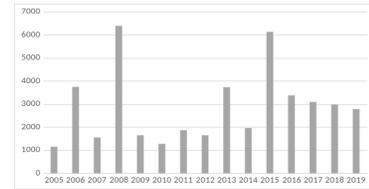
Villegas-Flores., N. Ochoa-Averos., S.R. Saldeño-Madero., Y.N. y Sánchez-Cotte., E.H.



## The construction sector in Cauca State: an economic growth locomotive in the short and long-run? **113**

El sector de la construcción en el departamento del Cauca: ¿una locomotora de crecimiento en el corto y largo plazo?

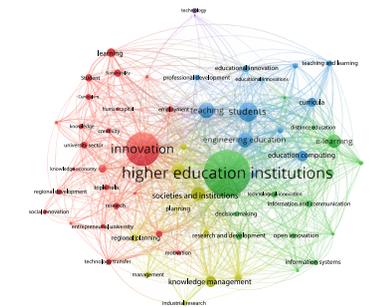
Gómez-Sánchez, A.M. Ramírez-Gutiérrez, Z. y Rivadeneira-Daza, J.L.



## Applied research and experimental development in strengthening the competences of the 21st century society **140**

La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI

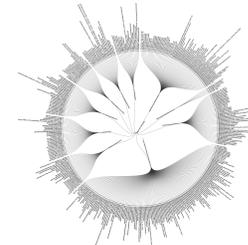
Castro-Maldonado, J.J. Gómez-Macho, L.K. y Camargo-Casallas, E.



## Artificial Intelligence and Computer-Supported Collaborative Learning in Programming: A Systematic Mapping Study **175**

Inteligencia artificial y aprendizaje colaborativo asistido por computadora en la programación: un estudio de mapeo sistemático

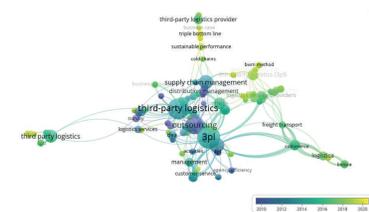
Hidalgo, C.G. Bucheli-Guerrero, V.A. y Ordóñez-Eraso, H.A.



## Evaluating third party logistics. Challenges and trends **207**

Evaluando los operadores logísticos. Retos y tendencias

Sánchez-Polanco, D. Acevedo-Cote, M. y Orjuela-Castro, J.



## Instrucciones para los autores **238**

## Instructions for authors **251**

Con la actual dinámica interactiva de conocimiento, donde la información está al acceso de todos y posibilita espacios de interacción sincrónica y asincrónica superando la barrera tradicional de espacio y tiempo. La educación virtual se constituye en una herramienta potencial, en la que mediante una alta oferta de programas de enseñanza y aprendizaje resulta significativa para los requerimientos individuales y las necesidades sociales. Simultáneamente, ofrece numerosas posibilidades que incorporadas asertivamente a las aulas consolidan intervenciones profundas en pro del desarrollo y fortalecimiento de competencias.

Estas cualidades, se vieron ratificadas durante los períodos de aislamiento social en los que se obligó a los actores de todos los sistemas educativos a integrarse a los escenarios virtuales. El reto que asumieron los docentes de educar sin presencialidad correspondió al esfuerzo de los estudiantes por acceder a ellos y a una puesta en marcha de las entidades y el gobierno para que en un corto tiempo se dominarán plataformas educativas, aulas virtuales, cursos en línea, software de apoyo escolar y espacios de interacción digital.

Es evidente la ya existencia de algunos de estos entornos, sin embargo, la pandemia los hizo masivos y además obligatorios. Si bien estos medios posibilitaron la permanencia de un número importante de estudiantes también dejaron al descubierto las brechas del país en cuanto a una educación inclusiva, equitativa y de calidad, que brinde a la población la oportunidad de aprender a lo largo de toda su vida, tal y como lo define el objetivo de educación desde la agenda 2030 establecido por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

Las dinámicas de educación virtual y tradicional que dejó la pandemia refuerzan la búsqueda de una formación centrada en competencias, donde el individuo incide significativamente en su entorno, tanto desde su rol individual como social. Simultáneamente, bajo unas realidades nacionales evidencia la importancia de la escuela y genera desde ellas y para ellas un llamado a integrar esas zonas y territorios que aún se encuentran alejados, y que están a la espera del cumplimiento de su derecho de acceder a una educación de calidad en vínculo con las tecnologías.

**Laura Ximena Giral Ramírez**

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

**W**ith the current interactive dynamics of knowledge, where information is accessible to all and enables synchronous and asynchronous interaction spaces overcoming the traditional barrier of space and time. Virtual education is a potential tool, which through a high offer of teaching and learning programs is significant for individual requirements and social needs. At the same time, it offers numerous possibilities that, when assertively incorporated into the classroom, consolidate profound interventions for the development and strengthening of competencies.

These qualities were ratified during the periods of social isolation in which the actors of all educational systems were forced to integrate into virtual scenarios. The challenge taken up by teachers to educate without presence corresponded to the effort of students to access them and to the implementation of entities and the government so that in a short time educational platforms, virtual classrooms, online courses, school support software and digital interaction spaces would be mastered.

It is evident that some of these environments already exist, however, the pandemic made them massive and also mandatory. Although these means made possible the permanence of a significant number of students, they also exposed the country's gaps in terms of inclusive, equitable and quality education, which provides the population with the opportunity to learn throughout their lives, as defined by the education objective of the 2030 agenda established by the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD).

The dynamics of virtual and traditional education left by the pandemic reinforce the search for a competency-based education, where the individual has a significant impact on his or her environment, both from his or her individual and social role. Simultaneously, under some national realities, it evidences the importance of the school and generates from them and for them a call to integrate those areas and territories that are still far away, and that are waiting for the fulfillment of their right to access to quality education in connection with technologies.

**Laura Ximena Giral Ramírez**  
**Cesar Augusto García-Ubaque**   
[cagarciau@udistrital.edu.co](mailto:cagarciau@udistrital.edu.co)

## Revisión y perspectivas para la construcción de bases de datos robustas con datos faltantes: caso aplicado a información financiera

### Review and perspectives for the construction of robust databases with missing data: case applied to financial information

Gustavo Andrés Romero Duque <sup>1</sup>, Cristian Andrés González Prieto <sup>2</sup>, María Angélica Díaz Barriosnuevos <sup>3</sup>, Nataly Alejandra Rueda Menjura <sup>4</sup>

Fecha de Recepción: 14 de julio de 2022

Fecha de Aceptación: 26 de septiembre de 2022

**Cómo citar:** Romero-Duque., G.A. González-Prieto., C.A. Díaz-Barriosnuevos., M.A y Rueda-Menjura., N.A. (2023). Revisión y perspectivas para la construcción de bases de datos robustas con datos faltantes: caso aplicado a información financiera. *Tecnura*, 27(75), 14-37. <https://doi.org/10.14483/22487638.18268>

## Resumen

**Contexto:** Se propone un conjunto de opciones que ayudan a determinar el método más adecuado para subsanar en bases de datos de tamaño apreciable, condiciones iniciales de datos faltantes y que serán utilizadas en procesos de investigación.

**Metodología:** El presente artículo aborda una propuesta para el desarrollo y manejo de bases de datos robustas como el caso de registros financieros, enfocándose desde el proceso *knowledge discovery in databases* (KDD).

**Resultados:** Se desarrolla y prueba una metodología utilizando tres técnicas de imputación en una base de datos construida a partir de 1 253 280 registros financieros de 2238 empresas y que representan siete años de su actividad económica en la localidad de Chapinero, en la ciudad de Bogotá D. C.

**Conclusiones:** Se realiza un comparativo de los métodos de imputación como factor determinante para la elección del método de imputación y consolidación de la base para su posterior uso.

**Financiamiento:** Fundación Universitaria Los Libertadores.

**Palabras clave:** base de datos, métodos de imputación, KDD, valores faltantes.

<sup>1</sup>Magíster en Ingeniería Industrial, ingeniero de Producción. Docente Fundación Universitaria Los Libertadores. Bogotá, Colombia. Email: [garomerod@libertadores.edu.co](mailto:garomerod@libertadores.edu.co)

<sup>2</sup>Estadístico, magíster en Ciencias: Estadística. Docente Fundación Universitaria Los Libertadores. Bogotá, Colombia. Email: [cagonzalezp01@libertadores.edu.co](mailto:cagonzalezp01@libertadores.edu.co)

<sup>3</sup>Ingeniera industrial. Fundación Universitaria Los Libertadores. Bogotá, Colombia. Email: [madiazb02@libertadores.edu.co](mailto:madiazb02@libertadores.edu.co)

<sup>4</sup>Ingeniera industrial. Fundación Universitaria Los Libertadores. Bogotá, Colombia. Email: [naruedam@libertadores.edu.co](mailto:naruedam@libertadores.edu.co)

## Abstract

**Context:** A set of options is proposed to help determine the most appropriate method to correct in databases of appreciable size, initial conditions of missing data and that will be used in research processes.

**Methodology:** This article addresses a proposal for the development and management of robust databases such as financial records, focusing from the Knowledge Discovery in Data bases (KDD) process.

**Results:** A methodology is developed and tested using three imputation techniques in a database built from 1,253,280 financial records of 2,238 companies that represent seven years of their economic activity in the town of Chapinero in the city of Bogotá D.C.

**Conclusions:** A comparison of the imputation methods is carried out as a determining factor for the choice of the imputation method and consolidation of the base for later use.

**Financing:** Fundación universitaria Los Libertadores

**Keywords:** database, imputation methods, KDD, missing values.

## Tabla de contenidos

	<b>Pág</b>
<b>Introducción</b>	<b>16</b>
Implicaciones teóricas y empíricas . . . . .	16
Consideraciones antes de los métodos de imputación . . . . .	18
Algunas técnicas de imputación . . . . .	19
<b>Metodología</b>	<b>21</b>
Búsqueda de información . . . . .	22
Recolección de datos . . . . .	23
Creación de la base de datos inicial . . . . .	23
Ordenar la base de datos según los objetivos . . . . .	24
Completar datos . . . . .	24
Búsqueda de métodos . . . . .	25
Imputación . . . . .	25
Selección del método . . . . .	26
Consolidación de la base de datos . . . . .	28
<b>Conclusiones</b>	<b>30</b>
<b>Financiamiento</b>	<b>31</b>
<b>Referencias</b>	<b>32</b>

## INTRODUCCIÓN

En una gran mayoría de estudios y en todos los campos del conocimiento se está constantemente recolectado datos que, con el tiempo, se convierten en grandes volúmenes de información. Para el manejo de estos, es esencial crear una base en la cual se pueda almacenar y, además, operar la información de forma adecuada para los fines pertinentes (Giraldo *et al.*, 2013).

Este artículo tiene como propósito proporcionar una metodología para quienes se encuentren construyendo bases de datos, principalmente aquellos que se enfoquen en aspectos financieros. En este sentido, se exponen algunas técnicas para hallar y suplementar los datos faltantes, y se suministra una secuencia para su desarrollo, a partir de la búsqueda de información y la recolección de los datos hasta la consolidación final de la base.

Al mismo tiempo, en esta propuesta se tiene como objetivo determinar, de forma empírica, la confiabilidad y precisión de tres técnicas de imputación para datos faltantes con comportamiento longitudinal para el estudio de un fenómeno en casos particulares. Considerando los diferentes caminos que el investigador pueda tomar, se busca responder a las siguientes preguntas: ¿Cómo definir si la base está incompleta? ¿Qué pasa cuando la base está incompleta? ¿Cuándo se deben eliminar o imputar datos? ¿Cómo elegir el método más adecuado de imputación para la base de datos?

### Implicaciones teóricas y empíricas

El *knowledge discovery in databases* (KDD) es, según Timaran y Yépez (2012), un proceso automático, el cual combina el descubrimiento y el análisis dentro de una base de datos, y se centra en la extracción de patrones inferidos a partir de los datos para ser analizados por el interesado. La mayoría de los autores tienden a resaltar los siguientes pasos en la metodología KDD, aplicables a la creación de bases de datos:

1. *Recopilar e integrar datos.* Como lo menciona Detours *et al.* (2003), esta fase ayuda a los investigadores a formar una visión integral de los datos existentes necesarios y priorizar mejor los esfuerzos experimentales.
2. *Limpieza de datos.* Según Kim *et al.* (2003), los datos deben ser limpiados para reparar datos sucios, es decir, todos aquellos incorrectos o que no sean acordes al comportamiento estándar. Esto garantizará un análisis más preciso.
3. *Transformación de datos.* Para Lin (2002), la transformación de los datos o atributos es necesaria para el descubrimiento del conocimiento aplicando métodos matemáticos diferentes dependiendo el tipo de datos que de manejen.
4. *Reducción de datos.* Se suprime la información irrelevante en el estudio; según Booth *et al.* (2019), se descarta información de cualquier tipo antes de que esta sea evaluada o tomada en cuenta dentro de un estudio.

Por otro lado, en la creación de bases de datos, [Brintha Rajakumari y Nalini \(2014\)](#) mencionan *la agregación* como concepto valioso y de gran importancia en el diseño. En esta, los datos son conocidos como objetos y pueden ser modelados mediante el diseño de aplicaciones de bases de datos.

Cuando se están ejecutando análisis en bases de datos, su resultado dependerá en gran medida de la integridad y precisión con que estos cuenten ([Witten et al., 2016](#)). Sin embargo, el análisis se puede topar datos faltantes y valores atípicos. Los datos de proceso con entradas faltantes, generalmente denominados *incorrectos* o *contaminados*, representan un gran desafío para la minería de datos y el monitoreo de ejercicios estadísticos ([Imtiaz y Shah, 2008](#), [Kadlec et al., 2009](#)), debido a su complejidad de manejo ([Ge, 2018](#)).

Los datos faltantes se precisan como valores no disponibles que serían útiles o significativos para el análisis de los resultados ([Dagnino, 2014](#)), lo cual podría afectar directamente los resultados en un ejercicio de análisis e investigación. Los datos faltantes se refieren a casos en los que hay una o más entradas de datos incompletas para las variables observadas en una base, lo que reduce la representatividad de las muestras de datos y puede dar lugar a una inferencia estadística inadecuada; este aspecto se abordará más adelante.

Es importante resaltar que, en la literatura, no se encuentra un criterio que muestre cuál es el método más adecuado y eficaz para generar datos faltantes sin que el resultado final de la investigación se vea gravemente afectado. Algunos autores proponen diferentes metodologías para generar lo descrito.

[Medina y Galván \(2007\)](#) comentan que, cuando esto sucede, existen procedimientos para sustituir la información, pero nunca una cifra imputada será mejor que una observada. También explican la diferencia entre la falta de respuesta total y la no respuesta parcial, donde no se obtiene respuesta en algunos ítems.

Con respecto del tratamiento para datos faltantes, [Cañizares et al. \(2003\)](#) dan una idea de cómo se ha intentado solucionar esta problemática a lo largo del tiempo:

En los años setenta, la regla general era olvidarlos, por lo que su tratamiento consistía en la eliminación de la información incompleta. En los años ochenta se generalizó el tratamiento de los datos incompletos a través de la búsqueda de un valor que posteriormente sería asignado al dato faltante. En la década de los noventa se produjo un cambio en la filosofía del tratamiento de los datos incompletos: ya no importa buscar un valor, sino modelar la incertidumbre alrededor de él, y se comienzan a realizar las primeras imputaciones múltiples. (p. 59)

Existen trabajos que analizan el proceso tanto de la etapa de alistamiento como de modelado ([Allison, 2002](#), [Carpenter y Kenward, 2013](#), [Enders, 2010](#), [Graham, 2012](#), [Kodamana et al., 2018](#), [Van Buuren et al., 2006](#), [Xu et al., 2015](#)) y en la literatura se han definido metodologías que permiten estos análisis. Las principales metodologías sobre minería de datos se pueden dividir en dos: a) minería robusta

para preprocesamiento de datos, y b) minería robusta para modelado estadístico. La primera se preocupa por tratar y limpiar los datos atípicos y faltantes, lo que se puede ejecutar con algunas técnicas tradicionales de minería de datos (Ge y Song, 2013) que también permiten apoyar el problema de normalización de datos, acción a considerar dentro de esta etapa. En la segunda, el análisis de datos comprende utilizar, entre otras, técnicas como análisis de componentes principales (ACP), modelos bayesianos, no lineales o dinámicos.

Algo a tener en consideración es que si bien tener una base de datos completa es ideal, se debe ser muy cuidadoso con el método de imputación a utilizar, pues, como mencionan Medina y Galván (2007), este es parte de la investigación que busca llegar a conclusiones sustentadas en evidencia empírica sólida; aplicar los métodos inapropiados traería más inconvenientes que soluciones.

### Consideraciones antes de los métodos de imputación

Para romper las limitaciones de modelos a utilizar en completar los datos faltantes, primero deben tenerse en cuenta tres cuestiones específicas: la proporción de datos faltantes, sus patrones y sus mecanismos.

- *Proporción de datos faltantes.* Da un primer vistazo a los datos empíricos antes de tomar las mediciones válidas. Aunque no hay un criterio estricto, se sugiere que las tasas de faltante sean extremadamente bajas (menor al 5%), ya que así no harán una interferencia significativa por inferencia. Sin embargo, si se cuenta con faltantes entre el 5% y 10%, se podrá trabajar teniendo presente que dará como resultado inferencias sesgadas significativas (Dong y Peng, 2013). Con más de 10% de datos faltantes dentro de una data, es mejor eliminar algunas variables (Wood et al., 2004, Peugh y Enders, 2004, Jellicic et al., 2009), para así llegar al máximo faltante de 10%.
- *Patrones de datos faltantes.* Hay dos patrones comunes de datos faltantes, a saber, el de tasa múltiple y el general. El primero se define cuando en la base faltan datos en diferentes niveles o variables, y el segundo se define cuando los valores faltantes son de un mismo nivel o variable.
- *Mecanismos de datos perdidos.* Proporcionan un marco probabilístico sobre las relaciones de datos perdidos. El saber por qué faltan datos es necesario para el diseño y la aplicación adecuada de los métodos de análisis estadístico (Graham, 2012). En la literatura, se pueden encontrar tres tipos comunes de faltas, asumiendo diferentes relaciones probabilísticas entre la parte faltante y la parte observada: a) fallar completamente al azar (MCAR); b) faltar al azar (MAR), y c) no faltar al azar (NMAR) (Schafer y Graham, 2002). El mecanismo MCAR supone que los datos faltantes deben ser independientes de la parte observada y la parte no observada. El MAR relaja el MCAR asumiendo que la parte faltante solo está relacionada con la parte observada y es ampliamente aceptada. El NMAR supone que los datos faltantes están relacionados tanto con la parte observada como con la parte faltante; debido a esto, apenas puede manejarse para

inferencia estadística. En consecuencia, con MCAR y MAR, los datos faltantes se pueden inferir de la parte observada.

La pregunta que surge entonces es ¿qué método es el más adecuado a usar? Y la respuesta dependerá del tipo de dato con que se cuente, ya que cada base tiene su propia estructura de variación que se podría ver afectada por la imputación utilizada. Los siguientes problemas deben resolverse (Sande (1982)): a) el de la edición y la imputación: búsqueda de la consistencia entre la información y las repuestas a imputar o editar; b) las distribuciones marginales y conjuntas de las repuestas son ciertamente diferentes para cada tipo de población, por lo que asumir normalidad no es una buena práctica, ¿qué hacer entonces?; c) identificación de los patrones de los campos faltantes; d) tiempo del que se dispone para la imputación; e) la estimación de muchos más parámetros (los datos faltantes) hace que los métodos se *esfuercen* más.

### Algunas técnicas de imputación

Los acercamientos de Sande (1982) y Olinsky *et al.* (2003) definen un primer criterio sobre cómo completar bases dependiendo de la naturaleza de sus datos: a) aquellos que provienen de información correlacionada en el tiempo y en el espacio o b) los que provienen de información transversal como encuestas de satisfacción, de evaluación de productos, entre otras. Por su parte, García Reinoso (2015) expone que se pueden clasificar los métodos de imputación en tres categorías: a) determinísticos, referentes a un modelo matemático que produce una respuesta única (Useche y Mesa, 2016, Herrera *et al.*, 2017); b) estocásticos, que ofrecen una estimación probabilística para el dato imputado (Benítez y Álvarez, 2008, Ingrisawang y Potawee, 2012), y c) los de inteligencia artificial, basados en modelos matemáticos complejos.

Complementando, a través del avance científico se han desarrollado varios métodos que se podrían clasificar en dos grupos (Liu *et al.*, 2020): la imputación simple, que tiene que ver con métodos que proporcionan un número para que se reemplace el espacio del dato faltante, y la imputación múltiple, que se basa en la incertidumbre de los datos y proporciona varios posibles valores simulados para el dato a imputar, los cuales pueden ser generados, como lo comentó Jarrett (1978), con un método estándar de mínimos cuadrados.

Son muchas las técnicas de imputación que han sido desarrolladas hasta la fecha, entre ellas, una de las primeras, es la propuesta por Wilks (1932), que busca reemplazar (pocos) datos faltantes con datos existentes en la data. En décadas posteriores, los adelantos computacionales permitieron la propuesta de técnicas de imputación más perfeccionadas.

Dentro de las propuestas para imputación de datos, se tienen las consideradas en diferentes momentos por: a) Rubin 1976, que distingue cuando los valores faltantes tienen o no relación con los existentes [MAR, MCAR]; b) en 1983, clasificados como enfoque basado en la aleatorización, y el enfoque bayesiano; c) Little y Rubin, en 1987 desarrollan la técnica de imputación múltiple, en la que, mediante valores simulados, se sustituyen los datos faltantes (Puerta Goicoechea, 2002).

Otras propuestas son las de [Kalton y Kasprzyk \(1982\)](#), quienes establecen las diferencias entre las técnicas de ajuste ponderado y las de imputación para los casos de (pocos) valores faltantes. [Helmel et al. \(1987\)](#) aportó el método *listwise*, que es usado con bases de datos de gran tamaño y que busca eliminar un bloque completo disminuyendo la data, pero teniendo una información completa. [Todeschini \(1990\)](#) propuso un k-vecino más cercano como método de estimación de valores perdidos, y [Mesa et al. \(2000\)](#) realizaron un estudio de imputación mediante el uso de árboles de clasificación, aunque se ha mostrado que sus resultados son muy pobres.

Otras investigaciones han buscado mejorar técnicas existentes de imputación, como las basadas en ACP ([Gleason y Staelin, 1975](#)), descomposición GH-Biplot ([Vásquez, 1995](#)), redes neuronales ([Koikkalainen, 2002](#)), análisis factorial ([Geng y Li, 2013](#)), entre otras ([Useche y Mesa, 2016](#)). A continuación, se desglosan otros métodos de imputación.

- *Sustitución media*. Considera la sustitución de los valores faltantes por el promedio de la variable. Para el caso de la imputación de procesos multimodo, la sustitución se toma del valor medio de la distribución dentro del modo. La sustitución media proporcionará estimaciones eficientes e imparciales para ubicaciones en aquellas situaciones cercanas a MCAR. Sin embargo, la sustitución media tiene efectos secundarios como las distorsiones de las variaciones y correlaciones. Por tanto, la sustitución media no es recomendada en la mayoría de los casos.
- *Sustitución en caliente*. Para preservar la distribución durante la imputación, la sustitución en caliente (*hot-deck*) reemplaza una entrada faltante a la vez con el valor disponible de un ítem similar en el mismo estudio. Al hacerlo, obtiene la mejor estimación de varianza en comparación con la contraparte de imputación media. De hecho, la sustitución en caliente es uno de los métodos más utilizados. Sin embargo, el problema surgirá para este enfoque cuando ocurran varios registros faltantes juntos en el archivo. La sustitución en caliente está diseñada para trabajar en sustituciones MAR.
- *Sustitución de regresión*. También conocida como *imputación media condicional*, intenta sumergir las entradas faltantes con una estimación de regresión de otras variables auxiliares correlacionadas. Este método, al igual que el de sustitución en caliente, está diseñado para trabajar en sustituciones MAR. A través de la sustitución, los valores imputados son tan buenos como el modelo de regresión utilizado para predecirlos. Por tanto, este método puede distorsionar los análisis de varianzas y correlaciones, ya que la regresión exagerará la fuerza de la relación de riesgo. Otro inconveniente es que a veces puede producir resultados improbables que pueden ser inválidos o del dominio razonable.
- *Sustitución basada en la distribución condicional*. Se imputa mediante el sorteo aleatorio de entradas faltantes de la distribución condicional de incertidumbres ([Schafer y Graham, 2002](#)). Para este tipo de imputación, se tiene que definir la distribución condicional explícita de la variable faltante dadas esas variables observadas para hacer una mejor sustitución. Posteriormente, esta

sustitución aliviará el problema de la distorsión de las distribuciones. Sin embargo, el principal problema es cómo inferir las distribuciones adecuadas con parámetros desconocidos. En algunos casos, la distribución puede ser bastante complicada, lo que hace que el método sea, engorroso.

- *Imputación con variables ficticias*. En esta metodología se crea una variable ficticia  $Z$  para estimar los datos faltantes, que puede asumir 0 o 1. [Medina y Galván \(2007\)](#) sustentan que al usar este método se generarían inconsistencias en la capacidad explicativa de los estimadores. Por ello, es pertinente evitar su ejecución, ya que pareciesen resolver la situación, pero generan sesgos al momento de ser interpretada.
- *Estimación por máxima verosímil*. Se asume que los datos faltantes siguen un esquema MAR y los valores son imputados mediante iteraciones. [Medina y Galván \(2007\)](#) explican que este algoritmo se aplica hasta lograr la convergencia, es decir, en cada iteración se anexará más información y el procedimiento terminará cuando los valores de la matriz de covarianza sean similares a los obtenidos en la iteración anterior.
- *Imputación múltiple*. Es un método de imputación relativamente moderno ([Rubin, 2004](#)), manejando los datos faltantes en tres pasos: a) imputa esos datos faltantes varias veces para generar varios conjuntos de datos completos; b) analiza cada conjunto de datos utilizando un procedimiento estadístico estándar; c) los resultados se combinan usando reglas simples para generar estimaciones, errores estándar y valores  $p$  que incorporan formalmente la incertidumbre de los datos faltantes.

La imputación múltiple puede lograr una mejor imputación que otras técnicas. Sin embargo, el problema también es obvio, ya que se tiene que imputar varias veces para lograr buena inferencia estadística, que es computacionalmente intensiva. También debe tenerse en cuenta que el objetivo de la imputación es aliviar el deterioro de los valores faltantes a la inferencia estadística en lugar de recuperar los datos verdaderos.

## METODOLOGÍA

El manejo y estudio de bases de datos se considera un insumo básico para la generación de conocimiento y solución de problemas. Por esto, es necesaria una metodología que ilustre una manera efectiva de construcción de aquellas, en especial, cuando estas cuentan con un gran volumen de datos, como los relacionados con registros financieros que usualmente suelen presentar altos índices de valores faltantes. Se proponen los siguientes pasos para su creación y manejo teniendo como punto de referencia la metodología KDD, como se puede apreciar en la figura 1.

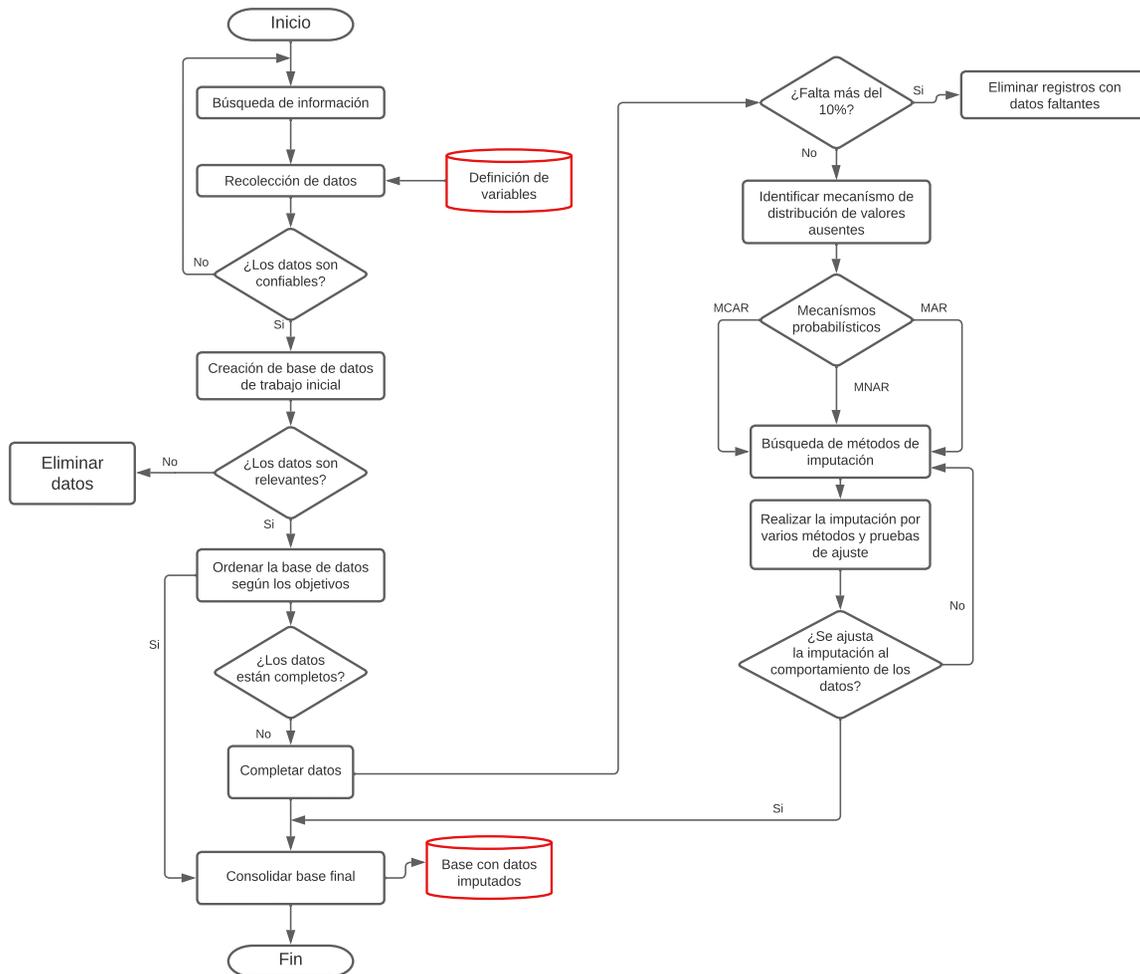


Figura 1. Metodología para la construcción de bases de datos

## Búsqueda de información

En el caso de las bases de datos financieras, la búsqueda de información debe centrarse en su confiabilidad y veracidad: “Identificar las fuentes especializadas es el paso inicial para elegir la de mayor pertinencia al tema” (Moncada-Hernández, 2014, p. 111).

Además, se debe tener en cuenta los objetivos de la investigación, ya que así se sabrá dónde centrar la búsqueda de información; porque es en ellos donde se describe qué se quiere hacer con la información contenida en la base y cómo lograrlo (Manterola y Otzen, 2013).

Particularmente, en este trabajo se busca proporcionar una metodología para la creación y manejo de una base de datos, tomando como guía la construcción de una con información financiera centrada en empresas ubicadas en la localidad de Chapinero en Bogotá, que servirá para posteriores

investigaciones en esta zona. La fuente de la información fue la Superintendencia de Industria y Comercio, que en su plataforma SIREM ([Superintendencia de Sociedades, 2020](#)) registra la información financiera de las empresas que están sometidas a su inspección y vigilancia.

## Recolección de datos

Es indispensable realizar la recolección de datos de una forma organizada y programada, teniendo en cuenta el objetivo de la investigación ([Torres et al., 2014](#)), el cual será científicamente válido al estar soportado por información comprobable. En este paso se debe tener en cuenta el tipo de fuentes a manejar, ya sean estas primarias o secundarias: en las primarias, los datos proceden directamente de la población y para su recolección existen diferentes técnicas, algunas de ellas son: entrevistas, encuestas, experimentos y observación directa. En el caso de las fuentes secundarias, la recolección se realiza a partir de datos existentes recopilados por terceros, como es el caso del ejercicio práctico de este documento: desde entidades oficiales. Para ello, al utilizar estas fuentes, ([Torres et al., 2014](#), p. 3) recomiendan analizar cuatro preguntas básicas:

- ¿Es pertinente? Se adapta a los objetivos.
- ¿Es obsoleta? No es actual.
- ¿Es fidedigna? No es cuestionada.
- ¿Es digna de confianza? Ha sido obtenida con la metodología adecuada, con objetividad, naturaleza continuada y exactitud.

En este paso, en el caso dado, se recopilan todos los datos relevantes y confiables de la fuente externa SIREM ([Superintendencia de Sociedades, 2020](#)). Tales datos contienen información referente a las finanzas de aproximadamente 30 375 empresas en Colombia.

Adicionalmente, se utilizó otra fuente externa para la recolección de datos necesarios para el estudio, la plataforma Mapas Bogotá ([Alcaldía de Bogotá, 2021](#)), desde la cual se obtienen las coordenadas de cada una de las empresas.

## Creación de la base de datos inicial

Se recopila toda la información proveniente de las fuentes externas en un solo formato, en el cual se tenga toda la información disponible. Para la recopilación de información proveniente de diversas fuentes, se debe primero definir y construir la estructura de la base de datos, definir los parámetros que permitan consignar la información relevante de acuerdo con el objetivo del estudio. Para la base de datos en cuestión, se recopila la información de los tres estados financieros más importantes para el análisis: estado de la situación financiera (Balance General), estado de resultados y flujo de efectivo;

se separaron los estados en tres archivos diferentes con la información financiera del periodo 2012-2018 de todas las empresas contenidas en la base SIREM.

Con la información disponible, se debe revisar su relevancia para el estudio, si no es así, se debe pasar a la etapa de limpieza de datos. El análisis se centraliza en la ciudad de Bogotá; se eliminan las empresas que (a) no se encuentran registradas en la ciudad capital (15 375); (b) aquellas que no se ubican en la localidad de Chapinero (10 700), para un total de 4300 empresas. Con los datos restantes, se debe realizar una limpieza de estos: "El objetivo es tener datos limpios, sin valores nulos o anómalos que permitan obtener patrones de calidad" (Timaran y Yépez (2012), p. 121).

Seguidamente, se procede a eliminar las empresas con datos atípicos o con un porcentaje de información faltante elevado (>10 %), que no tenían información ni registros en más de tres años, entre el 2012 y el 2018, debido la imposibilidad de adquirir esta información de fuentes externas, para un total de 2400 empresas, de las cuales, se determina eliminar de la data de aquellas empresas que contienen valores nulos, lo que arroja como resultado final total 2238 empresas.

### Ordenar la base de datos según los objetivos

En este paso se establece el orden que se le quiere dar a la información, para que al momento de ser consultada se facilite su tratamiento, según los objetivos planteados por los investigadores. Para el caso en cuestión, se consideraron 80 atributos de las cuentas más relevantes de los tres estados financieros más importantes: balance general, estado de resultados y flujo de efectivo, para los años comprendidos entre 2012 y 2018.

Se procede a unificar las cuentas en un solo documento Excel, anexando la información de cada empresa de 2012 a 2018, lo que arroja como resultado total 2238 empresas con registros financieros bajo 80 atributos, para un total de 1 253 280 datos.

### Completar datos

Al organizar la base de datos, puede surgir el inconveniente de *missing values*, o datos faltantes. Estos pueden tener varios orígenes, ya sea por error humano o problemas del programa que se utilice para manejar la base. Estos *missing values* pueden afectar los resultados del estudio de investigación y su posterior análisis. En un proceso investigativo, lo ideal es tener datos completos, pero si se encuentra con este inconveniente se debe tener las siguientes consideraciones:

Según Dagnino, 2014, se tienen tres alternativas cuando se cuenta con datos faltantes: a) omitir algunas variables. Como ya se mencionó, en el caso particular, se eliminaron algunas cuentas de los estados financieros que tenían poca relevancia para el estudio. b) Omitir los individuos, volviendo al caso, fueron eliminadas empresas con información faltante en más de tres de los siete años. c) Imputar los datos faltantes, los cuales se obtienen por diferentes metodologías, utilizando datos existentes.

Cabe mencionar que, para la imputación de valores faltantes, el porcentaje máximo de estos debe ser del 10%; si estos valores exceden el porcentaje, se puede optar por cualquiera de las otras dos opciones mencionadas. Con énfasis en las alternativas, a partir del caso expuesto y la experiencia adquirida en su desarrollo, a continuación, se expone la metodología para la imputación de datos.

### **Búsqueda de métodos**

Puerta Goicoechea, 2002 nombra cinco criterios para la elección del método: a) importancia de la variable a imputar, b) tipo de variable, c) estadísticos que se desean estimar, d) tasa de no respuesta y exactitud necesaria, e) información auxiliar disponible. En el caso expuesto se tienen los siguientes supuestos:

- Los datos tienen un comportamiento longitudinal y una correlación temporal: datos financieros de empresas a través del tiempo.
- La información es creciente, ya que esta al ser contable se ajusta por el valor del dinero en el tiempo.

Se opta por diferentes métodos de imputación, para un análisis comparativo y objetivo del método que proporcione mayor confiabilidad.

### **Imputación**

Se procede a aplicar los métodos definidos en el paso anterior. Para el ejercicio y el caso dado se realizó la imputación de datos como se detalla a continuación:

- *Imputación simple.* Actualmente es aplicado por algunas entidades del Estado colombiano, como el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, "entidad responsable de la planeación, levantamiento, procesamiento, análisis y difusión de las estadísticas oficiales de Colombia" (DANE, 2020). Consiste en completar la información faltante, haciendo uso de la existente. Se recomienda su aplicación en información del tipo de serie temporal para cada empresa de la base. Como paso inicial se debe calcular la variación entre los periodos. Dado que estos son anuales, la variación de la empresa  $i$  en el año  $t$  para la variable  $x$  se calcula utilizando la fórmula (1):

$$VA_i = \left( \frac{X_{it}}{x_{i(t-1)}} - 1 \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Esta indicará la variación porcentual en los valores de las variables para las cuales se realice el cálculo. Se procede a realizar la imputación de la siguiente manera: si la información que se desea imputar corresponde al tiempo  $t + 1$  se utiliza la fórmula (2):

$$X_{i(t+1)} = X_{it} \cdot \left( 1 + \frac{VA_{it}}{100} \right) \quad (2)$$

Si la información a imputar corresponde al tiempo  $t - 1$  se utiliza la fórmula (3)

$$X_{i(t-1)} = X_{it} \cdot \left( 1 + \frac{-VA_{it}}{100} \right) \quad (3)$$

- *Imputación suavizamiento*. Su intención es usar toda la información para ir corrigiendo el pronóstico del periodo siguiente, por lo que se trabajan dos tipos de información: a) un pronóstico realizado y b) la definición de demanda (anterior).

$$F_{t+1} = \alpha D_t + (1 - \alpha) F_t \quad (4)$$

Donde,  $\alpha$  corresponde a un *suavizador* que define el peso que se desea suministrar a la corrección del pronóstico y la técnica aplica un conjunto de ponderaciones decrecientes a todos los datos pasados (despliegue de  $F_{t+1}$ ):

$$F_{t+1} = \alpha D_t + (1 - \alpha) F_t \quad (5)$$

$$F_{t+1} = F_t - \alpha(F_t - D_t)$$

$$F_{t+1} = F_t - \alpha(e_t)$$

$$F_t < D_t \rightarrow e_t < 0$$

- *Imputación múltiple*. Es un método estadístico propuesto por [Little y Rubin \(2002\)](#) que permite completar datos faltantes a partir de la distribución de los valores conocidos de la variable. Tal generación se realiza de manera bayesiana donde los nuevos valores se estimarán de la distribución posterior de los datos, utilizando alguna distribución *a priori* no informativa. Ahora bien, los procesos computacionales podrían complicarse por la dificultad en las operaciones de integración que se deben ejecutar, por lo que ([Little y Rubin, 2019](#), p. 214) han propuesto algunas alternativas que podrían facilitar ese proceso: *imputación múltiple impropia*, uso de una distribución posterior de una subbase, uso de la distribución asintótica del estimador vía máxima verosimilitud de la distribución, entre otros. La imputación mantiene la incertidumbre de los datos haciendo que, en cada iteración, los datos que se generan difieran, pero los originales permanecen intactos, lo que implica que existirán  $M$  versiones de las bases de datos completas.

### Selección del método

Como lo mencionan [Cañizares et al. \(2003\)](#), la elección del método es una tarea dispendiosa, ya que un mismo método, dependiendo la situación, puede generar estimaciones precisas o no. Por ello, se aconseja considerar más de una opción para tratarlos y realizar un análisis de sensibilidad que facilite la elección del método a implementar.

Para la selección del método de imputación se tomó una muestra de la base principal, de empresas cuya información estaba completa (*sin missing values*) y se construyó una base de prueba. De esta

última fueron eliminados el 10 % de los datos al azar. Con este porcentaje se estaría dentro del criterio de decisión nombrado en el quinto paso de la construcción de bases de datos con valores faltantes. Adicionalmente, se tomaron solo las cuentas principales de cada estado financiero. Para el estado de la situación financiera en la base de prueba se tuvieron en cuenta el *total activo*, *total pasivo* y *total patrimonio*. En el caso del estado de resultados, se eligió la cuenta de *ingresos operacionales* y, por último, del flujo de efectivo se consideró la *utilidad del periodo*, como se detalla en la tabla 1.

**Tabla 1.** Información cuentas estados financieros

Año	Empresa	Total activos	Total pasivo	Patrimonio total	Ingresos operacionales	Utilidad del periodo
2012	Empresa 1	4.814.762	2.406.238	2.408.524		275.573
2013	Empresa 1	6.014.391	3.373.579	2.640.812	5.068.855	248.046
2014	Empresa 1	4.866.573	1.833.748		4.868.595	413.093
2015	Empresa 1	4.286.232	1.104.455	3.181.777	4.212.500	197.968
2016	Empresa 1		1.189.886	2.148.906	4.948.623	
2017	Empresa 1	5.687.179	3.098.735	2.588.444	4.948.623	138.952
2018	Empresa 1	7.032.359		2.806.865	6.639.704	592.421
2012	Empresa 2	6.009.183	3.073.443	2.935.740	472.097	21.305
2013	Empresa 2	8.634.809	5.035.621	3.599.188	7.519.957	203.448
2014	Empresa 2		2.440.624		777.469	344.047
2015	Empresa 2	11.331.690	875.164	10.456.526		332.578
2016	Empresa 2	17.277.080	5.840.722	11.436.358	1.379.318	825.591
2017	Empresa 2	17.884.263	6.583.533	11.300.730	1.379.318	
2018	Empresa 2	16.868.004	5.622.842	11.245.162	1.336.496	75.009

Luego, se realizó la imputación por los tres métodos elegidos previamente, se obtuvieron los nuevos registros para los valores *faltantes* y se procedió con la evaluación de la efectividad de cada método. Se compararon valores reales versus valores estimados en cada uno de los métodos. Posteriormente, se propuso la suma de diferencias de cuadrados y la suma de diferencias de desvíos entre la base de datos completa y la imputada, con el fin de determinar qué método se acercaba más a la realidad, teniendo en cuenta que este contenía las diferencias de menor magnitud (tablas 2, 3, 4, 5, 6 y 7).

**Tabla 2.** Sumas de diferencias de cuadrados imputación enfoque simple

Años	Total activos	Total pasivo	Patrimonio total	Ingresos operacionales	Utilidad del periodo
2012	2,31896E+14	77942030761	5,92378E+11	2,10935E+11	1,08945E+13
2013	1,19675E+12	7,28231E+12	1,44973E+12	3,55757E+12	3,02106E+12
2014	9,17863E+12	1,0821E+13	1,1202E+14	2,09258E+13	7,7902E+11
2015	5,34942E+13	577877647,3	1,3199E+14	2,10564E+12	5,99707E+12
2016	1,90362E+11	0	4,32023E+11	20085995920	2,86173E+12
2017	2,22592E+14	481848461,4	9,32223E+11	2,79348E+12	1,85265E+13
2018	0	0	2,30779E+13	1,6656E+13	0
<b>Total general</b>	5,18548E+14	1,81823E+13	2,70494E+14	4,62695E+13	4,20799E+13

Fuente: Elaboración de los autores

**Tabla 3.** Sumas de diferencias de cuadrados imputación múltiple

Años	Total activos	Total pasivo	Patrimonio total	Ingresos operacionales	Utilidad del periodo
2012	3,28566E+14	1,29913E+11	1,06622E+14	1,836E+13	1,84578E+11
2013	9,19493E+13	1,21351E+14	4,0429E+13	1,74135E+14	1,35908E+12
2014	1,29722E+14	4,41893E+14	1,34428E+15	9,35793E+14	3,22467E+12
2015	5,27001E+15	8,12311E+11	3,61766E+15	7,22822E+12	7,52124E+12
2016	1,30198E+11	0	1,65615E+12	1,02623E+14	3,00798E+12
2017	2,70198E+13	39400662016	8,25397E+12	4,65825E+14	9,11697E+12
2018	0	1,30757E+13	1,15287E+14	1,32484E+14	0
<b>Total general</b>	5,8474E+15	5,77302E+14	5,23419E+15	1,83645E+15	2,44145E+13

Fuente: Elaboración de los autores

## Consolidación de la base de datos

La consolidación corresponde a la fase final de la construcción de bases de datos. En este punto, lo siguiente es aplicar el método de imputación elegido a la base real. Siempre y cuando sea pertinente

**Tabla 4.** Sumas de diferencias de cuadrados imputación por suavizamiento exponencial simple

Años	Total activos	Total pasivo	Patrimonio total	Ingresos operacionales	Utilidad del periodo
2012	1,06375E+14	1,07956E+12	3,84438E+11	1,50349E+12	2,57196E+12
2013	1,01541E+14	1,55424E+13	1,01306E+14	1,12726E+14	1,76992E+12
2014	3,45799E+12	2,18763E+14	7,21516E+13	1,71086E+13	4,42495E+11
2015	2,12529E+14	6,88528E+11	2,67109E+14	1,0934E+12	4,114E+12
2016	1,18656E+12	0	7,29183E+11	2,17893E+11	6,15716E+11
2017	1,55322E+13	693900964	3,2655E+12	36932516477	4,94295E+12
2018	0	1,72384E+12	2,28306E+13	1,20592E+13	0
<b>Total general</b>	4,40622E+14	2,37798E+14	4,67776E+14	1,44746E+14	1,4457E+13

Fuente: Elaboración de los autores

**Tabla 5.** Sumas desvíos absolutos imputación enfoque simple

Años	Total activos	Total pasivo	Patrimonio total	Ingresos operacionales	Utilidad del periodo
2012	16.098.720	279.181	769.661	568.384	3.300.683
2013	1.974.250	4.830.572	1.410.439	3.455.681	3.289.651
2014	5.380.898,9	4.353.543,9	18.637.634,14	6.287.465,03	1.358.644,29
2015	1 5211 399,3	24.039,086	13.021.164,2	1.532.140,94	3.408.136,48
2016	436.304,9	0	657.284,9	176.310,95	2.962.059,31
2017	23.929.089,14	21.951,047	965.516,75	1.675.484,49	6.196.932,32
2018	0	3.844.319,92	4.960.025,31	4.369.856,95	0
<b>Total general</b>	\$ 63 030 662	\$ 13 353 607	\$ 40 421 725	\$ 18 065 323	\$ 20 516 106

Fuente: Elaboración de los autores

y se hayan considerado los criterios nombrados en este documento, con esto se obtendrán los nuevos registros para la base y así se complementará para los fines previstos de las partes interesadas.

**Tabla 6.** Sumas desvíos absolutos imputación múltiple

Años	Total activos	Total pasivo	Patrimonio total	Ingresos operacionales	Utilidad del periodo
2012	25.323.307	360.435	10.325.795	5.759.849	429.626
2013	15.769.304	18.039.272	7.200.356	18.820.005	2.048.473
2014	22.896.467	33.952.088	57.211.134	34.884.383	3.375.229
2015	106.535.097	901.283	96.590.384	2.927.137	4.609.698
2016	360.830	0	12 86 914	10.362.171	3.353.312
2017	6.801.983	198.496	2.872.973	30.511.369	3.560.348
2018	0	3.616.035	11.192.092	11.881.453	0
<b>Total general</b>	\$ 177 686 988	\$ 57 067 609	\$ 186 679 648	\$ 115 146 367	\$ 17 376 686

**Fuente:** Elaboración de los autores.

**Tabla 7.** Sumas desvíos absolutos imputación suavizamiento exponencial simple

Años	Total activos	Total pasivo	Patrimonio total	Ingresos operacionales	Utilidad del periodo
2012	12.162.674	1.039.017	620.031	1.548.068	1.603.734
2013	14.788.592	7.765.903	12.124.084,0	12.956.121	2.855.564
2014	3.969.371	20.525.147	16.305.912	5.892.704	1.198.022
2015	18.402.427	829.776	18.963.373	1.123.166	2.821.226
2016	1.089.292	0	853.922	653.346	1.305.584
2017	6.734.167	26.342	1.807.070	271.777	2.343.499
2018	0	1.312.951	4.850.672	3.593.630	0
<b>Total general</b>	\$ 57 146 523	\$ 31 499 136	\$ 55 525 064	\$ 26 038 812	\$ 12 127 629

**Fuente:** Elaboración de los autores.

## CONCLUSIONES

En la literatura correspondiente a bases de datos con faltantes, existe poca información que exprese el proceso de su reconstrucción con métodos de imputación para su consolidación final. La existente propone trabajar con la metodología *knowledge discovery in data bases* (KDD), pero la ma-

yoría de los textos destinados a la sustitución de datos faltantes no dan claridad de que método de imputación utilizar en casos particulares.

La metodología propuesta se determina para ser utilizada en campos variados de la investigación; se enmarcan las implicaciones teóricas necesarias y relevantes para orientar al investigador en el proceso; se presentan pautas para llevar a cabo cada uno de los pasos en adquirir conocimiento por medio de bases de datos. Por último, se proporcionan herramientas para determinar la factibilidad de los métodos de imputación a utilizar, en caso de ser necesarios para lograr una base de datos consolidada.

Adicionalmente, es necesario tener en cuenta que cuando la base está incompleta se deben considerar uno de tres caminos, dependiendo del estado de la base (Altman y Bland, 2007): a) omitir individuos: a realizarse cuando la información faltante de dicho individuo sea elevada en relación con la existente de los demás individuos; b) omitir variables: a realizarse cuando la mayor cantidad de registros faltantes se presenten en la misma variable; c) imputar: recomendable cuando se tenga hasta 10% de datos faltantes. Los dos primeros caminos deben ser la última opción, ya que se puede sufrir una pérdida significativa de información. En contraste, las imputaciones de datos tienen el mérito comparativamente deseable sin sacrificio de datos.

Para el caso aquí desarrollado, se aplicaron tres métodos de imputación de datos (imputación simple, imputación por suavizamiento exponencial e imputación múltiple), a dichos métodos se les realizó pruebas de ajuste, suma de diferencias de cuadrados y suma de desvíos absolutos. Por medio de estas se concluyó que el método de imputación simple es el más adecuado para este caso, puesto que, al revisar los promedios arrojados en cada una de las cuentas, es el que presenta el valor más cercano a cero en comparación a los otros dos métodos sometidos.

Lo anterior puede deberse al comportamiento longitudinal de los datos y, por ende, a una correlación temporal, lo cual lleva a pensar que la imputación múltiple rompió la secuencia en el tiempo y por ello es más efectiva cuando los datos se comportan de manera transversal. En cambio, el método de imputación simple manejó la información de años anteriores de la misma empresa para predecir el nuevo registro, lo que permitió mantener la independencia entre cada una de las empresas.

Esta propuesta es una invitación a que, en entornos y procesos de investigación que manejen bases de datos robustas, se genere un mayor rigor en el tratamiento de aquellos, e igualmente que, como parte de dichos procesos, los investigadores participen en el desarrollo o aplicación nuevas metodologías o técnicas de tratamientos de bases de datos con faltantes; es un tema que todavía tiene mucho por ser desarrollado.

## FINANCIAMIENTO

Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación "Economías de aglomeración y modelos de asociación en la localidad de Chapinero. Estudio mediante técnicas PCA y

AEDE”, financiado por Fundación Universitaria Los Libertadores, año de inicio: 2021, año de finalización: 2021.

## REFERENCIAS

- [Alcaldía de Bogotá, 2021] Alcaldía de Bogotá. (7 de 10 de 2021). *Infraestructura de datos espaciales para el distrito capital*. <https://www.ideca.gov.co/sobre-ideca/la-ide-de-bogota>. ↑Ver página 23
- [Allison, 2002] Allison, P. (2002). *Missing data*. Sage. <https://doi.org/10.4135/9781412985079> ↑Ver página 17
- [Altman y Bland, 2007] Altman, D. G. y Bland, J. M. (2007). Missing data. *British Medical Journal*, 334(7590), 424. <https://doi.org/10.1136/bmj.38977.682025.2C>. ↑Ver página 31
- [Benítez y Álvarez, 2008] Benítez, M. y Álvarez, M. (2008). Reconstrucción de series temporales en ciencias ambientales. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(3), 326-335. ↑Ver página 19
- [Booth *et al.* (2019)] Booth, B. G., Keijsers, N. L. W., Sijbers, J. y Huysmans, T. (2019). An assessment of the information lost when applying data reduction techniques to dynamic plantar pressure measurements. *Journal of Biomechanics*, 87, 161-166. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.02.008>. ↑Ver página 16
- [Brintha Rajakumari y Nalini (2014)] Brintha Rajakumari, S. y Nalini, C. (2014). An efficient data mining dataset preparation using aggregation in relational database. *Indian Journal of Science and Technology*, 7, 44-46. <https://doi.org/10.17485/ijst/2014/v7i5/50381>. ↑Ver página 17
- [Cañizares *et al.* (2003)] Cañizares, M., Barroso, I. y Alfonso, K. (2003). Datos incompletos: una mirada crítica para su manejo en estudios sanitarios. *Gaceta Sanitaria*, 18(1), 58-63. [https://doi.org/10.1016/s0213-9111\(04\)72000-2](https://doi.org/10.1016/s0213-9111(04)72000-2). ↑Ver página 17, 26
- [Carpenter y Kenward, 2013] Carpenter, J. y Kenward, M. (2013). *Multiple imputation and its application*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119942283> ↑Ver página 17
- [Dagnino, 2014] Dagnino, J. (2014). Bioestadística y epidemiología. Datos faltantes (missing values). *Revista Chilena de Anestesia*, 43(4), 332-334. <https://doi.org/10.25237/revchilanestv43n02.03> ↑Ver página 17, 24
- [DANE, 2020] Departamento Nacional de Estadística (DANE). (22 de 08 de 2020). *Estadísticas por tema*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema>. ↑Ver página 25

- [Detours *et al.* (2003)] Detours, V., Dumont, J. E., Bersini, H. y Maenhaut, C. (2003). Integration and cross-validation of high-throughput gene expression data: Comparing heterogeneous data sets. *FEBS Letters*, 546(1), 98-102. [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(03\)00522-2](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(03)00522-2). ↑Ver página 16
- [Dong y Peng, 2013] Dong, Y. y Peng, C. Y. J. (2013). Principled missing data methods for researchers. *SpringerPlus*, 2(1), 1-17. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-222>. ↑Ver página 18
- [Enders, 2010] Enders, C. (2010). *Applied missing data analysis*. Guilford Press. ↑Ver página 17
- [García Reinoso (2015)] García Reinoso, P. L. (2015). Imputación de datos en series de precipitación diaria caso de estudio cuenca del río Quindío. *Ingeniare*, 5, 73-86. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.18.539>. ↑Ver página 19
- [Ge, 2018] Ge, Z. (2018). Process data analytics via probabilistic latent variable models: A tutorial review. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 57(38), 12646-12661. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b02913>. ↑Ver página 17
- [Ge y Song, 2013] Ge, Z. y Song, J. (2013). Non-gaussian process monitoring. En *Multivariate statistical process control process monitoring methods and applications* (pp. 13-27). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4513-4>. ↑Ver página 18
- [Geng y Li, 2013] Geng, Z. y Li, K. (2003). Factorization of posteriors and partial imputation algorithm for graphical models with missing data. *Statistics and Probability Letters*, 64, 369-379. [https://doi.org/10.1016/S0167-7152\(03\)00181-0](https://doi.org/10.1016/S0167-7152(03)00181-0) ↑Ver página 20
- [Giraldo *et al.*, 2013] Giraldo, F., León, E. y Gómez, J. (2013). Caracterización de flujos de datos usando algoritmos de agrupamiento. *Tecnura*, 17(37), 153-166. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2013.3.a13> ↑Ver página 16
- [Gleason y Staelin, 1975] Gleason, T. y Staelin, R. (1975). A proposal for handling missing data. *Psychometrika*, 40(2), 229-252. <https://doi.org/10.1007/BF02291569> ↑Ver página 20
- [Graham, 2012] Graham, J. (2012). *Missing data: Analysis and design*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4018-5> ↑Ver página 17, 18
- [Hemel *et al.*, 1987] Hemel, J., Van der Voet, H., Hindriks, F. R. y Van der Slik, W. (1987). Stepwise deletion: A technique for missing data handling in multivariate analysis. *Analytical Chemical Acta*, 193, 255-268. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)86157-7](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)86157-7) ↑Ver página
- [Herrera *et al.*, 2017] Herrera, C., Campos, J. y Carrillo, F. (2017). Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México. *Redalyc*, 25(71), 34-44. <https://doi.org/10.33064/iycuaa201771598> ↑Ver página 19

- [Imtiaz y Shah, 2008] Imtiaz, S. A. y Shah, S. L. (2008). Treatment of missing values in process data analysis. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 86(5), 838-858. <https://doi.org/10.1002/cjce.20099>. ↑Ver página 17
- [Ingrisawang y Potawee, 2012] Ingrisawang, L. y Potawee, D. (2012). Multiple imputation for missing data in repeated measurements using MCMC and Copulas. *Proceedings of the Internacional Multiconference of Engineers and Computer Scientists, II*, 1-5. ↑Ver página 19
- [Jarrett (1978)] Jarrett, R. G. (1978). The analysis of designed experiments with missing observations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 27(1), 38-46. <https://www.jstor.org/stable/2346224>. ↑Ver página 19
- [Jelicic et al., 2009] Jelicic, H., Phelps, E. y Lerner, R. (2009). Use of missing data methods in longitudinal studies: The persistence of bad practices in developmental psychology. *Developmental Psychology*, 45(4), 1195-1199. 10.1037/a0015665. PMID: 19586189. <https://doi.org/10.1037/a0015665> ↑Ver página 18
- [Kadlec et al., 2009] Kadlec, P., Gabrys, B. y Strandt, S. (2009). Data-driven soft sensors in the process industry. *Computers and Chemical Engineering*, 33(4), 795-814. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2008.12.012>. ↑Ver página 17
- [Kalton y Kasprzyk (1982)] Kalton, G. y Kasprzyk, D. (1982). *Imputing for Missing Survey Responses*. American Statistical Association. Proceeding of the Section on Survey Research Methods. ↑Ver página 20
- [Kim et al. (2003)] Kim, W., Choi, B. J., Hong, E. K., Kim, S. K. y Lee, D. (2003). A taxonomy of dirty data. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 7(1), 81-99. <https://doi.org/10.1023/A:1021564703268>. ↑Ver página 16
- [Kodamana et al., 2018] Kodamana, H., Huang, B., Ranjan, R., Zhao, Y., Tan, R. y Sammaknejad, N. (2018). Approaches to robust process identification: A review and tutorial of probabilistic methods. *Journal of Process Control*, 66, 68-83. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2018.02.011>. ↑Ver página 17
- [Koikkalainen, 2002] Koikkalainen, P. (2002). *Neural network for editing and imputation*. University of Jyväskylä. ↑Ver página 20
- [Lin, 2002] Lin, T. Y. (2002). Attribute transformations for data mining I: Theoretical explorations. *International Journal of Intelligent Systems*, 17(2), 213-222. <https://doi.org/10.1002/int.10017>. ↑Ver página
- [Little y Rubin, 1987] Little, R. y Rubin, D. (1987). *Statistical analysis with missing data. Series in Probability and Mathematical Statistics*. John Wiley & Sons. ↑Ver página

- [Little y Rubin (2002)] Little, R. J. A. y Rubin, D. B. (2002). *Statistical analysis with missing data*. Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119013563> ↑Ver página 26
- [Little y Rubin, 2019] Little, R. J. y Rubin, D. (2019). *Statistical analysis with missing data*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119482260> ↑Ver página 26
- [Liu *et al.*, 2020] Liu, X., Wang, X., Zou, L., Xia, J. y Pang, W. (2020). Spatial imputation for air pollutants data sets via low rank matrix completion algorithm. *Environment International*, 139, 105713. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105713>. ↑Ver página 19
- [Manterola y Otzen, 2013] Manterola, C. y Otzen, T. (2013). Por qué investigar y cómo conducir una investigación. *International Journal of Morphology*, 31(4), 1498-1504. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022013000400056>. ↑Ver página 22
- [Medina y Galván (2007)] Medina, F. y Galván, M. (2007). *Imputación de datos: teoría y práctica*. Serie “Estudios estadísticos y prospectivos”. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). <https://doi.org/978-92-1-323101-2>. ↑Ver página 17, 18, 21
- [Mesa *et al.* (2000)] Mesa, D., Tsai, P. y Chambers, R. (2000). *Using tree-based models for missing data imputation: An evaluation using Uk Census Data*. Reporte técnico. Universidad de Southampton. ↑Ver página 20
- [Moncada-Hernández, 2014] Moncada-Hernández, S. (2014). Cómo realizar una búsqueda de información eficiente. Foco en estudiantes, profesores e investigadores en el área educativa. *Investigación en Educación Médica*, 3(10), 106-115. <http://www.riem.facmed.unam.mx/index.php/riem/article/view/362>. ↑Ver página 22
- [Olinsky *et al.* (2003)] Olinsky, A., Chen, S. y Harlow, L. (2003). The comparative efficacy of imputation methods for missing data in structural equation modeling. *European Journal of Operational Research*, 151(1), 53-79. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00578-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00578-7). ↑Ver página 19
- [Peugh y Enders, 2004] Peugh, J. y Enders, C. (2004). Missing data in educational research: A review of reporting practices and suggestions for improvement. *Review of Educational Research*, 74, 525e556. <https://doi.org/10.3102/00346543074004525> ↑Ver página 18
- [Puerta Goicoechea, 2002] Puerta Goicoechea, A. (2002). *Imputación basada en árboles de clasificación*. Eustat. ↑Ver página 19, 25
- [Timaran y Yépez (2012)] Timaran, R. y Yépez, M. C. (2012). La minería de datos aplicada al descubrimiento de patrones de supervivencia en mujeres con cáncer invasivo de cuello uterino. *Universidad y Salud*, 14(2), 117-129. ↑Ver página 16, 24
- [Rubin, 1976] Rubin D.B., (1976). Inference and missing data. *Biometrika*, 63, 581-592. <https://doi.org/10.1093/biomet/63.3.581> ↑Ver página

- [Rubin, 2004] Rubin, D. B. (2004). *Multiple imputation for nonresponse in surveys*. John Wiley & Sons. ↑Ver página 21
- [Sande (1982)] Sande, I. G. (1982). Imputation in Surveys: Coping with reality. *The American Statistician*, 36(3a), 145-152. <https://doi.org/10.1080/00031305.1982.10482816>. ↑Ver página 19
- [Schafer y Graham, 2002] Schafer, J. L. y Graham, J. W. (2002). Missing data: Our view of the state of the art. *Psychological Methods*, 7(2), 147-177. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.7.2.147>. ↑Ver página 18, 20
- [Superintendencia de Sociedades, 2020] Superintendencia de Sociedades. (08 de abril de 2020). *Asuntos económicos y societarios*. [https://www.supersociedades.gov.co/delegatura\\_aec/Paginas/Base-completa-EF-2019.aspx](https://www.supersociedades.gov.co/delegatura_aec/Paginas/Base-completa-EF-2019.aspx). ↑Ver página 23
- [Timarán-Pereira *et al.*, 2016] Timarán-Pereira, S. R., Hernández-Arteaga, I., Caicedo-Zambrano, S. J., Hidalgo-Troya, A. y Alvarado-Pérez, J. C. (2016). El proceso de descubrimiento de conocimiento en bases de datos. *Ingenierías*, 8(26), 63-86. ↑Ver página
- [Todeschini (1990)] Todeschini, R. (1990). Weighted k-nearest neighbour method for the calculation of missing values. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 9, 201-205. [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(90\)80098-Q](https://doi.org/10.1016/0169-7439(90)80098-Q) ↑Ver página 20
- [Torres *et al.*, 2014] Torres, M., Paz, K. y Salazar, F. G. (2014). Métodos de recolección de datos para una investigación. *Boletín electrónico*, 3, 1-21. <http://bit.ly/2uhM4ot>. ↑Ver página 23
- [Useche y Mesa, 2016] Useche, L. y Mesa, D. (2006). Una introducción a la imputación de valores perdidos. *Terra Nueva Etapa*, 12(31), 127-151. ↑Ver página 19, 20
- [Van Buuren *et al.*, 2006] Van Buuren, S., Brand, J., Groothuis-Oudshoorn, C. y Rubin, D. (2006). Fully conditional specification in multivariate imputation. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 76, 1049e1064. <https://doi.org/10.1080/10629360600810434> ↑Ver página 17
- [Vásquez, 1995] Vásquez, M. (1995). *Aportación al análisis biplot: un enfoque algebraico* [Tesis doctoral]. Universidad de Salamanca. ↑Ver página 20
- [Wilks (1932)] Wilks, S. (1932): Moments and distributions of estimates of population parameters from fragmentary simple. *Annals of Mathematical Statistics, B*, 163-195. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177732885> ↑Ver página 19
- [Witten *et al.*, 2016] Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A. y Pal, C. J. (2016). *Data mining: Practical machine learning tools and techniques*. 4.ª ed. Morgan Kaufmann. ↑Ver página 17

[Wood *et al.*, 2004] Wood, A., White, I. y Thompson, S. (2004). Are missing outcome data adequately handled? A review of published randomized controlled trials in major medical journals. *Clinical Trials*, 1, 368e376. <https://doi.org/10.1191/1740774504cn032oa> ↑Ver página 18

[Xu *et al.*, 2015] Xu, S., Lu, B., Baldea, M., Edgar, T. F., Wojsznis, W., Blevins, T. y Nixon, M. (2015). Data cleaning in the process industries. *Reviews in Chemical Engineering*, 31(5), 453-490. <https://doi.org/10.1515/revce-2015-0022>. ↑Ver página 17



## Diseño de una ruta metodológica para la toma de decisiones en la adquisición de *software*

### Design of a methodological route for decision making in software acquisition

José Fernando Castellanos Galeano <sup>1</sup>, Cristian Giovanni Castrillón Arias <sup>2</sup>

Fecha de Recepción: 22 de mayo de 2022

Fecha de Aceptación: 26 de septiembre de 2022

**Cómo citar:** Castellano- Galeano., J.F. y Castrillón-Arias., C.G. (2023) Diseño de una ruta metodológica para la toma de decisiones en la adquisición de software. *Tecnura*, 27(75), 38-50. <https://doi.org/10.14483/22487638.17909>

## Resumen

**Contexto:** Los procesos de selección y adquisición de tecnología en las empresas, y en especial del *software*, han sido una actividad relevante que permea no solo las estructuras internas de producción, sino el escenario financiero. Por esa razón, esta etapa debe cobrar cada vez mayor importancia en los escenarios organizacionales, caso que destaca la investigación fuente principal del presente artículo, y en la que se determina como objetivo “diseñar un modelo estratégico para permitir el establecimiento de lineamientos que aporten al proceso de adquisición de *software* en una organización”.

**Método:** La forma de alcanzar este objetivo se fundamenta en acciones estratégicas complementarias y articuladas que, desde el punto de vista metodológico, son la observación, las entrevistas, las consultas y los métodos de ingeniería de sistemas, las metodologías estándar utilizadas para el análisis, implementación y documentación de sistemas, sin convertir los resultados en cuadros resumen, sino en documentos que permitan la creación del producto estratégico del proyecto. Esta actividad metodológica refiere un enfoque crítico, participativo, militante u orientado a la acción, ya que se concibe la selección de *software* como un proceso histórico, desde las instancias organizacionales, e ideológico, desde las instancias tecnológicas. Tal enfoque subraya la comprensión práctica del hecho selectivo y se convierte en racionalidad y estandarización estratégicas para dicha selección y adquisición.

**Resultados:** Se obtiene un planteamiento estratégico para una asertiva toma de decisiones en aras de la adquisición de *software* dentro de una organización.

**Conclusión:** La investigación arroja una ruta metodológica estratégica para ser aplicada en los procesos que redundan en una decisión efectiva de adquirir aplicaciones de *software* por parte de una organización.

**Financiación:** Este proceso investigativo fue financiado completamente por la Universidad de Caldas.

**Palabras clave:** adquisición de software, metodología, organizaciones, *software* y estratégico.

<sup>1</sup>Ingeniero de Sistemas, magíster en Gestión y Dirección de Proyectos, docente de la Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. Email: [jose@ucaldas.edu.co](mailto:jose@ucaldas.edu.co)

<sup>2</sup>Ingeniero de Sistemas y Telecomunicaciones, especialista en Proyectos de Desarrollo de Software, magíster en Proyectos de Desarrollo de Software, docente de la Universidad de Caldas y de la Universidad Autónoma de Manizales. Manizales, Colombia. Email: [cristian.castrillon@ucaldas.edu.co](mailto:cristian.castrillon@ucaldas.edu.co)

## Abstract

**Context:** the processes of selection and acquisition of technology in companies and especially of software, have been a relevant activity that permeates not only the internal structures of production but also the financial scenes, which is why this stage must become increasingly important. in organizational scenes, a case that highlights the main research source of this article, determining as an objective “to design a strategic model to allow the establishment of guidelines that contribute to the software acquisition process in an organization”.

**Method:** this is how the way to achieve this objective is based on complementary and articulated strategic actions that, from the methodological point of view, are observation, interviews, consultations and systems engineering methods, the standard methodologies used to the analysis, implementation and documentation of systems engineering methods, the standard methodologies use to the analysis, implementation and documentation of systems, without converting the results into summary tables, but into documents that allow the creation of the strategic product of project. this methodological activity refers to a critical, participatory, militant or action-oriented approach, since the software selection process is conceived as a historical process, from the organizational instances, and ideological from the technological instances, such an approach underlines the understanding practice of the selective act and becomes strategic rationality and standardization for said selection and acquisition.

**Results:** As a result of the investigation, a strategic approach is obtained for decision- making in the effective acquisition of software within an organization.

**Conclusions:** The main result of the research is a strategic methodological route, to be applied in the processes that involve effective decision-making when acquiring software applications by an organization. This research process was fully funded by the University of Caldes.

**Keywords:** software acquisition, methodology, organizations, software and strategic.

---

## Tabla de contenidos

	<b>Pág</b>
<b>Introducción</b>	39
<b>Metodología</b>	40
<b>Resultados</b>	42
<b>Conclusiones</b>	49
<b>Financiamiento</b>	49
<b>Referencias</b>	49

## INTRODUCCIÓN

La información, el *software*, el conocimiento y, en general, el mundo intangible que determina muchos resultados y decisiones del quehacer humano, se convierten cada vez en elementos imprescindibles para su desarrollo, entendido este como la promoción del potencial de las personas, el aumento de sus posibilidades y el disfrute de la libertad para vivir la vida que valoran.

El conocimiento, concebido como el resultado de la articulación de información y su puesta en escena para lograr la atención de requerimientos, se administra desde varios frentes; el más importante, el humano (Gómez, 2018). Pero también tiene, en la actualidad, un relevante frente de administración que es la tecnología, manifestada en el *software* como elemento principal (Henderson, 2009), y es precisamente este elemento, el objeto principal de investigación fuente del presente artículo, que refiere sus procesos de elección para ser ubicado en el (los) entorno(s) requerido(s). La gran mayoría de personas naturales o jurídicas se enfrentan, en algún momento de su vida, a la tarea de identificar, valorar y, por último, decidir tal o cual aplicación de *software* que le permita dar trámite al manejo de su información (Davis *et al.*, 2007).

Dicha elección tiene diversas connotaciones desde varios contextos, una de ellas es la psicológica, mediante la cual una persona responde simplemente a sus impulsos personales para adquirir una aplicación de *software* y usarla en sus propósitos, sin ningún procesamiento en la elección más que su intuición o experiencia. Otro escenario refiere a los proveedores de dicha actividad de selección y adquisición, quienes cumplen un papel importante al valorar las características de sus clientes en el momento de tan importante decisión (Cuadro *et al.*, 2017). Otra de las connotaciones para la elección de *software* es la tecnológica, a través de la cual una persona jurídica o natural se fundamenta en los datos que tiene sobre las características del programa a adquirir. Así como las dos anteriores, existe diversidad de connotaciones que determinan en mayor o menor medida la calidad en los diversos procesos de adquisición de *software* y, en general, de las tecnologías conexas a este, hasta el punto de considerar ambientes generalizados a nivel global para este efecto (p. ej., ISO 19770-1 [SAM] Administración de Activos de *software*). Sin embargo, queda la incertidumbre de qué estrategia seguir para lograr un resultado satisfactorio que permita dar mayor seguridad a las personas y organizaciones en esta tarea tan común y necesaria para gestionar la información, que cada vez es más cambiante y creciente (Helkyn Coello Blog, 2009).

Este proyecto desarrolla un modelo estratégico para la toma de decisiones en la adquisición de *software*, que le proponga a las personas y organizaciones una manera impersonal de ejecutar esta tarea, de tal forma que haya beneficios financieros, tecnológicos, administrativos, competitivos, temporales, racionales y justos sin detrimento de los objetos sociales de los actores.

## METODOLOGÍA

Para esta investigación se empleó un enfoque crítico, participativo, militante u orientado a la acción, ya que la selección de *software* se concibe como un proceso histórico desde las instancias organizacionales, e ideológico, desde las instancias tecnológicas; además, que dicho enfoque subraya no solo la comprensión práctica del hecho selectivo, sino el intento de transformar dicha práctica para lograr racionalidad y sobre todo estandarización estratégica en dicha selección.

El paradigma crítico utilizado para esta investigación presupone la existencia de una *comunidad crítica*, cuyos miembros desempeñan un rol activo en la concepción y desarrollo del trabajo de investigación aquí planteado; sus principios ideológicos apuntan a la generación de una ruta metodológica que permita una selección efectiva e impersonal (como ya se ha planteado) y sin detrimento de la calidad de los resultados para un escenario sostenible en el tiempo que permita efectividad en los procesos que dicha tecnología implica (Gómez y Garduño, 2020). En este proceso, la investigación pasa por diversos ámbitos para conocer y comprender la realidad del enfoque hipotético presentado:

- Unir teoría y práctica: conocimiento, acción y valores evidenciados en los procesos de selección de *software*.
- Utilizar el conocimiento para diseñar un modelo estratégico.
- Involucrar a los actores en la solución estratégica, a partir de la autorreflexión.

Guiados por dicho enfoque crítico y participativo, cada uno de los objetivos propuestos se alcanzará en las siguientes etapas:

- Durante las exposiciones, preámbulos y revisiones de todo este documento de investigación, se proponen cuestionamientos alusivos al recorrido que sigue la lectura y que permitan ampliar la investigación hacia los conceptos y posibilidades del lector; así, se provoca una revisión analítica y orientada a la acción, además de convertirse en una estrategia didáctica de autoaprendizaje, para lo cual se debe considerar que una investigación tiene relación directa con la indagación permanente.
- Revisión teórica de los temas relacionados directamente con el contexto de la investigación (p. ej.: caracterización del *software*, ingeniería de *software* y ciclos de vida, estudios de sensibilidad, gestión tecnológica empresarial [en *software*], buenas prácticas en la selección de *software*, articulación de los anteriores).
- Realización de visitas a las empresas para la aplicación de un diagnóstico de manera particular, masiva o a través de conceptualización de los procesos de selección de *software* de dichas empresas.
- Diseño y aplicación de una ruta metodológica estratégica, para selección de *software*, que permita estandarizar dichas actividades en las empresas objeto del proyecto, desde las prácticas globales e institucionales.
- Se realiza una generación de nuevas estrategias que mejoren y fortalezcan a las empresas en sus procesos de selección de *software*.
- Por último, se presentan conclusiones, recomendaciones y soportes bibliográficos actualizados de la investigación.

Luego de logrados los objetivos propuestos, se programa un plan de socialización mediante visitas institucionales que permitan iniciar la propuesta de instalación gradual de tales resultados.

El enfoque investigativo empleado presenta una orientación deductiva con la cual es posible descubrir, a partir de elementos conceptuales, pasando luego por un trabajo de campo, las características del objetivo general de la investigación, la cual refiere lineamientos estratégicos en el proceso de toma de decisiones para selección de *software*. Así, aporta una ruta metodológica útil para las ciencias, administrativa e informática, en el marco de la actividad empresarial.

Para desarrollar algunas de las etapas planteadas en el presente trabajo, se utilizan como apoyo las fases normales de un estudio de tipo descriptivo (Bisquerra, 2004), con la aplicación estratégica de dichas etapas y sus resultados:

- Definición del espacio muestral.
- Diseño de instrumentos de recolección.
- Recolección de información.
- Elaboración de resultados.
- Análisis de los resultados.
- Generación de saberes.

## RESULTADOS

Actualmente existen una serie de políticas, requisitos, normas, marcos e iniciativas de mejora y acompañamiento de procesos que se refieren específicamente a las mejores prácticas de adquisición de *software*. Se realizó la revisión de nueve estándares importantes a nivel global (Maleh *et al.*, 2021):

- ISO/IEC 12207:2008 *software* life-cycle processes.
- ISO/IEC 14598-*software* evaluación del producto.
- IEEE 1062-1998-Práctica recomendada para la adquisición de *software*.
- Objetivos de control para la información y Tecnologías Relacionadas (COBIT).
- Modelo de madurez de la capacidad de integración de adquisición (CMMI-ACQ).
- Information Technology Infrastructure Library (ITIL).
- ISO/IEC 19770-1.
- Aseguramiento de la calidad de *software* (SQA).

- Organización para la gestión de proyectos PMI.

Aproximadamente el 50 % de adquisiciones de *software* en las organizaciones no representa un estándar que convierta aquellos marcos teóricos referentes a la adquisición de *software* en un único marco o herramienta de mejor práctica, pues todas apuntan desde diferentes tópicos a dicho proceso (Orozco Bohórquez, 2010).

Se realizó el estudio bibliográfico respectivo, que ayudó al entendimiento de los requisitos básicos establecidos en estas mejores prácticas para la adquisición de *software* orientado al entorno productivo y empresarial de las organizaciones inmersas en la investigación. Los resultados de la puesta en marcha del proyecto se expresan a partir de los objetivos planteados y los productos que se planearon diseñar:

El objetivo general se alcanza gracias al logro de los objetivos específicos:

- Diseñar una ruta metodológica para la toma de decisiones en la adquisición de *software* que sirva como referente en el sector empresarial.

Se presentan entonces a continuación, los resultados para cada objetivo específico, además de sus pormenores de logro:

- Construir nuevas estrategias que permitan el entendimiento de las políticas empresariales para la toma de decisiones en la adquisición de *software*.

Se presenta el resultado de los respectivos análisis y estrategias; ante las acciones para este particular se hace una lectura del entorno mediante una consulta y se adopta un documento de la bibliografía para ser vinculado como las nuevas estrategias en materia de creatividad empresarial, las cuales se recomienda aplicar directamente al momento de realizar la actividad de selección de *software* y tecnologías afines en una empresa.

- Se pone especial cuidado en establecer criterios de selección fundamentados en soportes.
- No se considera la información ni las tecnologías que la manejan, como uno de los activos más relevantes; este último es un planteamiento de estándares globales, como COBIT o ITIL (Arbeláez, 2006).
- Específicamente, el *software* no se considera como el activo más relevante para la organización.
- Se deja ver una brecha entre la cultura organizacional sobre gestión tecnológica y las oportunidades de competitividad en gestión de la información.
- Es necesario que las empresas fortalezcan sus programas de apropiación en cuanto a estándares globales de auditoría y gestión tecnológica, con el fin de que los actores se adueñen de tales conocimientos para que sean aplicados convenientemente.

- Se evidencia un riesgo tanto en la aplicación de buenas prácticas en selección de *software* como en los recursos que la organización invierte para dicha actividad.
- Para la mayoría de las organizaciones, el producto *software* es relevante; sustentan sus consideraciones y procesos de selección con argumentos y para ello se nota una tendencia en la verificación y revisión de las etapas, desde el frente de su calidad.
- Es necesario que los actores encargados de la toma de decisiones se apropien cada vez más de la selección del *software*, así es posible un ambiente de mejor calidad en los productos tecnológicos construidos en el entorno de la población objetivo.
- Se nota una débil tendencia por incluir a todas las dependencias en el proceso de selección de *software*.
- La adquisición de *software* es cada vez más común en las organizaciones, por ser este un recurso relevante en ellas. Existen diferentes formas de adquirir *software*; por ejemplo, compra, construcción interna o desarrollo tercerizado. En este proceso se identifican dos roles principales: el de cliente comprador o usuario final, y el del desarrollador o proveedor.
- El entorno consultado no tiene claridad ni estabilidad en cuanto a consultar el entorno global para su desarrollo tecnológico.
- Al momento de seleccionar *software*, una vía es que se siguen las etapas completas para la tarea organizacional de selección de *software* (planeación, estudio técnico, gestión financiera, adquisición).
- No hay evidencias concretas sobre si las organizaciones, en general, están aprovechando las posibilidades y oportunidades que brindan las aplicaciones de *software*.
- Generalmente, las empresas adquieren este tipo de tecnología (*software*) para suplir las necesidades puntuales del momento y situación específicos.
- Los productos tecnológicos, y específicamente el *software*, son subutilizados o presentan redundancia; además generan, entre otros inconvenientes, un detrimento patrimonial del recurso invertido.
- Solo algunos funcionarios aprovechan los planes de capacitación en las organizaciones.
- Algunos funcionarios de las empresas conocen muy bien las aplicaciones que usan en su labor, otros se dedican a usar la (las) parte(s) de las aplicaciones tecnológicas que están en su entorno laboral, otros sencillamente no les interesa capacitarse y justifican tales situaciones con argumentos como “es función de los de sistemas realizar las tareas tecnológicas”.
- El producto *software* es relevante para la empresa a nivel financiero, pues se aplican metodologías de costeo y además forma parte del patrimonio de la organización.
- El *software* es un producto que permite a la organización dos ambientes positivos: uno interno, por cuanto motiva mayores índices de productividad, y otro externo, pues apoya el acceso a nuevos mercados.

- Las herramientas tecnológicas por sí solas no alcanzan tales pretensiones de productividad y competitividad, es necesario el concurso de otras variables para que se articulen y en conjunto sea posible el logro de tales pretensiones.
- Determinar un conjunto de criterios generales e integrales que permita la toma de decisiones en la adquisición de *software*.

El resultado para este objetivo se presenta en dos fases: por un lado, la identificación de los estándares relacionados con la temática del proyecto, y por otro, una escogencia de los estándares que integren la selección de *software*, relacionados inclusive por otros de la misma índole. En cuanto a la identificación de estándares, se realiza un estudio de aquellos que contemplan en su estructura la selección de *software* y, en general, de tecnologías afines. Ante ello, este proyecto identificó nueve, presentados en el apartado de “estado del arte”, de la investigación que sirvió como base al presente artículo, en su apartado “marco teórico y conceptual”; la escogencia de los estándares que establecen una integralidad en el proceso de selección de *software*, se concluye en tres de la lista referida en dicho apartado. Así mismo a partir de este conjunto de tres estándares, se extrae un consolidado con procesos, variables y valores ideales que faciliten, de manera completa y suficiente, una lectura y evaluación del proceso de selección de *software* y tecnologías afines en el ámbito empresarial.

- Desarrollar un marco metodológico estandarizado como estrategia para la toma de decisiones en la adquisición de *software*, a partir del logro de los objetivos anteriores.
- Evaluar el impacto que tiene dicho modelo en la toma de decisiones para selección de productos de *software* en una organización aplicada al desarrollo social.
- Optimizar dicho modelo de acuerdo con el impacto obtenido en el procedimiento anterior.
  - Integrar las estrategias actuales para la toma de decisiones con el propósito de crear un planteamiento estratégico para la efectiva adquisición de *software* en una organización.
  - Hacer una revisión conceptual exhaustiva de las técnicas actuales para la toma de decisiones.
  - Analizar las técnicas más apropiadas y ajustadas en la efectiva selección de aplicaciones de *software* para las organizaciones.
  - Construir una estrategia para la toma de decisiones, a partir de los resultados anteriores.
  - Diseñar un nuevo planteamiento estratégico que permita articular las prácticas institucionales de manera integral en sus procesos de adquisición de *software*.

Los resultados de los dos objetivos anteriores son construidos a partir del seguimiento de las acciones relacionadas para cada uno, y que durante el desarrollo del proyecto han sido presentadas. Tales resultados se describen a continuación, según lo referido en la figura 1, en la cual se

presenta un planteamiento estratégico en un marco metodológico estandarizado, como acción clave para la toma de decisiones en la efectiva adquisición de *software* en una organización.

Considerando esta dinámica de trabajo, la cual da cuenta de un estudio juicioso sobre planteamientos aceptados generalmente, es decir a nivel global, en auditoría y gestión tecnológica, se extraen algunas situaciones allí planteadas y se diseñan otras nuevas que tienen su fuente en la dinámica misma de las organizaciones, pero que hasta ahora no han sido tratadas con el fin exclusivo de apoyar la actividad de selección de *software* y, en general, de la tecnología que la organización emplea en su dinámica de desarrollo; este resultado está constituido como sigue (Van Grembergen, 2004).

- *Identificación de requerimientos.* El primer paso en la selección de *software* o de tecnologías relacionadas (STR) es la identificación concreta y completa de la (las) necesidades. Estas son de varios tipos y pueden presentarse de forma individual o en conjunto; así mismo, la modalidad de adquisición para suplir cualesquiera de dichas necesidades puede ser compra, donación, leasing, alquiler u otro de esta índole; los tipos de necesidades se presentan a continuación como apoyo a las organizaciones, en esta etapa:
  - Adquisición de STR.
  - Cambio de STR.
  - Migración de STR.
  - Actualización de STR.

Según sea el tipo de necesidad identificada, es necesario documentar amplia y efectivamente el caso, desde los puntos de vista organizacional, legal, técnico y financiero. Por último, en esta etapa metodológica es importante considerar que el STR por adquirir nunca debe ser irrelevante para la empresa por ningún motivo; es decir, que no se le dé la importancia debida porque sea muy pequeño o porque lo usará una sola dependencia o porque es una donación, en fin, el STR por adquirir nunca debe ser irrelevante para la empresa por ningún motivo.

- *Estructura organizacional.* El equipo de trabajo para intervenir en un proceso de selección de STR, además de no tener una cantidad de personas específica, ya que esto es variable según el caso, tiene las siguientes características:
  - Interdisciplinar (cuidando de que participen las personas con perfiles relacionados directamente al requerimiento identificado).
  - Interdependencias (personas que laboren en las dependencias en las cuales el producto tecnológico va a funcionar, no solamente el área de sistemas o de cómputo o la que haga sus veces).

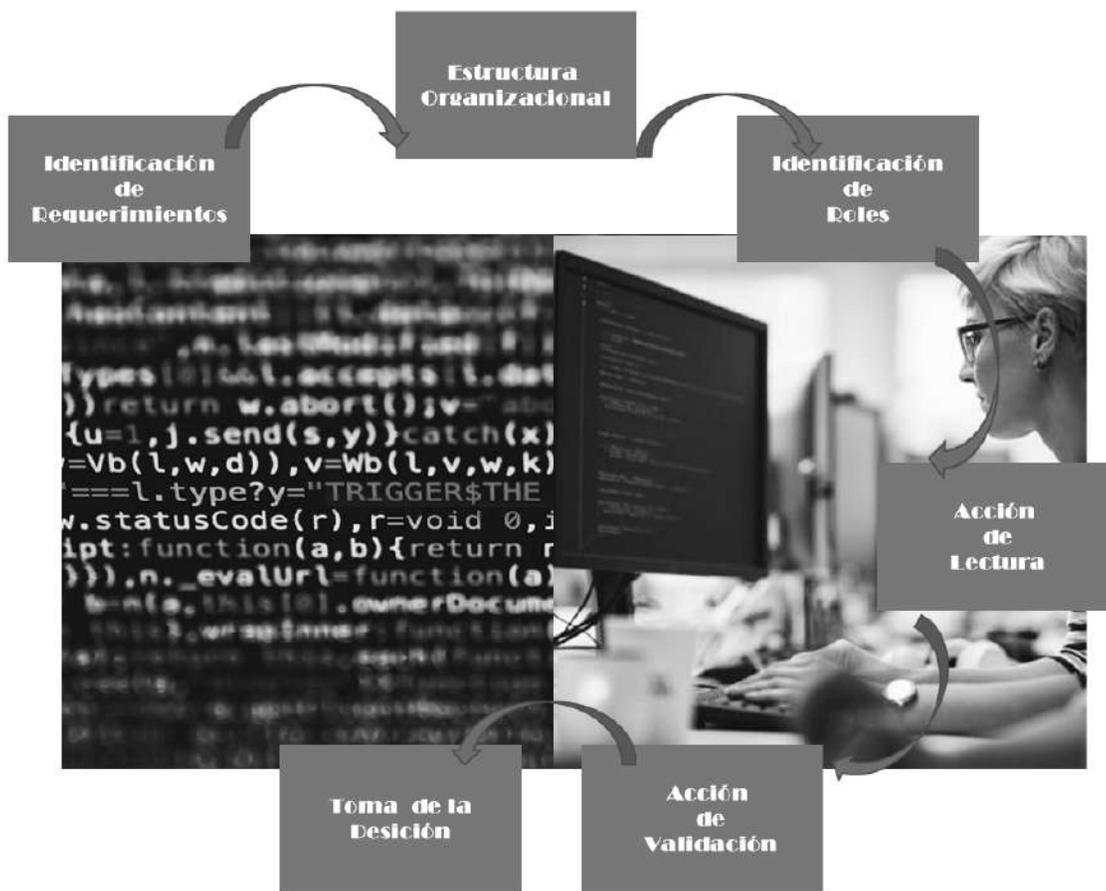
- Sistémico (personas que tengan la convicción de aplicar más del 90 % del producto por adquirir, es decir que no se suscriban exclusivamente al requerimiento cuando el producto es adquirido).
- Gestores (personas con adecuada imagen como líderes de planeación y gestión de proyectos sin importar la envergadura o tamaño de estos).
- *Identificación de roles.* Luego de constituir el equipo organizacional que intervendrá el proceso de selección de STR, es necesario prepararse para iniciar las acciones de lectura en campo al entorno del requerimiento identificado; es decir, dicho equipo, además de discutir y consolidar dicho requerimiento, debe identificar dos roles específicamente: uno de registrador de información y otro de administrador de información<sup>3</sup>.
  - El primero (registrador de información) debe ser alguien que conozca integralmente la empresa en cuanto a la información y las tecnologías (blandas, duras y humanas) que soportan dicha información en la empresa, pues esta persona debe registrar los datos respectivos en la herramienta destinada para tal fin (*Trazalid*).
  - El segundo (administrador de información) debe ser quien lidere procesos organizacionales en la entidad para que, además de registrar, pueda verificar el registro realizado por el primer rol. También, debe tener las competencias propias de dicho registrador de información en cuanto al conocimiento integral de la empresa desde su información y las tecnologías que la soportan.
- *Acción de lectura.* Es una actividad propia del registrador de información y consiste en revisar y visitar cada estancia o dependencia o proceso que evidencie la información solicitada por la herramienta de trazabilidad (*Trazalid*), registrarla en los campos respectivos y grabarla como actividad de registro para próxima comparación, por parte de la misma herramienta, con los valores ideales preestablecidos. Es destacable que el registrador no tiene permiso para ver los valores ideales, por razones obvias.
- *Acción de validación.* Esta actividad, propia del administrador de información, tiene dos frentes posibles, según decisión del equipo y la dinámica misma del proceso: uno de registro y otro de la administración misma. El administrador de información puede, eventualmente, cumplir las funciones del registrador en su totalidad, además su función principal es monitorear y validar los datos ingresados; así mismo, tiene acceso a los valores ideales preestablecidos presentados en conjunto con los valores leídos durante la actividad de lectura. También tiene acceso a los consolidados de datos en presentación gráfica y textual, según sea requerido; además, podrá

---

<sup>3</sup>Navegar por el sitio [www.trazalid.com/agromundo](http://www.trazalid.com/agromundo) - Registrador: Usuario: usuario3 - Clave: usuario3@2014 y Administrador: Usuario: agromundo - Clave: \*agromundo@2014.

diseñar consultas por procesos o por variables. Todo lo anterior le permite tener más elementos de juicio al momento de presentarse al equipo de trabajo para la toma de decisiones.

- *Toma de la decisión.* Con los insumos anteriores, no solo tecnológicos sino humanos y procedimentales, el equipo de trabajo definido al inicio puede tomar la decisión de adquisición de *software* para la empresa de manera segura y confiada, además de estar basados en tres estándares globales, lo cual le da mayor credibilidad y competitividad a este planteamiento estratégico, en un marco metodológico estandarizado (Harris *et al.*, 2008, Weill y Ross, 2004).



**Figura 1.** Estrategia para selección de *software*

- *Validar la ruta metodológica diseñada, en los actores de la población objetivo.* Se realizan acciones entre los actores, para lo cual se diseña y desarrolla un plan de trabajo que es evidenciado en el apartado “Metodología del proyecto”, así mismo se realizan las respectivas acciones de socialización.

Luego de alcanzados y evidenciados los objetivos, se destaca un compromiso relevante de este proyecto que se refiere a “Programa de transferencia tecnológica para adquisición efectiva de

productos de *software* en las organizaciones del sector empresarial”. Precisamente, la relevancia de este compromiso está fundada en las acciones de proyección social de la investigación; además del cumplimiento del último objetivo, se diseña y gestiona un proyecto de proyección, a partir de este proyecto de investigación, el cual está formulado y en proceso de gestión para la Vicerrectoría de Proyección Universitaria de la Universidad de Caldas.

## CONCLUSIONES

- La investigación arroja como resultado principal una ruta metodológica estratégica para ser aplicada en los procesos de una efectiva toma de decisión, al momento de adquirir aplicaciones de *software* por parte de una organización.
- Como resultados proyectados, luego de obtener una ruta metodológica para establecer los lineamientos que contribuyen a la adquisición de *software*, se espera favorecer a la cultura del gobierno de TI en las organizaciones; y así, aportar en términos de efectividad, usabilidad y pertinencia en la gestión de T.I.

## FINANCIAMIENTO

La investigación de la cual se derivó el artículo se denomina “Diseño de un modelo estratégico para la toma de decisiones en la adquisición de *software*”, avalada y financiada por la Universidad de Caldas.

## REFERENCIAS

[Arbeláez, 2006] Arbeláez, R. (2006). Integrando ITIL, COBIT e ISO 27002 como parte de un marco gobierno y control de TI. En *XXVI Salón de Informática: “La gobernabilidad de TI: una responsabilidad y reto para los directivos de TI.* <https://www.magazcitum.com.mx/wp-content/uploads/2010/07/Integrando-CobIT-ITIL-e-ISO-27001-como-parte-del-Gobierno-de-TI.pdf>.

↑Ver página 43

[Bisquerra, 2004] Bisquerra, R. (2004). *Metodología de la investigación educativa*. Editorial La Muralla.

↑Ver página 42

[Cuadro *et al.*, 2017] Cuadro, Á., González, C. y Jiménez, P. C. (2017). Análisis multivariado para segmentación de clientes basada en RFM. *Tecnura*, 21(54), 41-51. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6371516>. <https://doi.org/10.14483/22487638.12957> ↑Ver página 40

- [Davis *et al.*, 2007] Davis, C., Siller, M. y Wheeler, K. (2007). *IT Auditing-using controls to protect information assets*. McGraw-Hil. ↑Ver página 40
- [Gómez, 2018] Gómez, P. P. (2018). La investigación y la creación son tu energía, el tema lo pones tú. *Calle 14 revista de investigación en el campo del arte*, 13(23), 10-15. <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/c14/article/view/12985>. <https://doi.org/10.14483/21450706.12985> ↑Ver página 40
- [Gómez y Garduño, 2020] Gómez, J. A. y 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 41
- [Harris *et al.*, 2008] Harris, M. D., Herron D. y Iwanicki, S. (2008). *The business value of it: Managing risks, optimizing performance, and measuring results*. Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781420064759> ↑Ver página 48
- [Helkyn Coello Blog, 2009] Helkyn Coello Blog. (8 de febrero de 2009). *Alcances para lograr un buen gobierno de TI, Perú*. <http://helkyncoello.wordpress.com/2009/02/08/alcances-para-lograr-un-buen-gobierno-de-ti/>. ↑Ver página 40
- [Henderson, 2009] Henderson, H. (2009). *Encyclopedia of computer science and technology*. Infobase Publishing. ↑Ver página 40
- [Maleh *et al.*, 2021] Maleh, Y., Sahid, A., Mamoun, A. y Belaisaoui, M. (2021). *IT Governance and Information Security: Guides, Standards, and Frameworks 2021*. Routledge, Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781003161998> ↑Ver página 42
- [Orozco Bohórquez, 2010] Orozco Bohórquez, M. (2010). *Guía metodológica de adquisición de software para pequeñas y medianas empresas del sector privado* [Trabajo de grado]. Repositorio de la Universidad de la Costa. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/1085>. ↑Ver página 43
- [Van Grembergen, 2004] Van Grembergen, W. (2004). *Strategies for information technology governance*. Idea Group Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-59140-140-7> ↑Ver página 46
- [Weill y Ross, 2004] Weill, P. y Ross, J. W. (2004). *IT governance: How top performers manage IT decision rights for superior results*. Harvard Business School. ↑Ver página 48



## Attention Maps to Highlight Potential Polyps during Colonoscopy

### Mapas de atención para destacar pólipos potenciales durante la colonoscopia

Lina Marcela Ruiz-García <sup>1</sup>, Luis Carlos Guayacán-Chaparro <sup>2</sup>, Fabio Martínez-Carrillo <sup>3</sup>

Fecha de Recepción: 01 de julio de 2022

Fecha de Aceptación: 26 de septiembre de 2022

**Cómo citar:** Ruiz-García., L.M. Guayacán-Chaparro., L.C. Martínez-Carrillo., F. (2023). Attention Maps to Highlight Potential Polyps during Colonoscopy. *Tecnura*, 27(75), 51-71. <https://doi.org/10.14483/22487638.18195>

### Abstract

**Context:** Polyps are protruding masses that grow along the intestinal tract and are considered to be the main precursors of colorectal cancer. In early stages, polyp detection represents a survival probability of up to 93 %, whereas, for other stages, this probability can decrease to 8 %. Despite the fact that colonoscopy is the most effective method to detect polyps, several studies have shown a loss rate of up to 26 % in detecting polyps. Computer tools have emerged as an alternative to support polyp detection and localization, but various problems remain open due to their high variability.

**Method:** This work introduces a computational strategy that produces visual attention maps with the most probable location of polyps to generate alarms and support detection procedures. Each colonoscopy frame is decomposed into a set of deep features extracted from pre-trained architectures. Such features are encoded into a dense Hough representation in order to obtain a polyp template, which is then propagated in each frame to obtain a visual attention map. The maximum regions are back-projected to the colonoscopy in order to draw suspicious polyp regions.

**Results:** The proposed strategy was evaluated in the ASU-Mayo Clinic and CVC-Video Clinic datasets, reporting a detection accuracy of 70 % among the four most probable regions, while ten regions yielded 80 %.

**Conclusions:** The obtained attention maps highlight the most probable regions with suspicious polyps. The proposed approach may be useful to support colonoscopy analysis.

**Keywords:** colorectal cancer, polyp detection, dense Hough transform, attention maps

<sup>1</sup>Computer engineer, Master's student in Computer Engineering at Universidad Industrial de Santander, Biomedical Imaging, Vision and Learning Laboratory (BIVL2ab). Bucaramanga, Colombia. Email: [lina.ruiz2@saber.uis.edu.co](mailto:lina.ruiz2@saber.uis.edu.co)

<sup>2</sup>Electrical engineer, Master's in Applied Mathematics, PhD student in Computer Science at Universidad Industrial de Santander, Biomedical Imaging, Vision and Learning Laboratory (BIVL2ab). Bucaramanga, Colombia. Email: [luis.guayacan@saber.uis.edu.co](mailto:luis.guayacan@saber.uis.edu.co)

<sup>3</sup>Mechatronic engineer, Master's in Biomedical Engineering, PhD in Systems and Computer Engineering. Professor at Universidad Industrial de Santander, Biomedical Imaging, Vision and Learning Laboratory (BIVL2ab). Bucaramanga, Colombia. Email: [famarcar@saber.uis.edu.co](mailto:famarcar@saber.uis.edu.co)

## Resumen

**Contexto:** Los pólipos son masas protuberantes que crecen a lo largo del tracto intestinal y se consideran los principales precursores del cáncer de colon. En las etapas tempranas, la detección de pólipos representa una probabilidad de supervivencia de hasta el 93 %, mientras que, en otras etapas, esta probabilidad disminuye hasta el 8 %. A pesar de que la colonoscopia es el método más efectivo para detectar pólipos, varios estudios han demostrado una tasa de pérdida de hasta el 26 % en la detección de pólipos. Las herramientas computacionales han surgido como una alternativa para soportar la detección y localización de pólipos, pero varios problemas siguen abiertos debido a la alta variabilidad de los mismos.

**Método:** Este trabajo introduce una estrategia computacional que produce mapas de atención visual con la localización más probable de los pólipos para generar alarmas y apoyar la tarea de detección. Cada fotograma de colonoscopia se descompone en un conjunto de características profundas extraídas de arquitecturas preentrenadas. Dichas características se codifican en una representación densa de Hough para obtener una plantilla del pólipo, que posteriormente se propaga en cada fotograma para obtener los mapas de atención visual. Las regiones máximas son proyectadas a la colonoscopia para dibujar las regiones sospechosas de pólipo.

**Resultados:** La estrategia propuesta fue evaluada en los conjuntos de datos ASU-Mayo Clinic y CVC-Video Clinic, reportando una exactitud de 70 % de detección entre las cuatro regiones más probables, mientras que con diez regiones se tiene un 80 %.

**Conclusiones:** Los mapas de atención obtenidos destacan las regiones más probables con pólipos. El enfoque propuesto puede ser útil para apoyar el análisis de la colonoscopia.

**Palabras clave:** cáncer de colon, detección de pólipos, transformada densa de Hough, mapas de atención

---

## Table of Contents

	Page
<b>Introduction</b>	53
<b>Methodology</b>	55
Nonparametric polyp representation . . . . .	55
Polyp template learning . . . . .	56
Polyp search and detection . . . . .	56
Local polyp representation from deep features . . . . .	56
Attention maps . . . . .	58
Maximum vote and similarity . . . . .	59
Polyp location from Harris corner . . . . .	59
Dataset description . . . . .	59
<b>Results</b>	60
<b>Conclusions</b>	65
<b>Funding</b>	66
<b>Acknowledgments</b>	67
<b>References</b>	67

## INTRODUCTION

Colorectal cancer is the third most aggressive cancer worldwide, reporting more than 1,5 million new cases and more than 800.000 associated deaths in 2018. In more specific studies, a drastic number of colon cancer incidences shows that, in America, a 60 % increase is projected by 2030, with a total of 396.000 new cases per year (Ferlay *et al.*, 2019). Different studies have demonstrated that patient survival probability (SP) depends on early detection, treatment, and follow-up. In particular, if detection occurs during the first stage, the patient has a survival probability (SP) of 93 %. However, in the fourth stage, this SP decreases to 8 % (Pérez, 2012, Basave, 2018). Therefore, an early diagnosis is essential for the effective and successful treatment of the disease.

Colonoscopy is currently considered to be the most effective resource for characterizing and detecting colorectal cancer, especially in the early stages of the disease (Dávila *et al.*, 2006). Colonoscopy allows for the inspection of the intestinal tract and the visualization of abnormal intestinal fold regions in order to evaluate, characterize, and even remove neoplasms. During colonoscopy, the most significant evaluation is polyp detection, which are abnormal protuberances and the main biomarkers of colorectal cancer (Cohan & Varma, 2018). Polyp detection along the intestinal tract is a challenging task that requires exhaustive and expert observations, which mainly take around 20-30 minutes during the clinical routine (Kuperij *et al.*, 2011). Nevertheless, various papers report that 4-12 % of polyps are missed during a typical colonoscopy procedure (Tajbakhsh *et al.*, 2016, Wang *et al.*, 2013). These missing polyps are primarily associated with the physician's experience, the patient's condition during the exam, and the disease stage. Even more critically, recent clinical studies have evidenced that the polyp overlooking rate is up to 25-26 %, a dramatic factor associated mainly with small polyps of around 5-9 mm (Angermann *et al.*, 2016, Bressler *et al.*, 2007, van Rijn *et al.*, 2006). These tiny polyps are present in the early stages of the disease, so identifying them constitutes a significant opportunity to achieve treatment efficacy, a fact related to the higher probability of patient survival (Bernal *et al.*, 2017, van Rijn *et al.*, 2006). In contrast, new evidence suggests that some patients may develop colorectal cancer within 3-5 years after colonoscopy (le Clercq *et al.*, 2014, Rabeneck & Paszat, 2010).

Hence, computational systems to support colonoscopy procedures have emerged as fundamental support tools to detect, segment, classify, and generally characterize polyps (Tajbakhsh *et al.*, 2015, Fan *et al.*, 2020). In polyp modeling, representing such masses is challenging due to their wide variability in shape, color, and texture patterns. Besides, polyps are difficult to detect due to their close similarity to the intestinal tract in neighboring regions, even for gastroenterologists (Pérez, 2012). Additionally, the resolution of colonoscopy cameras, sudden movements during exploration, and high variation from one image to another make automatic polyp recognition a challenging task.

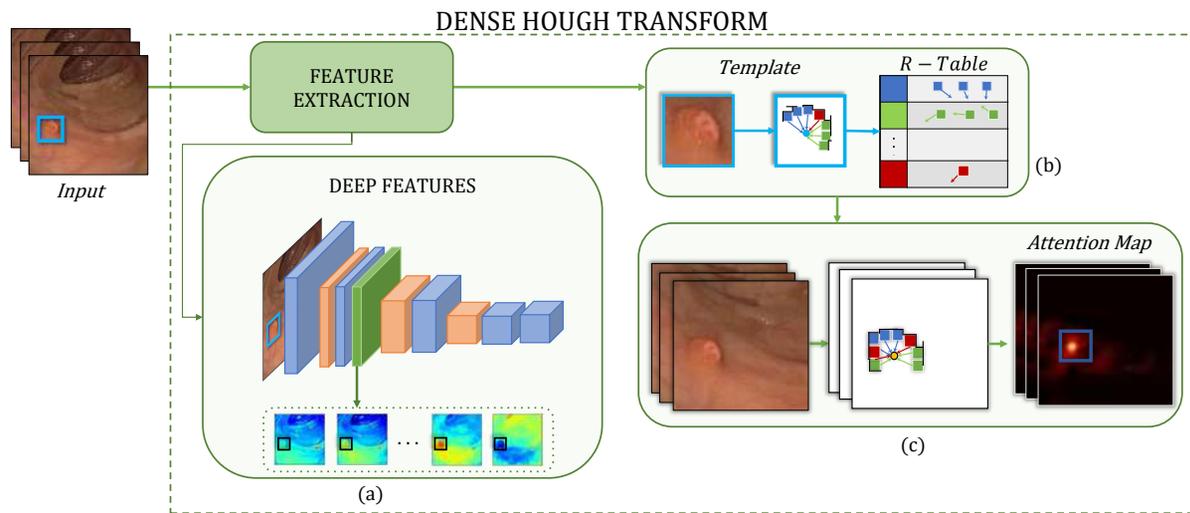
Regarding semi-automated polyp detection, one classification of the models is based on polyp features such as shape, texture, and color (Bernal *et al.*, 2017). For instance, Tarik *et al.* (2016) propose

a model to represent the shape of polyps using various methods such as the Hough transform. In this case, it is assumed that polyps are similar to cycloids. [Figueiredo et al. \(2019\)](#) use local binary patterns (LBP) to represent polyp morphology. These methods, however, generate a high number of false-positives due to the limitations in modeling polyp variability and their close similarity with respect to the surrounding regions, changes in lighting, and sudden camera movements. Some approaches include polyp geometry and color description, but they remain limited to dealing with shape ([Tajbakhsh et al., 2016](#)). Recent works have incorporated deep learning representation in order to deal with polyp characterization ([Du et al., 2019](#)). For instance, the Faster R-CNN architecture, which includes two architectures to characterize and localize objects, has been adapted to polyp characterization ([Mo et al., 2018](#)). In addition, [Zheng et al. \(2019\)](#) adapted the UNet with optical flow in order to obtain temporal information and achieve adequate polyp detections. [Zhang et al. \(2018\)](#) implemented the RYCO net, an extension of the YOLO (*You Only Look Once*), which adapted a discriminatory correlation filter in order to obtain temporal information and refine detection. These approaches have proven to be effective for polyp variation modeling based on non-linear and convolutional visual representation. However, these architectures require large datasets to properly model high polyp variability, which constitutes a major limitation in the clinical domain. Additional works have taken advantage of transfer learning schemes to tune deep networks to specific polyp characterization, starting from natural image domain representation. Nevertheless, in most cases, these learning schemes are overtrained on datasets, losing generality to deal with variability in clinical scenarios. Hence, the problem regarding the automatic quantification, identification, and characterization of malignant polyp masses in real-time video colonoscopies with high polyp variations remains open.

This work introduces a computational strategy that generates attention maps with the most probable polyp locations in order to support detection tasks during colonoscopy. To this effect, colonoscopy frames are encoded using deep features obtained from the first layer of a convolutional neural network (CNN). Each deep map encodes polyp-specific features, thus allowing for a nonlinear visual representation. A Dense Hough Transform (DHT) is built from deep features initialized from first frame delineation. This encoding allows a non-parametric shape representation of the polyps. For each frame, visual attention maps with the most probable polyp locations are generated and obtained by recursively searching the DHT representation that encodes data on polyp location. The proposed method incorporates two methods to locate potential regions with polyp masses in the attention maps: cosine distance and corner detectors. Finally, the obtained region is back-projected to the spatial frame corresponding to the most probable location. This paper is structured as follows: the *Methodology* section introduces the proposed strategy for polyp detection; *Results* demonstrates the effectiveness of the proposed approach; and *Conclusions* includes the discussion and potential future works.

## METHODOLOGY

This paper presents a novel approach that takes a polyp template in the first frame and generates attention maps in successive sequence frames in order to support polyp localization and characterization during colonoscopy. The polyp template representation is obtained using deep convolutional features, and it is encoded with cumulative feature tables. Then, a voting process of dense features over each pixel location is carried out in order to determine the most probable location of abnormal masses. Figure 1 shows the proposed method.



**Figure 1.** Pipeline of the proposed approach. From an input video, the DHT learns the extracted features. This method is divided into three stages: a) extracting the deep features, b) learning the polyp template and building the R-Table, and c) generating frame visual attention maps containing the polyp location probability

**Source:** Authors.

### Nonparametric polyp representation

Polyps are observed as nonparametric shapes with high appearance and geometric intra- and inter-patient variability. Local modeling of these masses is demanding while dealing with such variations. In this work, DHT is a multidimensional feature voting scheme that operates at the pixel level and allows generating flexible and independent dense representations of geometric or appearance structures (Manzanera, 2012). Specifically, the polyp region is encoded into a template and mapped through a video sequence, and the spatial regions with the highest probability of polyp matching are highlighted, *i.e.*, the attention maps that summarize the responses in Hough's multidimensional space. This process consists of two phases: polyp template learning and searching for the polyp template in subsequent frames for detection. This can be described as follows:

### *Polyp template learning*

A polyp template is learned in the first colonoscopy frame in order to capture a dense and local visual representation. First, for any colonoscopy sequence, a dense coding is obtained which represents each pixel  $x$  at a particular location  $(m, k)^T$  along the axis  $M$  and  $K$  by a feature vector  $x \in \mathbb{R}$ . Each frame  $I_t \in \mathbb{R}^{(w \times h \times N)}$  is therefore a multidimensional matrix with  $N$  features and a size of  $(w \times h)$ , where  $t$  is the frame number.

A particular template is a submatrix image manually selected to bound a polyp lesion example in the first frame. This subregion  $T_r$ , with a size  $(w_T \times h_T)$  that varies according to the polyp dimensions, is coded to represent visual polyp complexity. A Hough coding representation is herein obtained by computing the distances of each pixel feature with respect to the template center, which is defined as  $(\frac{w_T}{2}, \frac{h_T}{2})$ . Specifically, for a particular feature pixel  $x_i$  in position  $(m, k, i)$ , the following distance is computed:  $(\delta_M = [\frac{w_T}{2} - m], \delta_K = [\frac{h_T}{2} - k])$ . Each of the computed distances is weighted ( $\omega$ ) according to feature importance, storing the tuple  $(\delta_M, \delta_K, \omega)$ . This process is carried out when the gradient magnitude  $\|\nabla I_t\| = \sqrt{I_{tM}^2 + I_{tK}^2}$  is greater than zero, thus ensuring the computation of edges with high probability of belonging to polyp tissue. According to the feature domain, these distances are indexed by defining feature bins  $(\phi(x_i))$ , forming a Representation Table  $RT(\phi(x))$ , which allows for an effective polyp description. Figure 1b illustrates this process, and Figure 2 depicts a function defined as R-Table().

### *Polyp search and detection*

In each frame, colonoscopy attention maps  $\Gamma_t$  are obtained by projecting the  $RT(\phi(x))$  learned from the template  $T_r$  for the rest of the colonoscopy sequence. These maps  $\Gamma_t$  are matrices with frame dimensions  $(w \times h)$  that store the most probable polyp locations. To assign the polyp probability to each pixel  $x$  (with location  $(m, k)$ ) each feature value  $x_i$  points to a  $\phi(x)$  bin in the corresponding  $RT(\phi(x))$ . The selected bin  $\phi(x)$  stores a set of learned distances  $(\delta_M + m, \delta_K + k)$ , which are projected from pixel location  $(m, k)$ . Each of the projected distances votes with a weighted importance ( $\omega$ ) on the pixel with position  $(\delta_M + m, \delta_K + k)$ . In such a case, if most pixels vote for the same position, this corresponding pixel will have the highest importance, *i.e.*, it will be most likely that this location corresponds to the center of a polyp lesion. The process is carried out in all feature spaces and in each frame of the colonoscopy. Figure 1c illustrates the procedure for obtaining colonoscopy attention maps, and Figure 2 depicts a function defined as Attention-Maps().

## **Local polyp representation from deep features**

Polyp modeling is a challenging task that must face a highly variable representation in colonoscopies. Additionally, specular highlights, sudden movements, and other artifacts increase the complexity of recovering polyps from appearance observations. Deep learning representations have emer-

---

**Algorithm 1** Algorithm to create R-Table and recover  $\Gamma_t$  matrix

---

```

1: procedure R-TABLE()
2:    $\mathbf{x} \in \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_N\}$ 
3:   for  $\mathbf{x} \in T_r$  do
4:      $\nabla I_t \leftarrow (I_{t_M}(\mathbf{x}_i), I_{t_K}(\mathbf{x}_i))$ 
5:     if  $\|\nabla I_t\| > 0$  then
6:        $RT(\phi(x)) := RT(\phi(x)) \cup (\delta_M, \delta_K, \omega)$ 
7:     end if
8:   end for
9: end procedure
10:
11: procedure GAMMA()
12:    $\mathbf{x} \in \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_N\}$ 
13:   for  $\mathbf{x} \in I$  do
14:      $\nabla I_t \leftarrow (I_{t_M}(\mathbf{x}_i), I_{t_K}(\mathbf{x}_i))$ 
15:     if  $\|\nabla I_t\| > 0$  then
16:       compute( $\phi(x)$ )
17:       for all  $(\delta_M, \delta_K, \omega) \in RT(\phi(x))$  do
18:          $\Gamma_t(\delta_M + m, \delta_K + k) \leftarrow \Gamma_t(\delta_M + m, \delta_K + k) + \omega$ 
19:       end for
20:     end if
21:   end for
22: end procedure

```

---

**Figure 2.** Algorithm of proposed approach

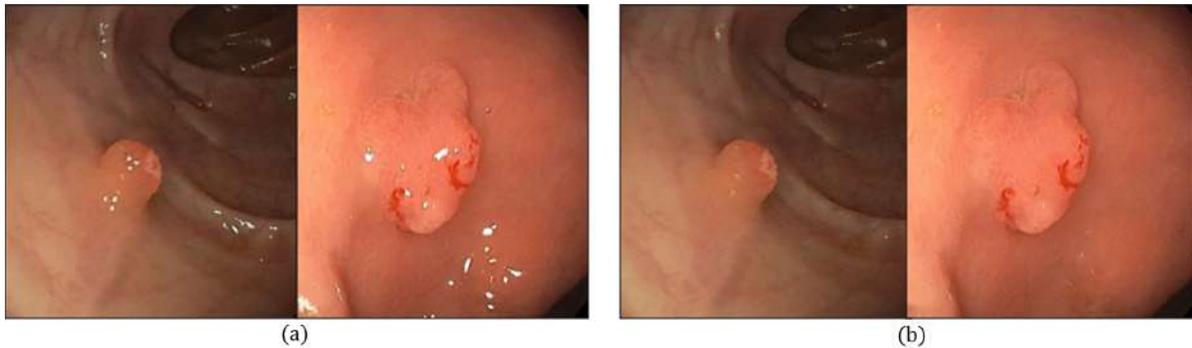
**Source:** Authors.

ged in the literature to model complex visual entities but require huge amounts of labeled training samples in order to achieve an effective solution. There are several works that deal with polyp modeling from such deep nets (Alagappan *et al.*, 2018). However, there are few training sets available for polyp modeling, and their annotation is a very demanding process.

In this work, each colonoscopy frame  $I_t$  is represented by using deep features from pretrained convolutional neural networks (CNN), which ensures the general and appropriate adjustment of visual representations. Each frame is characterized by activation blocks learned in low-level representations that consider nonlinear partitions of space. Convolutional decomposition learned with nonlinear filters is expected to provide a better characterization of polyps and their observational variability. The features for each pixel  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  represent the response of  $N$  convolutional filters in a primary layer.

To compute these deep features  $x$  in each colonoscopy frame  $I_t$ , first, a preprocessing scheme to remove specular highlights is carried out. These appear as the brightest regions along the intestinal

tract. This process starts by transforming RGB into HSV color representation and removing high brightness and a few saturations, together with an inpainting strategy (Bertalmio *et al.*, 2001). Figure 3 depicts an example of this processing.



**Figure 3.** Preprocessing. a) Original frames, b) frames without specular reflections.

**Source:** Authors.

Once each frame is filtered out, the convolutional deep features are obtained by mapping each frame  $I_t$  into the first layers of known and pretrained deep convolutional frameworks. This first layer decomposes visual information on low-level characteristics by progressively computing linear transformations, followed by contractive nonlinearities, projecting information on a set of  $N$  learned filters  $\psi^j = \{\psi_1^j, \psi_2^j, \dots, \psi_N^j\}$  in a given layer  $j$ . Hence, each frame  $I$  is filtered by a particular  $\psi^j$  set, thus obtaining a convolutional feature representation:  $x = \sum_{n=1 \dots N} I \cdot \psi_n^j$ , with  $x_i$  as the characteristic resulting from convolution with respect to the filter  $\psi_i^j$ . In this case, the intensity value of each activation  $\phi(x)$  represents the index that is stored into the  $RT(\phi(x))$ . Therefore, there is no predetermined range of variation for all instances. These convolutional features preserve the spatial structure and can represent local and regional textural patterns, which can be effective in differentiating between polyps and folds in the intestinal tract. This work evaluated three state-of-the-art nets: ResNet, Inception-ResNet-V2, and DenseNet.

### Attention maps

Colonoscopy attention maps  $\Gamma_t$  in each frame  $I_t$  represent the probability of each pixel location to be the centroid of a particular polyp region. These attention maps are implemented as a representation table  $RT(\phi(x))$  of the learned polyp  $T_r$  into deep feature space. Figure 4 shows examples of the resulting attention maps  $\Gamma_t$  for different frames. Feature representation extracted through the deep learning helps these attention maps to effectively recover suspicious regions to which gastroenterologists should pay attention in order to identify abnormal masses. In such a sense, to select these regions, two different maximum rules are defined:

### *Maximum vote and similarity*

A first nonlinear maximum operator is defined over the  $\Gamma_t$  attention map in order to select the most probable polyp regions. Over the maximum vote pixel ( $\max_{\Gamma_t}$ ), a region with a template dimension is overlapped. The selected region represents the most probable region in attention map  $\Gamma_t$ . This process is repeated several times, and, after several iterations, a set of  $\max_{\Gamma_t}$  points are selected.

Hence, an additional rule is introduced to reinforce the selection of maximum pixel location and avoid false positive regions related to folds in the intestinal tract. In this case, the appearance similarity is measured by calculating the histogram  $h_{T_r}$  of the learning template  $T_r$  with region histogram  $h_i$  that bounds the maximum region. This comparison is achieved by computing the cosine metric between the histograms of regions as  $\max_{T_r(h_i)} \cos(h_{T_r}, h_i)$  which allows weighting and rearranging regions. The selected pixels are then back-projected to the original frame in order to mark probable polyp regions.

### *Polyp location from Harris corner*

A second strategy considered herein was to select a vote pixel that exposes a local maximum, with uniform and dominant relevant edges around the point, *i.e.*, a corner in the attention map  $\Gamma_t(m, k)$ . Following this hypothesis, a Harris corner detector is implemented to analyze the local importance distribution of each point along the spatial axis. Then, the region that bounds each point is represented by a structural tensor coded with a Hessian matrix. This matrix encodes the information of the edges along the spatial axis, and the corresponding eigenvalue ( $\lambda_1, \lambda_2$ ) decomposition allows determining the importance of the voting pixel:  $\lambda_1\lambda_2 - K(\lambda_1 + \lambda_2)^2$ , with  $K$  as a constant value. In this case, only if both eigenvalues are greater, the point is considered to be a relevant polyp location.

## **Dataset description**

The evaluation of the proposed approach was carried out via public colonoscopies published within the framework of the Endoscopic Vision Challenge (EndoVis). Two different datasets were considered, which are described below:

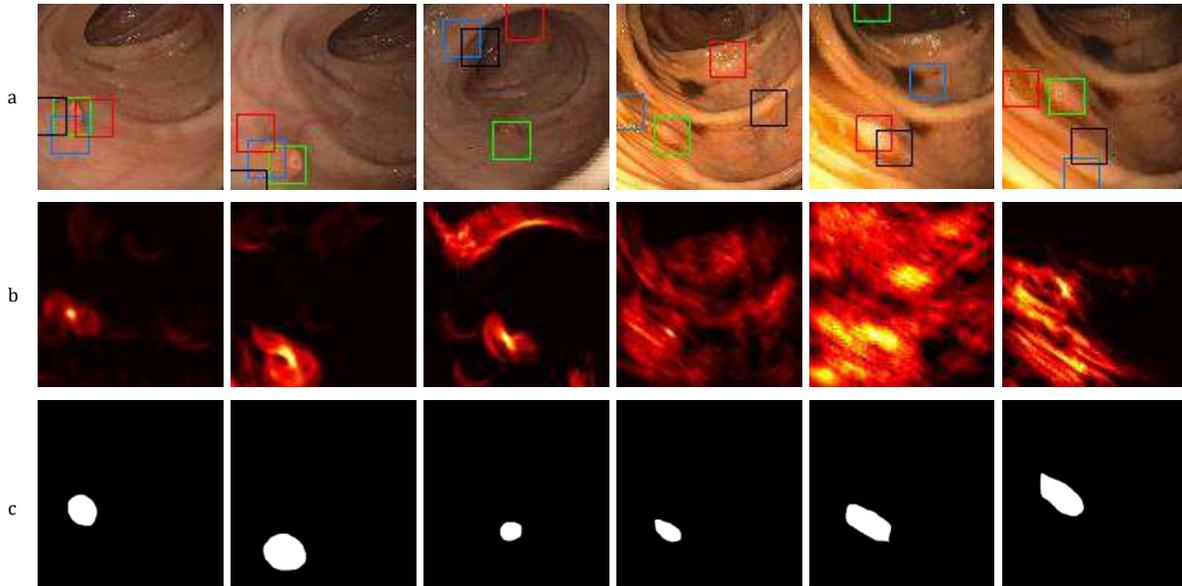
- The ASU-Mayo Clinic Colonoscopy Video Database ([Tajbakhsh et al., 2016](#)) has 20 short colonoscopy videos collected at the Department of Gastroenterology of Mayo Clinic, Arizona. This database reports only one polyp along the sequence. These videos have a high variation of luminance and sudden movements, which are common in colonoscopies. The training set has 3.799 frames, while the test set has 4.313 frames with polyps. These polyps were annotated by a gastroenterology expert and made available for training and test sets.
- The CVC-Video Clinic DB database ([Bernal et al., 2018](#), [Angermann et al., 2017](#)) has 18 short colonoscopy video sequences with more than 12.613 frames. These colonoscopies were captu-

red during routine explorations at the Hospital Clinic of Barcelona, Spain. Only one polyp was reported in the videos, which was identified, localized, and segmented by clinic experts. Only videos from the training set that have their corresponding annotation and localization were considered because the main objective of this work is to evaluate the ability of the proposed approach to obtain the attention maps. This training set has around 10.000 frames with a polyp.

## RESULTS

This proposed approach is dedicated to generating attention maps showing the location with the most probable abnormal masses during a colonoscopy procedure, with the purpose of detecting polyps. These attention maps are represented by a  $\Gamma_t$  matrix resulting from the cumulative voting process, projecting a polyp representation table over each frame. Each position in  $\Gamma_t$  represents the probable center of a polyp mass in the intestinal tract. Figure 4 describes typical colonoscopy frames (first row) with their respective attention polyp map (second row) and ground truth (third row). As observed in this Figure, colonoscopy images exhibit significant changes regarding appearance and illumination. Furthermore, the polyps report high variability with regard to shape and appearance, with close similarity to neighborhood intestinal folds. In the attention maps, yellow regions represent locations with a higher probability for the correspondence for polyps. Despite these challenges, the attention map focuses on abnormal masses. As observed, for frames without strong camera movements (first three columns), the computed attention map focuses on polyps, with some probabilities distributed to folds that share appearance and shape features. In the other three columns, strong illumination changes complicate the task of polyp localization, which also happens if the attention maps affect the distribution of localization energy. The  $\Gamma_t$  attention maps were processed to search for regions that maximize the probability and generate alarms of probable polyps, thus supporting the task of localization during colonoscopy. As observed in Figure 4, the maximum regions found in the attention maps are back-projected to colonoscopy frames (color boxes). In descending order of importance, four regions are selected: the green box, the red box, the blue box, and the black box. It is important to note that the extracted regions belong to the polyps to a significant extent, even in attention maps showing noisy voting. In all cases, the polyp is located at one of the detected regions.

A first experiment was designed in order to evaluate the performance of the proposed approach regarding the most probable localization of polyps from the attention maps  $\Gamma_t$  in each colonoscopy frame, where  $\omega = 1$ , and  $\phi(x)$  is the intensity value of each pixel in each of the extracted features. The most probable location was back-projected into the colonoscopy frame, following the maximum vote, similarity, and polyp location from corner Harris. An overlap measure was implemented to find correspondence with respect to a ground truth delineated by a gastroenterologist. For validation, if the location of the maximum back-projected point corresponds to any location inside the ground truth, a true positive detection is considered. Figure 5 summarizes the results obtained for each considered sequence in the CVC and ASU-Mayo datasets with the CNN ResNet50. This architecture achieved

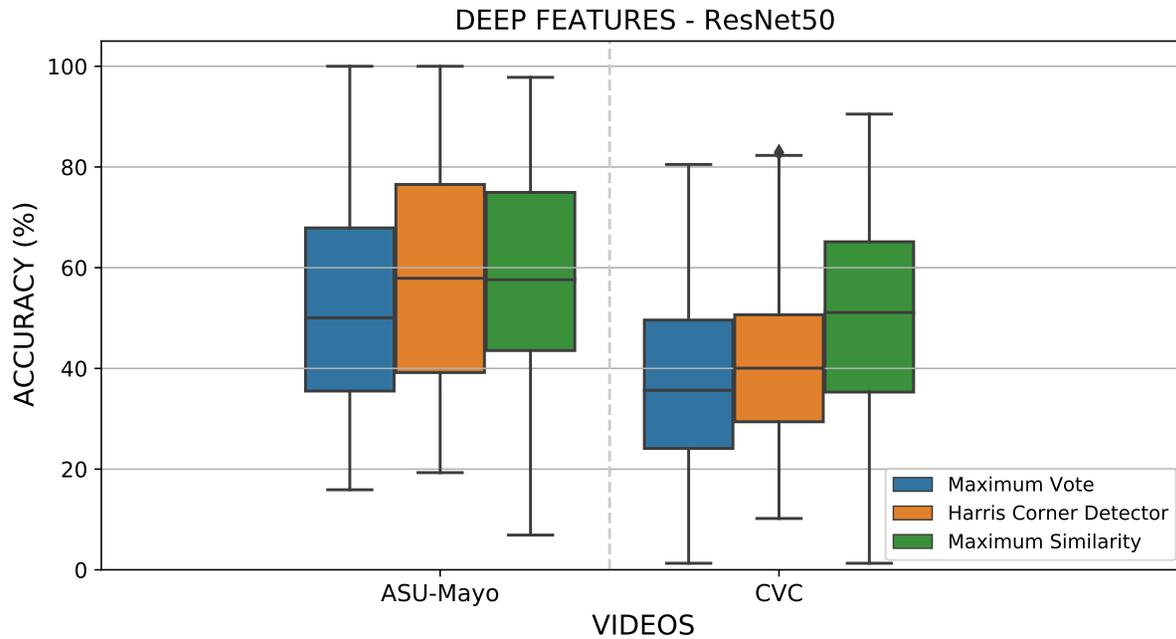


**Figure 4.** Proposed polyp representation. a) Polyp detection using four maxima in a video sequence, b) the corresponding  $\Gamma_t$  voting map, (c) the corresponding ground truth.

**Source:** Authors.

the best polyp representation in each of its activations. These plots illustrate the results for each sequence under different maximum strategies. As observed, polyp estimation is a challenging task; polyps may be captured in the attention map  $\Gamma_t$  but not necessarily as the most probable value. The Harris location rule achieved the best results, with an incidence average between 58 and 42 % for the ASU-Mayo and CVC datasets, respectively.

The same experiment was performed on other convolutional architectures, such as Inception-ResNet-V2 and DenseNet. The first one achieved average results of 49 % for the ASU-Mayo dataset and 40 % for CVC. On the other hand, the DenseNet201 architecture achieved results of 56 % for ASU-Mayo and 42 % for CVC with the Harris location rule. These results are lower than those obtained by ResNet50. Thus, residual activations achieved a better frame description than other architectures, especially where objects share close characteristics with the background. To compare the robustness of deep characterization, in this approach, RTables were also built from multiscale geometric features (MGF), defined as orientation gradients ( $\alpha$ ), curvature ( $\kappa$ ), and color channel intensity ( $O_1$ ) for each pixel  $x$ . In this case,  $\phi(x)$  in the angle ( $\alpha$ ) is bounded between  $[-90, 90]$ , the curvature ( $\kappa$ ) is between  $[-1, 1]$ , and the color channel ( $O_1$ ) is the intensity value of each pixel. The cumulative weight  $\omega$  is defined from the norm of the gradient  $\|\nabla I_t\|$  for the angle ( $\alpha$ ). The Frobenius norm of the Hessian matrix is defined as  $\|H_{I_t}\|_F = \sqrt{I_{tMM}^2 + 2I_{tMK}^2 + I_{tKK}^2}$  for the curvature ( $\kappa$ ) and set at 1 for the color channel ( $O_1$ ). These parameters were calculated for each pixel at different scales obtained by convolving images with a set of Gaussian filters  $\sigma_l$ . In this case, the best configuration was three scales

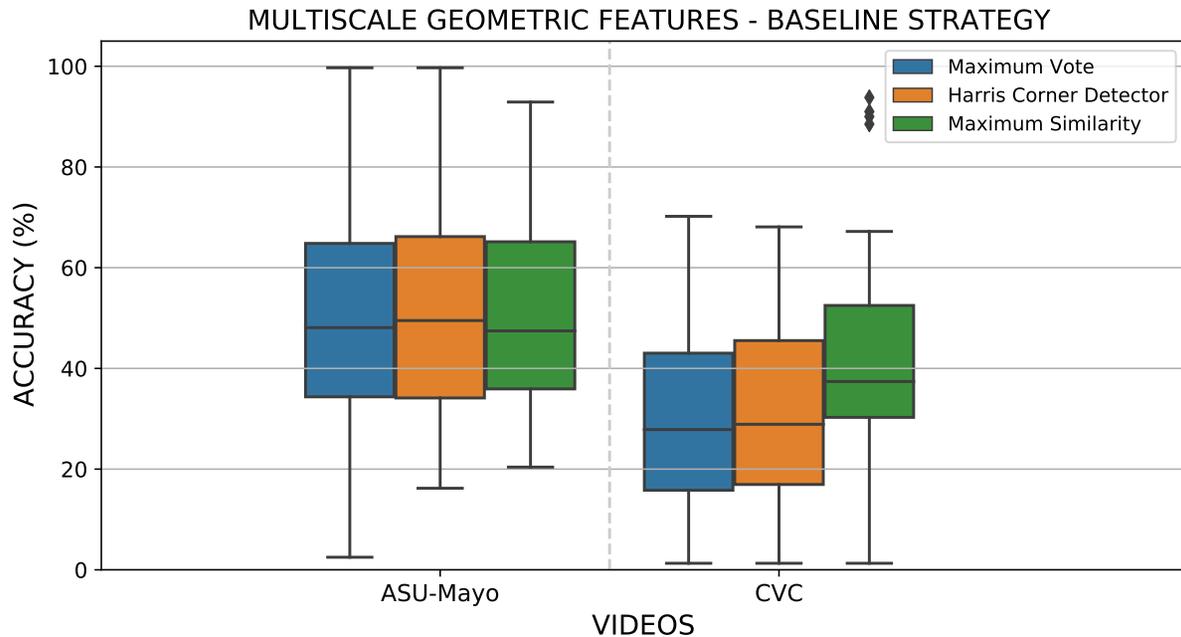


**Figure 5.** Results obtained from evaluating local maximum search operators to select the most probable polyp regions with deep feature extraction and the ResNet50 architecture.

**Source:** Authors.

$\sigma_l = \{3, 5, 7\}$ . Only MGF with a gradient norm greater than zero were considered in the representation. Figure 6 reports the results obtained via MGF for the recovery of the most probable polyp location. As expected, the sparse representation focus on salient points around polyps results in less representative areas for localization and detection during colonoscopy. MGF representation obtained 5 and 13 % less than deep feature representation for the ASU-Mayo and CVC datasets, respectively. In this experiment, the Harris corner detector was again the best strategy to extract the most accurate regions from each voting map, reporting approximately 53 and 29 % location scores for the ASU-Mayo and CVC datasets. In MGF, each boxplot showed a small variation attributed to low dimensional representation, with only three features, while deep features learned sixty-four activations. Thereupon, having a larger amount of data can lead to higher variance in detection.

A second experiment was designated to select a reduced number of relevant points and then back-projecting them to obtain  $\Theta$  regions into the colonoscopy frame. An iterative process was conducted to sort the regions that had maximum votes while avoiding local maxima. During the voting map, there was interest in false positive reduction at the moment of verifying that the polyp can be found among an estimated number of maximum regions. This experiment aimed to emulate the proposed approach as a polyp alert system that supports the identification and localization task during colonoscopies. The configuration of the selected maxima was  $\Theta = \{2, 4, 6, 8, 10\}$ . Figure 7 summar-



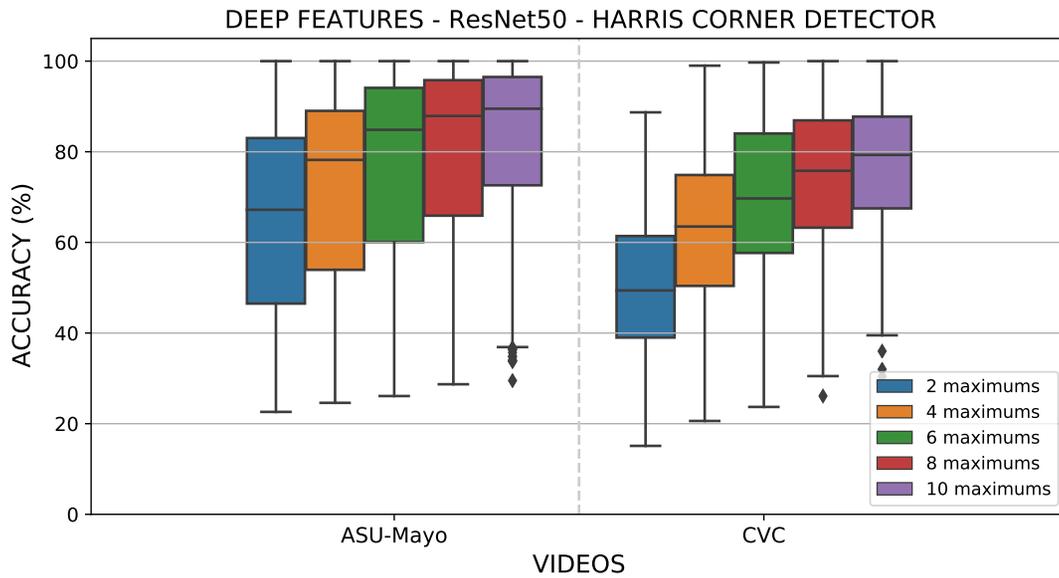
**Figure 6.** Results obtained from evaluating local maximum search operators to select the most probable polyp regions with the MGF extraction baseline strategy.

**Source:** Authors.

zes the results obtained using deep features in the CVC and ASU-Mayo datasets. As expected, the back-projection of a higher number of regions allows finding a polyp in the sequence correctly, the most relevant task during colonoscopy (with an average accuracy higher than 70%). In fact, for some videos, a perfect localization of the polyp was achieved in one of the selected regions of the salient map  $\Gamma_t$ . Other regions were misdetected, but, in this approach, these maps are designed to focus the gastroenterologists' attention for them to describe or find some abnormal patterns in folds along the intestinal tract. On average, a total of four regions seems to be sufficient to bound a polyp from attention maps, with some differences for videos that report strong camera movements and artifacts during colonoscopy.

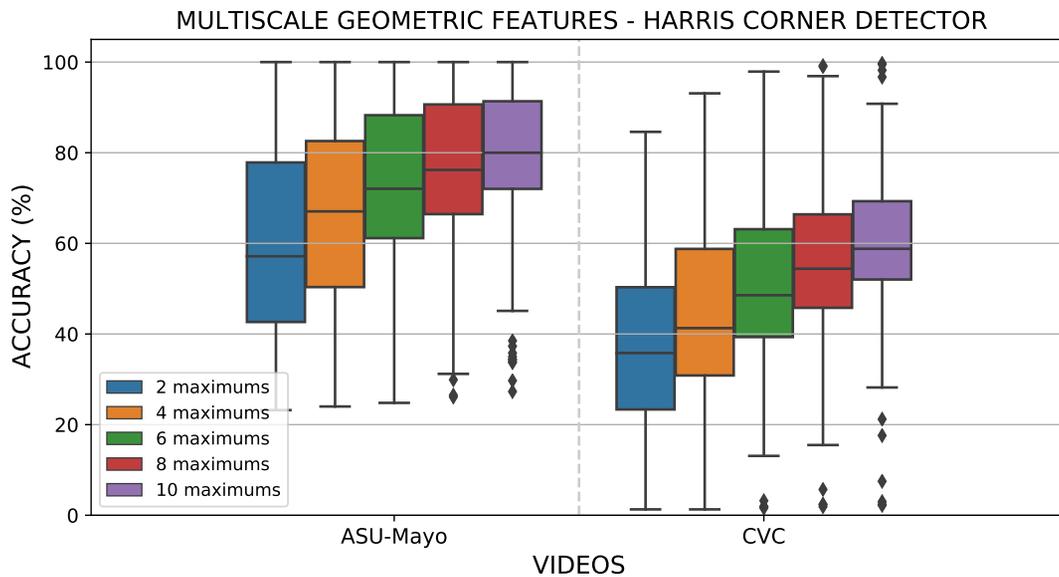
In the same line, using MGF to represent polyps, the back-projection of several salient points from attention maps  $\Gamma_t$  to regions in colonoscopy sequences was obtained. Figure 8 shows the obtained results for the ASU-Mayo and CVC datasets. As expected, the estimation of most regions increases the probability to box polyp masses, thus showing the robust capability of attention maps to enhance points with features such as learned polyps.

Nevertheless, this representation has a lower accuracy than deep features, and many of the videos may require major regions to properly detect abnormal masses. The main limitations appear in the CVC dataset, with an average accuracy of 55% using the ten regions over colonoscopies.



**Figure 7.** Results evaluating maxima  $\Theta$  in each attention map ( $\Gamma_t$ ) with the deep feature extraction strategy, the ResNet50 convolutional architecture, and the Harris corner detector.

Source: Authors.



**Figure 8.** Results obtained from evaluating different maxima  $\Theta$  in each attention map ( $\Gamma_t$ ) with the MGF extraction strategy and the Harris corner detector.

Source: Authors.

The main contribution of the proposed approach lies in returning an attention map that explains the features associated with suspicious regions in clinical routine. The implementation of this strategy may suggest potential regions to experts and reduce the rate of polyp overlooking.

Some approaches in the state of the art deal with the polyp detection challenge. For instance, [Shin & Balasingham \(2017\)](#) proposed a hand-crafted characterization that, together with a convolutional representation, allows deciding whether there is a polyp in a particular frame. This approach achieves an average accuracy of 86 % with respect to an evaluation conducted in the ASU- Mayo dataset. Moreover, [Akbari et al., 2018](#) proposed a convolutional representation with a specific kernel-based descriptor, reporting an accuracy of around 90,2% in the ASU-Mayo dataset. With the same dataset, the proposed approach reports an accuracy of 80 % regarding polyp detection. Despite the fact that the proposed approach achieves a lower accuracy in such dataset, baseline approaches may be sensitive to variations in other colonoscopy sequences and datasets. Besides, the main interest of the proposed approach is to recover attention maps to support experts, aiming to reduce false positives caused by specular reflections or folds of the intestinal tract with polyp-like patterns.

## CONCLUSIONS

According to the obtained results, it can be hypothesized that the recovered polyp attention maps support the detection and characterization of abnormal masses during colonoscopies, with the potential to eventually support the clinical procedure. From the attention maps, it is also possible to compute the maximum location and back-projected regions of the original colonoscopy in order to enhance the visualization of abnormal regions. Although there are no polyps in many of these regions, this routine could mitigate the reported polyp misdetection, which is estimated to be around 4-12 % ([Tajbakhsh et al., 2016](#), [Wang et al., 2013](#)).

In the literature, most computational approaches have focused on detecting and identifying polyps during colonoscopies. Regarding detection, several works have independently modeled some primary features such as color, edges, and texture ([Bernal et al., 2017](#)). In addition, [Figueiredo et al. \(2019\)](#) proposed a threshold-based strategy to code polyp features such as geometry and color, which allows classifying frame regions using a standard support vector machine. These approaches are limited to representing the complexity and variability of polyps in a routine colonoscopy. In contrast, the proposed method achieves a robust representation using a bank of filters learned from a pretrained image representation. The main advantage of these filters is the band separation from nonlinear functions that can potentially better separate the primitive patterns of polyps. Recently, deep learning approaches have been used in polyp detection tasks. For example, [Zheng et al. \(2019\)](#) proposed a UNET architecture that, together with optical flow, shows promising results over a set of academic datasets. These representations learn a robust polyp representation but require an increased number of colonoscopy sequences in order to deal with new polyp observations, which are typical in clinical routine. Their approach reports a precision of 74 %.

Urban *et al.* (2018) use a transfer learning strategy to take advantage of the knowledge of natural images and tune final layers to learn polyp features. Similarly, the strategy proposed by Shin *et al.* (2018) was adjusted to a Faster R-CNN with an Inception-ResNet backbone net in order to detect common polyp regions, reporting a precision of 91 % and a recall of 71 %. Our study takes advantage of deep representations, albeit using some previously trained general layers, which are sufficient to represent image variability. From such a hypothesis, the proposed approach characterizes polyps according to each sequence, which makes it more flexible to implement in clinical scenarios. The result of the proposed approach shows a remarkable detection of polyps enclosed in more salient regions. For instance, by using ten regions, the approach achieves an accuracy of 79 %. Moreover, the attention maps can focus on other regions with similar polyp patterns which could be of interest for gastroenterologists.

In the literature, to the best of our knowledge, there are no related works on attention maps to support polyp detection. Therefore, the proposed approach may open the possibility to introduce an alternative tool to observe saliencies into colonoscopy procedures, which allows gastroenterologists provide better diagnosis. In the literature, some approaches (Shin & Balasingham (2017)), with an accuracy of 86 %; and (Akbari *et al.*, 2018), with 90 % have been approximated for polyp detection, albeit including convolutional and hand-crafted features. These approaches achieve notable detection rates in the ASU-Mayo dataset, but the use of a dense appearance representation may be sensitive to generalization in other colonoscopy sequences. On the contrary, the most relevant contribution of the proposed approach is that attention maps may be useful to better cover suspicious masses associated with early polyps.

During the evaluation, several limitations of the proposed approach were reported with regard to dealing with the complex structure of the intestinal tract, sudden camera movements, and different visual irregularities corresponding to intestinal folds or artifacts such as specular reflection. Such observational alterations can contribute to enhancing false positive regions in attention maps. Future approaches could include the analysis and learning of specific polyp characteristics to achieve more precise maps. This application can be employed as an educational tool to train gastroenterologists (Hidalgo-Suárez *et al.*, 2021), as well as to optimize processes during colonoscopies. In this sense, other knowledge fields have demonstrated the contribution of such intelligent networks to optimizing processes (Hernández *et al.*, 2021) or using alternatives such as genetic algorithms (Giral-Ramírez *et al.*, 2017). In addition, fully automatic polyp detection can be evaluated for test colonoscopies by learning a polyp atlas.

## FUNDING

Financial support was provided by the Research and Extension Vice-Principalship of Universidad Industrial de Santander.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge the Research and Extension Vice-Principalship of Universidad Industrial de Santander for supporting this research, registered under project *Predicción de patologías cardiacas utilizando representaciones de aprendizaje profundo en secuencias de resonancia magnética cardiaca (CMR)* [Predicting heart pathologies using deep learning representations in cardiac magnetic resonance (CMR) sequences], with SIVIE code 2703.

## REFERENCES

- [Akbari *et al.*, 2018] Akbari, M., Mohrekesh, M., Rafiei, S., Reza Soroushmehr, S., Karimi, N., Samavi, S., & Najarian, K. (2018). *Classification of informative frames in colonoscopy videos using convolutional neural networks with binarized weights* [Conference presentation]. 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Honolulu, HI, USA. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8512226> ↑Ver página 65, 66
- [Alagappan *et al.*, 2018] Alagappan, M., Brown, J. R., Mori, Y., & Berzin, T. M. (2018). Artificial intelligence in gastrointestinal endoscopy: The future is almost here. *World Journal of Gastrointestinal Endoscopy*, 10(10), 239-249. <https://doi.org/10.4253/wjge.v10.i10.239> ↑Ver página 57
- [Angermann *et al.*, 2016] Angermann, Q., Histace, A., & Romain, O. (2016). Active learning for real time detection of polyps in videocolonoscopy. *Procedia Computer Science*, 90, 182-187. ↑Ver página 53
- [Angermann *et al.*, 2017] Angermann, Q., Bernal, J., Sánchez-Montes, C., Hammami, M., Fernández-Esparrach, G., Dray, X., Romain, O., Sánchez, F. J., & Histace, A. (2017). Towards real-time polyp detection in colonoscopy videos: Adapting still frame-based methodologies for video sequences analysis. In M. J. Cardoso, T. Arbel, X. Luo, S. Wesarg, T. Reichl, M. Á. González-Ballester, J. McLeod, K. Drechsler, T. Peters, M. Erdt, K. Mori, M. G. Linguraru, A. Uhl, C. O. Laura, & R. Shekhar (Eds.), *Computer Assisted and Robotic Endoscopy and Clinical Image-Based Procedures* (pp. 29-41). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67543-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67543-5_3) ↑Ver página 59
- [Basave, 2018] Basave, H. (2018). *Cáncer de colon y recto*. McGraw-Hill Education. ↑Ver página 53
- [Bernal *et al.*, 2017] Bernal, J., Tajkbaksh, N., Sánchez, F., Matuszewski, B., Chen, H., Yu, L., Angermann, Q., Romain, O., Rustad, B., Balasingham, I., Pogorelov, K., Choi, S., Debar, Q., Maier-Hein, L., Speidel, S., Stoyanov, D., Brandao, P., Córdova, H., Sánchez-Montes, C. . . . Histace, A. (2017). Comparative Validation of Polyp Detection Methods in Video Colonoscopy: Results From the MICCAI 2015 Endoscopic Vision Challenge. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 36(6), 1231-1249. <https://doi.org/10.1109/TMI.2017.2664042> ↑Ver página 53, 65

- [Bernal *et al.*, 2018] Bernal, J., Histace, A., Masana, M., Angermann, Q., Sánchez-Montes, C., Rodríguez, C., Hammami, M., García-Rodríguez, A., Córdova, H., Romain, H., Fernández-Esparrach, G., Dray, X., & Sánchez, J. (2018). *Polyp detection benchmark in colonoscopy videos using gtcreator: A novel fully configurable tool for easy and fast annotation of image databases* [Conference presentation]. 32nd CARS Conference, Berlin, Germany. ↑Ver página 59
- [Bertalmio *et al.*, 2001] Bertalmio, M., Bertozzi, A., & Sapiro, G. (2001, December 8-14). *Navier-stokes, fluid dynamics, and image and video inpainting* [Conference presentation]. 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Kauai, HI, USA. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2001.990497> ↑Ver página 58
- [Bressler *et al.*, 2007] Bressler, B., Paszat, L., Chen, Z., Rothwell, D., Vinden, C., & Rabeneck, L. (2007). Rates of new or missed colorectal cancers after colonoscopy and their risk factors: A population-based analysis. *Gastroenterology*, 132(1), 96-102. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2006.10.027> ↑Ver página 53
- [Cohan & Varma, 2018] Cohan, J., & Varma, M. (2018). *Diagnóstico y tratamiento quirúrgicos* (14th ed.). McGraw-Hill Education. ↑Ver página 53
- [Dávila *et al.*, 2006] Dávila, R., Rajan, E., & Baron, T. (2006). ASGE guideline: Colorectal cancer screening and surveillance. *Gastrointestinal Endoscopy*, 63(4), 546-557. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2006.02.002> ↑Ver página 53
- [Du *et al.*, 2019] Du, W., Rao, N., Liu, D., Jiang, H., Luo, C., Li, Z., Gan, T., & Zeng, B. (2019). Review on the applications of deep learning in the analysis of gastrointestinal endoscopy images. *IEEE Access*, 7, 142053-142069. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2944676> ↑Ver página 54
- [Fan *et al.*, 2020] Fan, D., Ji, G., Zhou, T., Chen, G., Fu, H., Shen, J., & Shao, L. (2020). Pranut: Parallel reverse attention network for polyp segmentation. In A. L. Martel, P. Abolmaesumi, D. Stoyanov, D. Mateus, M. A. Zuluaga, S. K. Zhou, D. Racoceanu, & L. Joskowicz (Eds.), *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention – MICCAI 2020* (pp. 263-273). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-59725-2\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-030-59725-2_26) ↑Ver página 53
- [Ferlay *et al.*, 2019] Ferlay, J., Colombet, M., Soerjomataram, I., Mathers, C., Parkin, D., Piñeros, M., Znaor, A., & Bray, F. (2019). Estimating the global cancer incidence and mortality in 2018: GLOBOCAN sources and methods. *International Journal of Cancer*, 144(8), 1941-1953. <https://doi.org/10.1002/ijc.31937> ↑Ver página 53
- [Figueiredo *et al.* (2019)] Figueiredo, P., Figueiredo, I., Pinto, L., Kumar, S., Tsai, Y., & Mammonov, A. (2019). Polyp detection with computer-aided diagnosis in white light colonoscopy: comparison of three different methods. *Endoscopy International Open*, 7(02), E209-E215. <https://doi.org/10.1055/a-0808-4456> ↑Ver página 54, 65

- [Giral-Ramírez *et al.*, 2017] Giral-Ramírez, W., Celedón-Flórez, H., Galvis-Restrepo, E., & Zona-Ortiz, A. (2017). Redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano: revisión de tema. *Tecnura*, 21(53), 119-137. <https://doi.org/10.14483/22487638.12396> ↑Ver página 66
- [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 66
- [Hidalgo-Suárez *et al.*, 2021] Hidalgo-Suárez, C., Llanos-Mosquera, J., & Bucheli-Guerrero, V. (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 66
- [Kuperij *et al.*, 2011] Kuperij, N., Reilink, R., Schwartz, M., Stramigioli, S., Misra, S., & Broeders, I. (2011, September 25-30). Design of a user interface for intuitive colonoscope control [Conference presentation]. 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Francisco, California, USA. <https://doi.org/10.1109/IROS.2011.6094980> ↑Ver página 53
- [le Clercq *et al.*, 2014] le Clercq, C., Bouwens, M. W., Rondagh, E., Bakker, C., Keulen, E., de Ridder, R., Winkens, B., Masclee, A. A. M., & Sanduleanu, S. (2014). Postcolonoscopy colorectal cancers are preventable: A population-based study. *Gut*, 63(6), 957-963. <https://doi.org/10.1136/gut.jn1-2013-304880> ↑Ver página 53
- [Manzanera, 2012] Manzanera, A. (2012). *Dense Hough transforms on gray level images using multi-scale derivatives* [Conference presentation]. SIXIEME WORKSHOP AMINA 2012, Applications Médicales de l'Informatique: Nouvelles Approches, Mahdia, Tunisia. ↑Ver página 55
- [Mo *et al.*, 2018] Mo, X., Tao, K., Wang, Q., & Wang, G. (2018, August 20-24). *An efficient approach for polyps detection in endoscopic videos based on Faster R-CNN* [Conference presentation]. 2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Beijing, China. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2018.8545174> ↑Ver página 54
- [Pérez, 2012] Pérez, E. (2012). *Gastroenterología*. McGraw Hill Mexico. ↑Ver página 53
- [Rabeneck & Paszat, 2010] Rabeneck, L., & Paszat, L. (2010). Circumstances in which colonoscopy misses cancer. *Frontline Gastroenterology*, 1(1), 52-58. <https://doi.org/10.1136/fg.2009.000257> ↑Ver página 53
- [Shin & Balasingham (2017)] Shin, Y., & Balasingham, I. (2017, July 11-15). *Comparison of hand-craft feature based SVM and CNN based deep learning framework for automatic polyp classification* [Conference presentation]. 2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and

- Biology Society (EMBC), Jeju Island, South Korea. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2017.8037556> ↑Ver página 65, 66
- [Shin *et al.* (2018)] Shin, Y., Qadir, H., Aabakken, L., Bergsland, J., & Balasingham, I. (2018). Automatic colon polyp detection using region based deep CNN and post learning approaches. *IEEE Access*, 6, 40950-40962. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2856402> ↑Ver página 66
- [Tajbakhsh *et al.*, 2015] Tajbakhsh, N., Gurudu, S., & Liang, J. (2015, April 16-19). *Automatic polyp detection in colonoscopy videos using an ensemble of convolutional neural networks* [Conference presentation]. 2015 IEEE 12th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), Brooklyn, NY, USA. <https://doi.org/10.1109/ISBI.2015.7163821> ↑Ver página 53
- [Tajbakhsh *et al.*, 2016] Tajbakhsh, N., Gurudu, S., & Liang, J. (2016). Automated polyp detection in colonoscopy videos using shape and context information. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 35(2), 630-644. <https://doi.org/10.1109/TMI.2015.2487997> ↑Ver página 53, 54, 59, 65
- [Tarik *et al.* (2016)] Tarik, G., Khalid, A., Jamal, K., & Benajah, D. (2016, October 24-26). *Polyps's region of interest detection in colonoscopy images by using clustering segmentation and region growing* [Conference presentation]. 2016 4th IEEE International Colloquium on Information Science and Technology (CiSt), Tangier, Morocco. <https://doi.org/10.1109/CIST.2016.7805090> ↑Ver página 53
- [Urban *et al.* (2018)] Urban, G., Tripathi, P., Alkayali, T., Mittal, M., Jalali, F., Karnes, W., & Baldi, P. (2018). Deep learning localizes and identifies polyps in real time with 96% accuracy in screening colonoscopy. *Gastroenterology*, 155(4), 1069-1078. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2018.06.037> ↑Ver página 65
- [van Rijn *et al.*, 2006] van Rijn, J., Reitsma, J., Stoker, J., Bossuyt, P., Van Deventer, S., & Dekker, E. (2006). Polyp miss rate determined by tandem colonoscopy: a systematic review. *Official Journal of the American College of Gastroenterology*, 101(2), 343-350. <https://doi.org/10.1111/j.1572-0241.2006.00390.x> ↑Ver página 53
- [Wang *et al.*, 2013] Wang, Y., Tavanapong, W., Wong, J., Oh, J., & De Groen, P. (2013). Part-based multiderivative edge cross-sectional profiles for polyp detection in colonoscopy. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 18(4), 1379-1389. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2013.2285230> ↑Ver página 53, 65
- [Zhang *et al.* (2018)] Zhang, R., Zheng, Y., Poon, C., Shen, D., & Lau, J. (2018). Polyp detection during colonoscopy using a regression-based convolutional neural network with a tracker. *Pattern Recognition*, 83, 209-219. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2018.05.026> ↑Ver página 54

[Zheng *et al.* (2019)] Zheng, H., Chen, H., Huang, J., Li, X., Han, X., & Yao, J. (2019, April 8-11). *Polyp tracking in video colonoscopy using optical flow with an on-the-fly trained CNN* [Conference presentation]. 2019 IEEE 16th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), Venice, Italy. <https://doi.org/10.1109/ISBI.2019.8759180> ↑Ver página 54, 65



## Redes neuronales aplicadas al control estadístico de procesos con cartas de control EWMA

### Neural networks applied to statistical process control with EWMA control charts

Ruth Milena Suárez Castro <sup>1</sup>, Iván Darío Ladino Vega <sup>2</sup>

Fecha de Recepción: 23 de mayo de 2022

Fecha de Aceptación: 26 de septiembre de 2022

**Cómo citar:** Suárez-Castro., R.M. y Ladino-Vega., I.D. (2023). Redes neuronales aplicadas al control estadístico de procesos con cartas de control EWMA. *Tecnura*, 27(75), 72-88. <https://doi.org/10.14483/22487638.18623>

### Resumen

**Contexto:** Existe una creciente necesidad de monitorear y predecir variables críticas en procesos productivos; por tanto, a partir del enfoque de control estadístico, se ha asumido desde el uso de cartas de control para mediciones individuales. Así, en este artículo se presentan los resultados del diseño de una red neuronal recurrente *long short term memory* (LSTM) para predecir el valor promedio de la variable temperatura en mediciones individuales, y así evaluar la capacidad de la red para obtener valores similares a los cálculos del promedio móvil ponderado EWMA para mediciones individuales.

**Método:** Se obtuvieron 1768 registros de mediciones individuales de temperatura realizadas por un sensor, en el conjunto de datos denominado *gas sensors for home activity monitoring data set*. Los datos de temperatura se representaron en una carta de control de promedios móviles ponderados exponenciales EWMA, con el fin de obtener los valores de la media del proceso y de identificar que este estuviera dentro del control estadístico. Posteriormente, se entrenó una red neuronal LSTM a una muestra de entrenamiento de 1184 datos con algoritmo *backpropagation* que permitiera obtener valores similares a EWMA, los cuales se validaron en una muestra de prueba de 584 datos de temperatura.

**Resultados:** Se obtuvo el diseño de una red neuronal con una unidad en la puerta de entrada, cuatro en la puerta de olvido y una en la puerta de salida entrenada con el algoritmo *Backpropagation*, la cual permitió calcular valores muy cercanos a los representados en la carta de control EWMA, con un MSE de 1.1405e-04.

**Conclusión:** Las redes neuronales LSTM son una buena alternativa para el cálculo de valores EWMA, cuando se requiera hacer control estadístico de un proceso que genera gran cantidad de datos obtenidos de mediciones y no se cuente con un *software* para procesarlos.

**Financiación:** Fundación Universitaria Los Libertadores

**Palabras clave:** redes neuronales LSTM, carta control, EWMA, temperatura.

<sup>1</sup>Ingeniera industrial, magíster en Ingeniería Industrial. Docente de la Fundación Universitaria Los Libertadores. Bogotá (Colombia). Email: [rmsuarezc@libertadores.edu.co](mailto:rmsuarezc@libertadores.edu.co)

<sup>2</sup>Ingeniero electrónico, magíster en Ingeniería Electrónica, magíster en Ingeniería en Teleinformática. Docente de la Fundación Universitaria Los Libertadores. Bogotá (Colombia). Email: [idladinov@libertadores.edu.co](mailto:idladinov@libertadores.edu.co)

## Abstract

**Context:** There is a growing need to monitor and predict critical variables in production processes, from the statistical process control approach it has been assumed from the use of control charts for individual measurements, for that reason this article presents the results of the design of a *long short term memory* (LSTM) recurrent neural network to predict the average value of the variable temperature in individual measurements and thus evaluate the ability of the network to obtain values similar to the EWMA weighted moving average calculations for individual measurements. Being this.

**Methodology:** 1768 records of individual temperature measurements made by a sensor were obtained, in the data set called: Gas sensors for home activity monitoring data set. Temperature data was plotted on an EWMA exponential weighted moving average control chart to obtain process mean values and identify that the process was within statistical control. Subsequently, an LSTM neural network was trained on a training sample of 1184 data with a Backpropagation algorithm that allowed obtaining values similar to EWMA, which were validated in a test sample of 584 temperature data.

**Results:** The design of a neural network with a unit in the input gate, 4 units in the forgetting gate and 1 unit in the output gate was obtained, trained with the Backpropagation algorithm, it allowed to calculate values very close to those represented in the control chart. EWMA, with an MSE of 1.1405e-04.

**Conclusions:** LSTM neural networks are a good alternative for calculating EWMA values, when statistical control of a process that generates a large amount of data obtained from measurements is required and there is no software to process them.

**Financing:** Fundación universitaria Los Libertadores

**Keywords:** LSTM neural networks, control chart, EWMA, temperature.

---

## Tabla de contenidos

	<b>Pág</b>
<b>Introducción</b>	73
<b>Metodología</b>	80
<b>Resultados</b>	81
<b>Conclusiones</b>	83
<b>Financiamiento</b>	84
<b>Referencias</b>	84

## INTRODUCCIÓN

El continuo avance de la ciencia y la tecnología ha permitido el desarrollo dinámico de sistemas de control a partir de la automatización industrial. El uso de dispositivos que capturan y registran información de variables químicas o físicas, tiene la particularidad de revelar lo que ocurre en un proceso en tiempo real y genera el registro de una gran cantidad de datos de manera continua. La información obtenida a través de los dispositivos que monitorean el proceso favorece su análisis, así como el diseño y la aplicación de controles, además de la toma de decisiones.

La integración de dispositivos de control automáticos con la informática hace posible la detección inmediata de desviaciones en los valores obtenidos por variables que se suelen monitorear en los procesos industriales, que pueden afectar los resultados esperados y poner en riesgo la seguridad. Cuando las variaciones que se dan afectan la obtención de productos dentro de las especificaciones de calidad, es recomendable el uso de herramientas de control estadístico, especialmente de herramientas que tienen la capacidad de analizar una gran cantidad de información.

El control estadístico tiene como propósito la identificación de causas de variabilidad asignables y no asignables en el desarrollo de procesos industriales. Con el fin de realizar su control, es necesario monitorear cada actividad para verificar el cumplimiento de parámetros establecidos de funcionamiento, de tal forma que se haga evidente la existencia de eventos asignables como fallos en máquinas, mezcla de materias primas en proporciones inadecuadas (Flores Sánchez, 2018), que deben ser controlados y eliminados, para así asegurar el desarrollo de productos que cumplan con las especificaciones requeridas por clientes y consumidores finales. Por esa razón, en la industria se han venido implementando técnicas estadísticas que permiten monitorear y vigilar cada una de las etapas, con el propósito de identificar y reducir las causas de variabilidad, de tal forma que no afecten la conformidad de los productos.

Según Montgomery, 2013, en el control de procesos, la variabilidad solo puede describirse en términos estadísticos. Razón por la cual se puede afirmar que el análisis de datos derivado de tareas de medición y monitoreo forma parte del control estadístico de procesos (SPC, por su sigla en inglés), y tienen una elevada influencia no solo en la conformidad de productos, sino también en los costos y la productividad de la organización. Desde 1950, el SPC ha tomado gran importancia y actualmente forma parte de metodologías de gestión como *lean manufacturing* (Govindarajana et al., 2010), que aplican técnicas de estadísticas, no solo como mecanismo para obtener beneficios para la organización fruto de la competitividad, sino también para minimizar los despilfarros representados en reprocesos y mayor uso de recursos.

La carta de control es un recurso gráfico utilizado en actividades de monitoreo y por eso se considera una de las principales técnicas de SPC (Montgomery, 2013). Consta de dos límites de control superior e inferior, y un límite central, este último asociado al comportamiento ideal del proceso, si no estuviera afectado por fuentes de variabilidad. El monitoreo a través de esta herramienta facilita la detección de causas de variabilidad asignables a fallas en el proceso a partir de señales que se encuentran fuera de los límites de control, y también favorecen el seguimiento y monitoreo de manufactura, a fin de identificar patrones normales de desempeño, así como patrones anormales (Xu et al., 2019). Se clasifican en dos tipos: cartas de control de variables y cartas de control de atributos.

Cuando las características de interés en el proceso son medibles, se hace referencia a cartas de control por variables, donde es posible estimar la media, el rango, la mediana o la desviación estándar de las características en estudio. Las cartas de control más conocidas están basadas en la estimación de media y desviación estándar de un número  $n$  de muestras organizadas en subgrupos, sin embargo los actuales sistemas de control automatizado permiten la obtención de muestras individuales del

proceso y no en subgrupos, razón por la cual, también se han desarrollado cartas de control por variables, que tienen en cuenta la influencia de datos pasados en el comportamiento de la media, y que se conocen como *cartas de control de sumas acumuladas* (Cusum) y *de promedio móviles ponderados exponencialmente* (EWMA), que tienen la facilidad para detectar pequeños corrimientos de la media en el proceso.

La EWMA es conocida como carta de control para promedios móviles ponderados exponencialmente, y fue creada por Roberts en 1959 (Herrera Acosta *et al.*, 2018). La ventaja principal de esta consiste en su elevada sensibilidad para detectar cambios muy pequeños en la media de la variable del proceso a controlar (Vergara Benavides, 2012); además, la detección se logra a gran velocidad, característica que comparte con las Cusum (Quintana *et al.*, 2015). La EWMA se interpreta como un caso particular de series de tiempo (Rius *et al.*, 1998). La elaboración de la EWMA utiliza el valor ( $L$ ) recomendado entre 2,6 y 2,8 como múltiplo de sigma, y un valor lambda ( $\lambda$ ) con valores más utilizados de 0,05; 0,1; o 0,20 (Montgomery, 2013), donde el promedio móvil ponderado exponencial se define con la ecuación (1):

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1} \quad (1)$$

Con  $z_0 = \mu_0$  con límites de control definidos por las ecuaciones (2), (3) y (4):

$$\text{Límite central} = \mu_0 \quad (2)$$

$$\text{Límite superior de control} = \text{UCL} = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)}} \quad (3)$$

$$\text{Límite inferior de control} = \text{LCL} = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)}} \quad (4)$$

Ahora bien, el auge que han venido tomando las nuevas tendencias tecnológicas que promueven la automatización de procesos ha generado el surgimiento de un control de procesos más detallado en frecuencia y en tiempos cortos de medición, situación que permite el monitoreo del proceso en tiempo real y que genera abundancia de datos para ser procesados y para identificar cambios en las variables de funcionamiento del proceso, que muestren cuando el proceso se encuentra fuera del control. Por consiguiente, es imprescindible el uso de técnicas de manejo de altos volúmenes de información a fin de realizar el seguimiento con mayor facilidad.

Las redes neuronales artificiales forman parte de los algoritmos sofisticados de optimización de *machine learning*, entre los que se encuentra un amplio rango de técnicas como algoritmos de clasificación y *clustering*, modelos de regresión, árboles de decisión, etc. Un aspecto en común de las técnicas de *machine learning*, como las redes neuronales, es que incluyen tres tipos de aprendizaje: supervisado, no supervisado (Peláez Chávez, 2012) y de refuerzo (Yang, 2019, Maisueche Cuadrado, 2019).

Las redes neuronales artificiales son modelos de cálculo operados por algoritmos sofisticados (Flórez López y Fernández, 2008), técnicas de procesamiento de información programables (Rivas

Asanza y Mazón Olivo, 2018), máquinas adaptativas que están hechas de la interconexión de neuronas artificiales (Rios *et al.*, 2020), conformadas por una gran cantidad de neuronas conectadas en capas (Theodoridis, 2020); las cuales adquieren conocimiento a través de un aprendizaje tomado del entorno y lo almacenan en los pesos sinápticos de la red; donde el comportamiento de una neurona está definido por un modelo neuronal (Yang, 2019).

Cuando se utiliza lenguaje supervisado (*supervised metric learning*) (Pérez Verona y Arco García, 2016) para el entrenamiento de la red, este se realiza proporcionando un conjunto de ejemplos de los valores de salida que debe asumir la red. En el caso del aprendizaje no supervisado (*unsupervised metric learning*), se hace referencia a la inexistencia de conocimiento *a priori* de la salida que se puede obtener cuando se ingresa una entrada a la red y lo que produce es la categorización de las entradas a través del *clustering*. Por su parte, el aprendizaje de refuerzo o semisupervisado se compone de un ejemplo parcial del comportamiento deseado donde se debe comparar continuamente las entradas y salidas al interactuar con el medio ambiente.

Las redes neuronales están conformadas por varios elementos: enlaces de conexión o sinapsis, uniones sumatorias, funciones de activación y sesgos (*bias*) (Rios *et al.*, 2020). Los enlaces de conexión están dispuestos en los elementos receptores de la neurona artificial, donde sucede una parametrización de los pesos sinápticos. Cuando el valor del peso sináptico es mayor que cero se considera una conexión excitatoria, con pesos positivos; de lo contrario la conexión es inhibitoria, con pesos negativos (Berzal, 2018).

Las uniones sumatorias, por su parte, ponderan los factores y los pesos sinápticos para obtener la intensidad total de la señal recibida; la neurona se activa si la intensidad de la señal alcanza un valor umbral definido (Yang, 2019); mientras que la función de activación recibe el resultado de la unión sumatoria y, a partir de allí, define la salida de la neurona en un rango de valores. Por último, la *bias*, o sesgo, actúa como un parámetro adicional de la neurona vinculada a una entrada fija con valor igual a 1, tal como se aprecia en la figura 1.

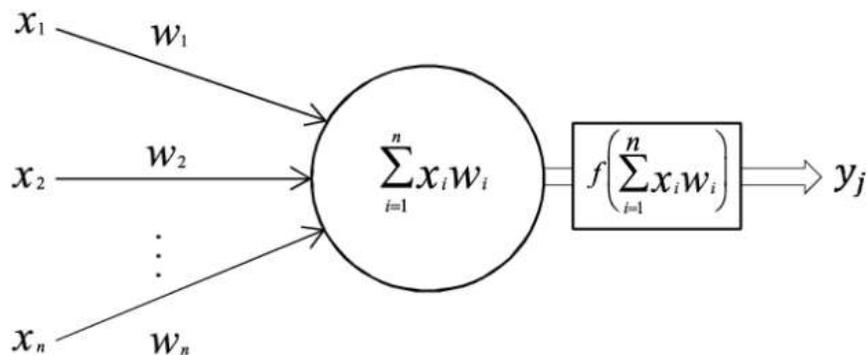


Figura 1. Estructura de la neurona artificial

Fuente: tomada de Vieira *et al.*, 2020.

La representación de la etapa de integración con uniones sumatorias y *bias* para la neurona artificial se presenta en la ecuación (5):

$$Z_j = b_j + \sum_{i=1}^n X_i W_i \quad (5)$$

Donde:  $Z$  es la suma ponderada de los factores  $x$  de entrada con los pesos sinápticos  $w$ ;  $b_j$  hace referencia al sesgo o bias;  $X_i$  representa a cada una de las  $n$  entradas o factores que recibe una capa de neuronas;  $W_i$  representan a los pesos sinápticos.

La representación de la etapa de activación con funciones de activación para la neurona artificial se presenta en la ecuación (6). Donde,  $y_j$  es el valor de salida de la neurona,  $f(z_j)$  hace referencia a la función de activación.

$$y_j = f(z_j) = f\left(\sum_i w_{ij} x_i\right) \quad (6)$$

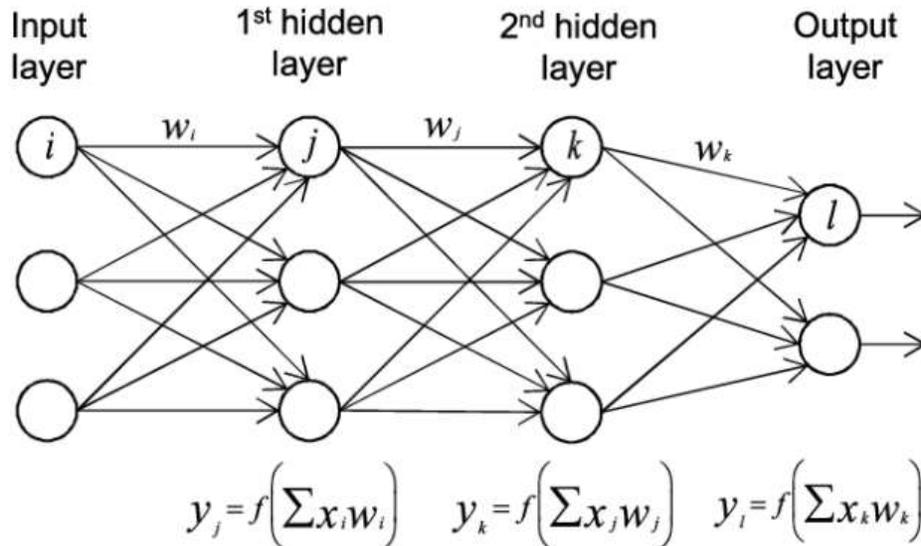
La estructura computacional de las redes neuronales artificiales se asemeja a la estructura del sistema nervioso humano de quien son análogas, por esa razón logran aprender con entrenamiento previo (Rivas Asanza y Mazón Olivo, 2018). Generalmente, las estructuras de redes neuronales artificiales se forman por conjuntos de neuronas que se agrupan en capas (de entrada, ocultas, de salida), donde las neuronas de cada capa comparten características comunes (Yang, 2019).

Es posible determinar dos etapas en el procesamiento de redes neuronales, la primera etapa llamada de integración ocurre cuando se combinan los factores de entrada de las neuronas con los pesos sinápticos, con el fin de establecer el tipo de conexión (excitatoria o inhibitoria), la segunda etapa es la activación, donde se determina el valor de salida de la neurona (Berzal, 2018).

La estructura de redes neuronales se forma cuando se conectan diversas neuronas según una arquitectura dada, es decir, cada neurona estará conectada a neuronas de capas adyacentes y conformarán una red, en la que la neurona transforma los datos de entrada por medio de la suma ponderada de la salida de las neuronas de la anterior capa y luego la pasa por una función no lineal que genera la salida de esa neurona; esta salida se convierte en la entrada de la siguiente capa hasta llegar al a capa final (Vieira *et al.*, 2020). Tal como se observa en la figura 2.

Una manera de determinar el mejor desempeño de las redes neuronales está dada por la capacidad de minimizar los errores que se generen en el aprendizaje y la predicción (Yang, 2019). Es posible hacer una diferenciación entre las arquitecturas de redes neuronales artificiales, desde diversos criterios. El primero está dado por el número de capas, donde se encuentran las redes neuronales monocapa (de entrada y de salida) y redes multicapa (de entrada, intermedias y de salida), donde las redes multicapa pueden tener conexiones totales o parciales (Torres Álvarez *et al.*, 2011).

El segundo criterio se da por el tipo de conexiones, entre las que se encuentran las redes no recurrentes (no retroalimentadas y unidireccionales) y redes neuronales recurrentes (permiten retroalimentación). Como último criterio está el grado de conexión, en el que se encuentran redes neuronales



**Figura 2.** Estructura de red neuronal

**Fuente:** tomada de [Vieira et al., 2020](#).

con conexiones completas entre capas de neuronas, redes parcialmente conectadas, redes de propagación hacia adelante (*feed forward*) y redes de propagación hacia atrás (*feedback*) ([Rivas Asanza y Mazón Olivo, 2018](#)), redes de función de base radial (RBF, por su sigla en inglés) (activación según vecino más cercano), redes Hopfield, máquinas Boltzman ([Yang, 2019](#)).

En términos del mecanismo de aprendizaje que presentan las redes neuronales, se tiene el aprendizaje supervisado y el no supervisado. Entre las principales redes que utilizan aprendizaje supervisado están la red Adaline, el perceptrón y la red de retropropagación; este tipo de redes son utilizadas principalmente para clasificación, series de tiempo y eliminar ruido de señales de entrada. Para el caso del aprendizaje no supervisado, se encuentran las redes Hopfield, mapas de autoorganización de Kohonen, algoritmo *wake sleep* y la *learning vector quantization*; estas pueden solucionar problemas de análisis de componentes principales, *clustering*, prototipado, codificación, extracción y relación de patrones.

Son diversas las aplicaciones que se obtienen del uso de redes neuronales, van desde procesos de modelado, predicción, control, clasificación, reconocimiento de patrones, asociación de datos, agrupación, procesamiento, hasta optimización de señales ([Truong Pham et al., 2007](#), [Rivas Asanza y Mazón Olivo, 2018](#), [Montiel Ariza, 2015](#)). Entre las principales características de funcionamiento de las redes neuronales artificiales se encuentran la capacidad de resolver funciones no lineales, la transformación de entradas en salidas, la adaptabilidad, la tolerancia a los fallos, y la uniformidad en análisis y diseño ([Rios et al., 2020](#)).

Las redes neuronales recurrentes (RNN, por su sigla en inglés) fueron creadas en la década de 1980; son dinámicas, y en estas las entradas son realimentadas con muestras anteriores de las salidas; además, permiten conexiones hacia atrás en las capas que las conforman, por lo que se denominan *feedback networks* (Serrano *et al.*, 2010). Esta característica hace que sean utilizadas para simular sistemas no lineales y para predecir series de tiempo, por su capacidad para seguir el tratamiento de secuencias, aun cuando existen otras herramientas para obtener análisis similares (Villarreal y Arango, 2013).

Para evitar el problema generado por el descenso del gradiente que se causa en aquellas tipo *feed forward networks*, se generaron dos tipos de redes recurrentes denominadas *long short term memory* (LSTM) y *gated recurrent neural networks* (GRU) las cuales están compuestas por tres capas: una de entrada, una oculta y una de salida, denominadas en ocasiones *puertas* (Núñez Castro, 2017). La figura 3 ilustra un modelo de red neuronal recurrente, donde A es una red neuronal,  $X_t$  es la entrada de la red y  $h_t$  es la salida de la red.

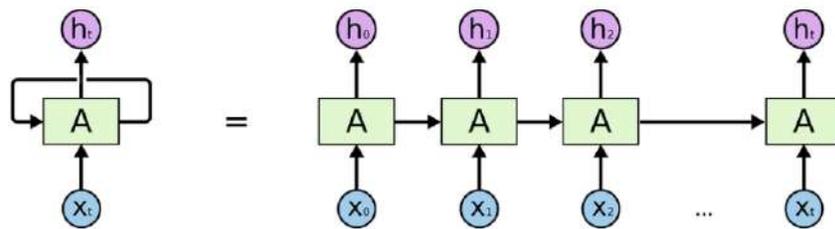


Figura 3. Estructura de red neuronal recurrente

Fuente: tomada de (Olah, (s. f.)).

La red neuronal artificial LSTM, creada por Hochreiter y Schmidhuber en 1997, es considerada una de las RNN de mayor aplicación. Es un tipo de modelo recurrente que implica tres unidades de control, una puerta de entrada (*input gate*), una de olvido (*forget gate*) y una de salida (*output gate*) (Wang *et al.*, 2020), situación diferente de las capas utilizadas en otros modelos de red.

La característica más importante de este tipo de red neuronal es su capacidad para recordar patrones en una memoria de largo y corto plazo que captura información sobre lo que se ha calculado previamente a través del entrenamiento con el algoritmo de *backpropagation*; razón por la cual es muy utilizada para tratar problemas de predicción y previsión de secuencias (Elsheikh *et al.*, 2021). Este tipo de redes solucionan el problema de dependencia entre los datos a largo plazo, situación que no es posible con el uso de redes *feed forward* (Núñez Castro, 2017).

La red neuronal LSTM utiliza funciones de activación sigmoide con valores entre 0 y 1, por lo que pueden incorporarse al algoritmo *backpropagation*, y solucionar el problema del descenso del gradiente, debido a que la red LSTM mantiene el valor del gradiente elevado (pendiente en un punto elevado). Esto favorece el aprendizaje del modelo, y así se evita que el valor de la pendiente sea cero, lo cual impide la continuación del proceso de aprendizaje.

En múltiples estudios se ha utilizado el control estadístico de procesos (SPC, por su sigla en inglés) en conjunto con redes neuronales. Los estudios más recientes se han encaminado al reconocimiento de patrones que indican fallas en los procesos, tal es el caso de las redes neuronales de base radial RBF que se han utilizado con el algoritmo de entrenamiento Bee-RBF (Addeha *et al.*, 2018), con el algoritmo *backpropagation*; igualmente, se han utilizado redes convolucionales (Fuquaa y Razzaghi, 2020) y redes neuronales de impulsos *spikinf* SNN (Awadallaa y Abdellatif Sadekb, 2012). Otros estudios han sido aplicados en la construcción de gráficos de control para pequeños corrimientos de la media del proceso con métodos Cusum y EWMA (Rius *et al.*, 1998). Para el monitoreo de la media en procesos multivariados se han utilizado cartas de control MWEMA (Aparisi y Carrión-García, 2010), incluyendo  $T^2$  y cartas MEWMA en conjunto con redes neuronales del tipo perceptrón, con redes RBF (Chiñas-Sánchez y Vázquez-López, 2014) y redes que trabajan el algoritmo *backpropagation* (Beshah y Muluneh, 2017); por último, se han estudiado patrones de cambio en la varianza del proceso bivariado con redes neuronales de retropropagación (Cheng y Cheng, 2011).

En menor medida, se han estudiado redes neuronales que buscan pronosticar los valores medios de las variables que son monitoreadas con las cartas de control. En el caso de la media, se desarrollaron redes *feed-forward* con entrenamiento *backpropagation* (Cheng y Cheng, 2001), con perceptrón multicapa y algoritmo de entrenamiento Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) (Cheng y Cheng, 2011).

Igualmente, las redes neuronales permiten hacer monitoreo de la media con cartas de control EWMA, para procesos univariados, por ejemplo, en el seguimiento de la temperatura de la cadena de frío con redes de retropropagación (Chen y Shaw, 2010) o del consumo de energía en sistemas de generación de aire comprimido (Santolamazza, 2018) por medio de redes neuronales *feed-forward* y regresión lineal. Las RNN se han utilizado como complemento de las EWMA, en un proceso de detección de anomalías en la transmisión de datos por cuenta de nodos de sensores (Zhang *et al.*, 2020).

## METODOLOGÍA

El propósito de este estudio fue medir la capacidad de las redes neuronales para tratar datos obtenidos por sensores y así predecir valores que permitan el control estadístico de procesos, a partir de la construcción de cartas de control de medias móviles ponderadas exponenciales EWMA para mediciones individuales. En el desarrollo del estudio la serie de datos *gas sensors for home activity monitoring data set* utilizada fue obtenida del UCI Machine Learning Repository. Este conjunto de datos contiene grabaciones de un grupo de sensores de gas compuesto por 8 sensores de gas metal-óxido-semiconductor (MOX) y un sensor de temperatura y de humedad. El interés se centró en el análisis de los datos de 1768 registros de temperatura medidos por uno de los sensores anteriormente mencionados.

Los datos se procesaron inicialmente con el lenguaje de programación R para la obtención de la carta de control EWMA. A partir de allí se utilizó un tipo de red neuronal: *red long short term memory* (LSTM), *feedback forward* con el uso del lenguaje de programación Python; posteriormente, se compararon los resultados.

## RESULTADOS

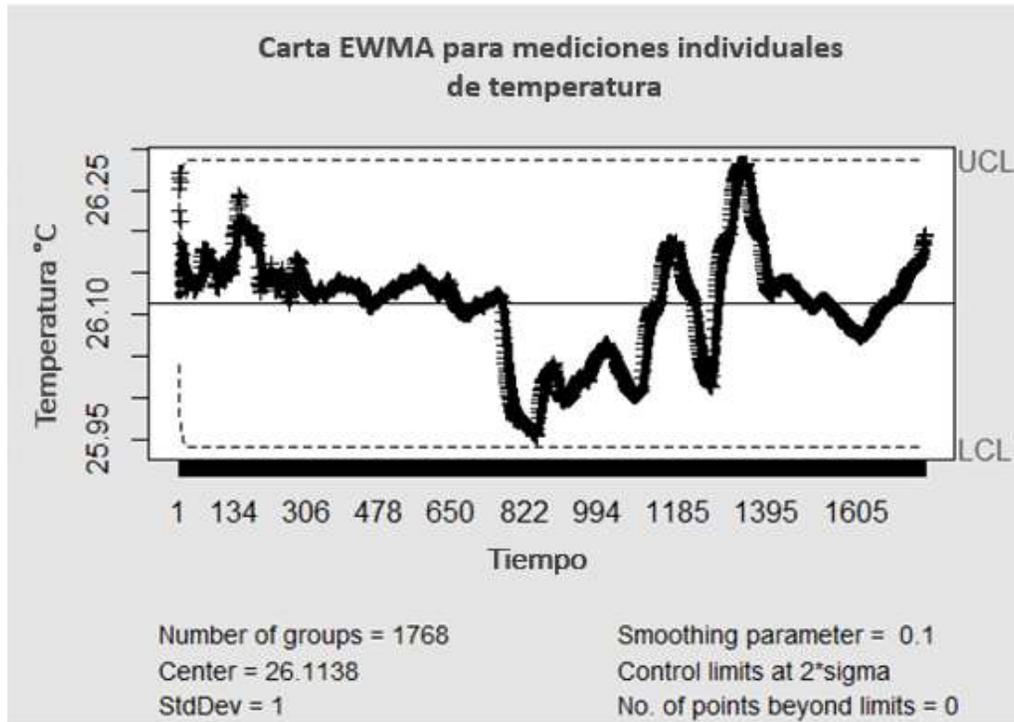
El objetivo del estudio se centró en pronosticar los valores de la media móvil exponencial con el uso de redes neuronales, con el fin de determinar el ajuste de la red neuronal creada con la carta de control EWMA. Para ello se tomó la serie de 1768 datos obtenidos por un sensor de temperatura y presentados en el *data set* denominado *sensores de gas para conjunto de datos de monitoreo de actividad en el hogar*. Luego, se procedió a construir la carta de control EWMA con parámetros iniciales  $\mu_0 = 26,11$ , parámetro de suavización  $\lambda = 0,1$  y  $L = 2,7$ ; se encontraron todos los datos de temperatura dentro de los límites de control.

De acuerdo con la figura 4, el valor promedio de las mediciones individuales corresponde a 26,1138, con una desviación estándar de 1. Cada uno de los valores EWMA calculados se representan en la carta de control a partir de puntos que indican cada medición realizada. En la carta de control se observa que, para las 1768 muestras, las mediciones se mantuvieron dentro de los límites de control variables.

La EWMA para mediciones individuales evidenció un corrimiento de la media a partir de la muestra 820, donde la temperatura descendió abruptamente de una temperatura de 26,11 °C hasta un 25,98 °C que permaneció así hasta la muestra 1112, donde vuelve a incrementarse; sin embargo, se sigue manteniendo dentro de los límites de control estadístico.

Se procedió a desarrollar una red neuronal LSTM con la finalidad de pronosticar los valores de la media móvil exponencial y de realizar una nueva carta de control; las entradas de la red corresponden al registro de 1768 datos de temperatura captados por un sensor. Se utilizó el lenguaje de programación Python con el paquete Keras, con el objetivo de correr una red neuronal que tuviera la capacidad de calcular valores semejantes al obtenido en la carta de control EWMA; teniendo en cuenta que cada dato proyectado depende de los datos anteriores se considera que los datos están correlacionados.

La red neuronal LSTM utilizada consta de una puerta de entrada con 1 unidad, 1 puerta de olvido con 4 unidades y 1 puerta de salida con 1 unidad y funciones de activación sigmoidea. Para el entrenamiento de la red se tomó una muestra de 1184 datos de temperatura, correspondientes al 67 % del total medido por el sensor, así como un algoritmo de entrenamiento *backpropagation* que al tener en cuenta determinados instantes de tiempo se ha denominado *backpropagation through time* (BPTT). La ventaja de la aplicación de las redes neuronales LSTM es que permiten registrar los datos de entrenamiento en orden cronológico y no de manera aleatoria, situación que mejora la estimación de los valores de salida de la red, dado que aumenta la calidad de las predicciones.



**Figura 4.** Carta de control EWMA para mediciones individuales de temperatura

**Fuente:** Elaboración propia.

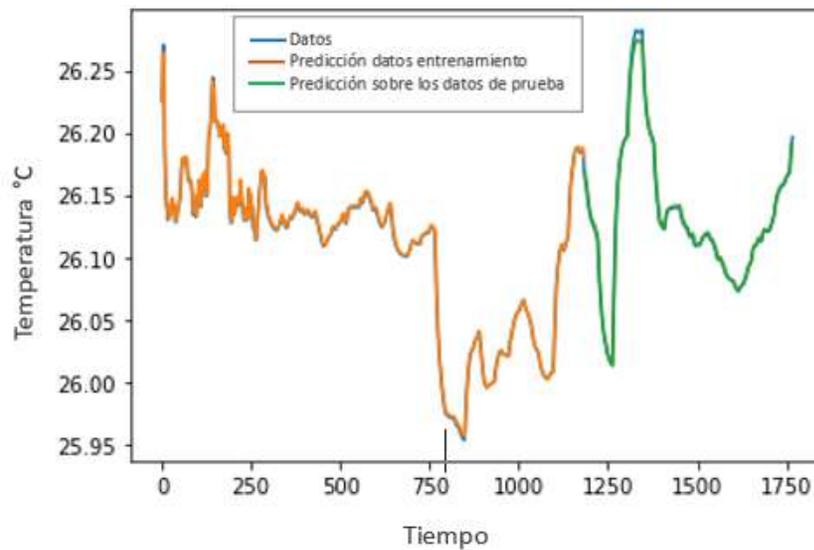
El modelo de la red neuronal se configuró con lote (*batch*) de 1 dato y con 100 épocas, o que indica que el modelo procesa los datos de uno en uno y se realizarán 100 corridas del modelo hasta obtener el menor error cuadrado medio (MSE, por su sigla en inglés). Para el modelo en estudio se encontró que el MSE en la época 1 fue de 0,0444 y en la época 100 el MSE había disminuido hasta 1,1405e-04.

La red LSTM cuenta con 96 parámetros en la puerta de olvido (*forget gate*) y 5 en la puerta de salida (*output gate*), para un total de 101 parámetros, tal como lo muestra la tabla 1. Las RNN utilizan un tamaño de lote *batch* fijo = 1, para asegurar que pasan de un instante de tiempo al siguiente. Para realizar las pruebas sobre la red entrenada se utilizó el 33 % del restante de la muestra de temperatura, correspondiente a 584 datos y del cual se obtuvo la figura 5, en la cual se identifican los valores reales de la medición realizada por el sensor de temperatura (azul), la predicción realizada por la red con los datos de entrenamiento (naranja) y la predicción realizada con los datos de prueba (verde).

El resultado de la aplicación de la red neuronal LSTM arrojó valores pronosticados con un elevado grado de semejanza con los valores EWMA representados en la carta de control, lo que indica la capacidad de la red neuronal LSTM para procesar datos de mediciones individuales, tal como se obtienen de las mediciones a partir de sensores. Igualmente, el algoritmo de protección el descenso del gradiente Adam, utilizado en esta red, asegura que los valores obtenidos de la predicción tengan

**Tabla 1.** Configuración de la red neuronal LSTM

Layer (type)	Output Shape	Param #
lstm (LSTM)	(None, 4)	96
dense (Dense)	(None, 1)	5
Total Paramas: 101		
Trainable params: 101		
Non-trainable params: 0		



**Figura 5.** Comparación valores EWMA de temperatura vs. Predicción de red LSTM

**Fuente:** Elaboración propia.

en cuenta los datos correlacionados, como se requiere para obtener el cálculo de valores EWMA. De esta manera es posible identificar los corrimientos de la media de temperatura, de la misma manera que lo hace una carta de control EWMA.

## CONCLUSIONES

Las cartas de control de la media ponderada exponencial EWMA son herramientas de control estadístico que permiten monitorear con facilidad aquellos procesos de los que se obtienen mediciones individuales; estas no solamente indican si se encuentran dentro de los límites de control, sino que además evidencian pequeños cambios que se van dando en las variables de estudio, como en este caso es la temperatura.

Las redes neuronales recurrentes (RNN) del tipo *long short term memory* (LSTM) son una herramienta de gran utilidad para el análisis de series de tiempo, debido a que poseen algoritmos que evitan que el gradiente descienda hasta tal punto que frene la capacidad de aprendizaje de la red; esto la hace adecuada para el análisis de datos obtenidos de mediciones individuales de variables importantes de monitorear.

Las redes neuronales LSTM son una buena alternativa para el cálculo de valores EWMA, cuando se requiera hacer control estadístico de un proceso que genera gran cantidad de datos obtenidos de mediciones y no se cuente con un *software* para procesarlos.

## FINANCIAMIENTO

Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación “Análisis de datos sobre una red neuronal embebida en un microcontrolador ARM7”, financiado por la Fundación Universitaria Los Libertadores (año de inicio: 2021, año de finalización: 2021).

## REFERENCIAS

- [Addeha *et al.*, 2018] Addeha, A., Khormalib, A. y Golilarz, N. A. (2018). Control chart pattern recognition using RBF neural network with new training algorithm and practical features. *ISA Transactions*, 79, 202-212. 10.1016/j.isatra.2018.04.020 <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2018.04.020> ↑Ver página 80
- [Aparisi y Carrión-García, 2010] Aparisi, F. y Carrión-García, A. (2010). Artificial neural networks for identifying the signals of multivariate EWMA control charts. En *10th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications* (pp. 427-431). ISDA. <https://doi.org/10.1109/ISDA.2010.5687226> ↑Ver página 80
- [Awadallaa y Abdellatif Sadekb, 2012] Awadallaa, M. y Abdellatif Sadekb, M. (2012). Spiking neural network-based control chart pattern. *Alexandria Engineering Journal*, 51(1), 27-35. 10.1016/j.aej.2012.07.004 <https://doi.org/10.1016/j.aej.2012.07.004> ↑Ver página 80
- [Berzal, 2018] Berzal, F. (2018). *Redes neuronales y deep learning*. Edición independiente. ↑Ver página 76, 77
- [Beshah y Muluneh, 2017] Beshah, B. y Muluneh, A. (2017). Control chart pattern recognition of multivariate auto-correlated processes using artificial neural network. *Journal of EEA*, 35, 47-57. ↑Ver página 80

- [Cheng y Cheng, 2001] Cheng, C.-S. y Cheng, S.-S. (2001). A neural network-based procedure for the monitoring of exponential mean. *Computers % Industrial Engineering*, 40, 309-321. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(01\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(01)00031-6) ↑Ver página 80
- [Cheng y Cheng, 2011] Cheng, C.-S. y Cheng, H.-P. (2011). Using neural networks to detect the bivariate process variance shifts pattern. *Computers % Industrial Engineering*, 60(2), 269-278. 10.1016/j.cie.2010.11.009 <https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.11.009> ↑Ver página 80
- [Chen y Shaw, 2010] Chen, K.-Y. y Shaw, Y.-C. (2010). Applying back propagation network to cold chain temperature monitoring. *Advanced Engineering Informatics*, 25(1), 11-22. 10.1016/j.aei.2010.05.003 <https://doi.org/10.1016/j.aei.2010.05.003> ↑Ver página 80
- [Cheng *et al.*, 2011] Cheng, C.-S., Chen, P.-W. y Huang, K.-K. (2011). Estimating the shift size in the process mean with support vector regression. *Expert Systems with Applications*, 38, 10624-10630. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.121> ↑Ver página
- [Chiñas-Sánchez y Vázquez-López, 2014] Chiñas-Sánchez, P. y Vázquez-López, J. A. (2014). Multivariate variables recognition using Hotelling's T2 and MEWMA via ANN's. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(1), 125-138. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(15\)30011-1](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)30011-1) ↑Ver página 80
- [Elsheikh *et al.*, 2021] Elsheikh, A., Katekar, V., Muskens, O., Deshmukh, S., Elaziz, M. y Dabour, S. (2021). Utilization of LSTM neural network for water production forecasting of a stepped solar still with a corrugated absorber plate. *Process Safety and Environmental Protection*, 148, 273-282. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.068> ↑Ver página 79
- [Flores Sánchez, 2018] Flores Sánchez, M. (2018). *Nuevas aportaciones del análisis de datos funcionales en el control estadístico de procesos* [Tesis de doctorado]. Universidad de Coruña. ↑Ver página 74
- [Flórez López y Fernández, 2008] Flórez López, R. y Fernández, J. M. (2008). *Las redes neuronales artificiales. Fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas*. Netbiblo. ↑Ver página 75
- [Fuquaa y Razzaghi, 2020] Fuquaa, D. y Razzaghi, T. (2020). A cost-sensitive convolution neural network learning for control chart pattern recognition. *Expert Systems with Applications*, 150, 113275. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113275> ↑Ver página 80
- [Govindarajana *et al.*, 2010] Govindarajana, R., Lluguerab, E., Melero, A., Molero, J. y Soler, N. (2010). El control estadístico de proceso puede ayudar a prevenir los errores de tratamiento sin aumentar los costes en radioterapia. *Revista de Calidad Asistencial*, 25(5), 281-290. <https://doi.org/10.1016/j.cali.2010.04.004> ↑Ver página 74

- [Herrera Acosta *et al.*, 2018] Herrera Acosta, R., Romero Cabrera, I. y Wasinki-Zúñiga, R. (2018). Contraste entre las cartas de control MR Shewart y Cusum varianza en el monitoreo del potencial de hidrógeno en protectores de planta. *Iteckne, Innovación e Investigación en Ingeniería* 15(2), 88-98. 10.15332/iteckne.v15i2.2070. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v15i2.2070> ↑Ver página 75
- [Maisueche Cuadrado, 2019] Maisueche Cuadrado, A. (2019). *Utilización del machine learning en la industria 4.0* [Tesis de maestría]. Repositorio institucional de la Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/37908> ↑Ver página 75
- [Montgomery, 2013] Montgomery, D. (2013). *Control estadístico de la calidad*. Limusa Willey. ↑Ver página 74, 75
- [Montiel Ariza, 2015] Montiel Ariza, H. M. (2015). Using neural networks for face recognition in controlled environments. *Tecnura*, 19, 67-77. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a05> ↑Ver página 78
- [Núñez Castro, 2017] Núñez Castro, J. F. (2017). *Aprendizaje automático en fusión nuclear con deep learning* [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. ↑Ver página 79
- [Olah, (s. f.)] Olah, Ch. (s. f.). Recurrent neural networks. *Colah's Blog*. <http://colah.github.io/> ↑Ver página 79
- [Peláez Chávez, 2012] Peláez Chávez, N. (2012). *Aprendizaje no supervisado y el algoritmo wake sleep en redes neuronales* [Tesis de pregrado]. Universidad Tecnológica de la Mixteca. ↑Ver página 75
- [Pérez Verona y Arco García, 2016] Pérez Verona, I. C. y Arco García, L. (2016). Una revisión sobre aprendizaje no supervisado de métricas de distancia. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 10(4), 43-67. ↑Ver página 76
- [Quintana *et al.*, 2015] Quintana, A. E., Pisani, M. V. y Casal, R. N. (2015). Desempeño de cartas de control estadístico con límites bilaterales de probabilidad para monitorear procesos Weibull en mantenimiento. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(1), 143-156. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(15\)72115-3](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)72115-3) ↑Ver página 75
- [Rios *et al.*, 2020] Rios, J., Alanis, A., Arana-Daniel, N. y López-Franco, C. (2020). Appendix A - Artificial neural networks. En *Neural networks modeling and control. Applications for unknown nonlinear delayed systems in discrete time* (pp. 117-124). Academic Press ↑Ver página 76, 78
- [Rius *et al.*, 1998] Rius, A., Ruisanchez, I., Callao, M. y Rius, F. (1998). Reliability of analytical systems: Use of control charts, time series models and recurrent neural networks RNN. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 40, 1-18. [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(97\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(97)00085-3) ↑Ver página 75, 80

- [Rivas Asanza y Mazón Olivo, 2018] Rivas Asanza, W. y Mazón Olivo, B. (2018). *Redes neuronales artificiales aplicadas al reconocimiento de patrones*. Editorial UTMACH. ↑Ver página 75, 77, 78
- [Santolamazza, 2018] Santolamazza, A. C. (2018). Anomaly detection in energy consumption for condition-based maintenance of compressed air generation systems: An approach based on artificial neural networks. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1131-1136. 10.1016/j.ifacol.2018.08.439 <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.439> ↑Ver página 80
- [Serrano *et al.*, 2010] Serrano, A., Soria, E. y Martín, J. D. (2010). *Redes neuronales artificiales*. Universidad de Valencia. ↑Ver página 79
- [Theodorids, 2020] Theodorids, S. (2020). Chapter 18 - Neural networks and deep learning. En *Machine learning: A Bayesian and optimization perspective* (pp. 901-1038). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818803-3.00030-1> ↑Ver página 76
- [Torres Álvarez *et al.*, 2011] Torres Álvarez, N., Hernández, C. y Pedraza, L. (2011). Redes neuronales y predicción de tráfico. *Tecnura*, 15, 90-97. ↑Ver página 77
- [Truong Pham *et al.*, 2007] Truong Pham, D., Packianather, M. y Afify, A. (2007). Artificial neural networks. En D. Andina y D. Truong Pham, *Computational intelligence: For engineering and manufacturing* (pp. 67-92). Springer. [https://doi.org/10.1007/0-387-37452-3\\_3](https://doi.org/10.1007/0-387-37452-3_3) ↑Ver página 78
- [Vergara Benavides, 2012] Vergara Benavides, M. C. (2012). Aplicación de la carta de control EWMA-CV para la optimización del monitoreo del peso en la leche pasteurizada en bolsa. *Revista Científica Tecknos*, 8(1), 7-16. ↑Ver página 75
- [Vieira *et al.*, 2020] Vieira, S., López Pinaya, W. y Garcia-Dias, R. M. (2020). Chapter 9 - Deep neural networks. En S. Vieira y A. Mechelli, *Machine learning methods and applications to brain disorders* (pp. 157-172). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815739-8.00009-2> ↑Ver página 76, 77, 78
- [Villarreal y Arango, 2013] Villarreal, E. y Arango, D. (2013). Estrategias para el entrenamiento de redes neuronales de números difusos. *Tecnura*, 18, 36-47. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.2.a03> ↑Ver página 79
- [Wang *et al.*, 2020] Wang, P., Zheng, X., Ai, G., Liu, D. y Zhu, B. (2020). Time series prediction for the epidemic trends of COVID-19 using the improved LSTM deep learning method: Case studies in Russia, Peru and Iran. *Chaos, Solitons % Fractals*, 140, 110240. 10.1016/j.chaos.2020.110214 <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110214> ↑Ver página 79
- [Xu *et al.*, 2019] Xu, J., Lv, H., Zhuan, Z., Lu, Z., Zou, D. y Qin, W. (2019). Control chart pattern recognition method based on improved one-dimensional convolutional neural network. *IFAC-*

*PapersOnLine*, 52(13), 1537-1542. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.418> ↑Ver página 74

[Yang, 2019] Yang, X.-S. (2019). 8-Neural networks and deep learning. En X.-S. Yang, *Introduction to algorithms for data mining and machine learning* (pp. 139-161). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817216-2.00015-6> ↑Ver página 75, 76, 77, 78

[Zhang *et al.*, 2020] Zhang, M., Guo, J., Li, X. y Jin, R. (2020). Data-driven anomaly detection approach for time series streaming data. *Sensors*, 20(19), 5646. 10.3390/s20195646 <https://doi.org/10.3390/s20195646> ↑Ver página 80



## A Multi-Criteria Analysis for Decision-Making in the Selection of an Asphalt Mixture on Pavements

### Un análisis multicriterio para la toma de decisiones en la selección de una mezcla asfáltica en pavimentos

Noé Villegas-Flores <sup>1</sup>, Sara del Rocío Ochoa-Averos <sup>2</sup>, Yelinca Nalena Saldeño-Madero <sup>3</sup>  
Edgar Humberto Sánchez-Cotte <sup>4</sup>

Fecha de Recepción: 20 de febrero de 2022

Fecha de Aceptación: 26 de septiembre de 2022

**Cómo citar:** Villegas-Flores., N. Ochoa-Averos., S.R. Saldeño-Madero., Y.N. y Sánchez-Cotte., E.H. (2023). A Multi-Criteria Analysis for decision-making in the selection of an asphalt mixture on pavements. *Tecnura*, 27(75), 89-112. <https://doi.org/10.14483/22487638.18929>

### Abstract

**Objective:** This research presents a novel multi-criteria methodology that allows evaluating two asphalt materials used in the paving sector, aiming to provide guidelines for selecting a material under a sustainable profile. This methodological tool allows evaluating characteristics and indicators associated with the behavior of an asphalt mixture in an integrated and consistent way as well as with environmental impact.

**Methodology:** A sustainability parameter associated with the study of two materials from the paving sector was obtained. The main characteristics of a hot asphalt mixture and a cold mixture under the same contour conditions were evaluated. Regarding the multi-criteria model, the concept of decision theory was taken, supported by the MIVES methodology and the utility function, thus allowing to evaluate and compare the indicators proposed for this analysis case.

**Results:** The sustainability index was obtained for the two materials studied. The cold asphalt mixture obtained a value of 0,76, representing an overall better performance in the three axes analyzed (environmental, economic, and operation). On the other hand, the hot mixture obtained an index of 0,57, a value inherent to a less positive response than the cold mixture.

**Conclusions:** The developed methodology allowed for the incorporation of variables and indicators of different units of measurement and diverse nature. Obtaining a sustainability index in asphalt materials represents a significant advance in the application of multi-criteria methodologies.

**Keywords:** multi-criteria methodology, AHP, MIVES, flexible pavements

<sup>1</sup>Civil engineer, Master's and PhD in Civil Engineering. Professor and researcher at the Federal University of Latin American Integration, Foz do Iguaçu, Brazil. Email: [noe.flores@unila.edu.br](mailto:noe.flores@unila.edu.br)

<sup>2</sup>Civil engineer, Master's student at the Federal University of Latin American Integration, Foz do Iguaçu, Brazil. Email: [saradelrociochoa@gmail.com](mailto:saradelrociochoa@gmail.com)

<sup>3</sup>Civil engineer, Master's and PhD in Civil Engineering. Professor and researcher at Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. Email: [ynsaldeno@ucatolica.edu.co](mailto:ynsaldeno@ucatolica.edu.co)

<sup>4</sup>Civil engineer, Master's and PhD in Civil Engineering. Professor and researcher at Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Email: [esanchez@udistrital.edu.co](mailto:esanchez@udistrital.edu.co)

## Resumen

**Objetivo:** Esta investigación presenta una novedosa metodología multicriterio que permite evaluar dos materiales asfálticos utilizados en el sector de la pavimentación, en aras de aportar directrices al momento de seleccionar un material bajo un perfil sostenible. Esta herramienta metodológica permite evaluar características e indicadores asociados al comportamiento de una mezcla asfáltica de forma integrada, consistente y con impacto medioambiental.

**Metodología:** Se obtuvo un parámetro de sostenibilidad asociado al estudio de dos materiales del sector de la pavimentación. Se evaluaron las principales características de una mezcla asfáltica en caliente y una mezcla fría bajo las mismas condiciones de contorno. Con respecto al modelo multicriterio, se tomó el concepto de teoría de la decisión, con apoyo de la metodología MIVES y la función de utilidad, permitiendo evaluar y comparar los indicadores propuestos para este caso de análisis.

**Resultados:** Se obtuvo el índice de sostenibilidad para los dos materiales estudiados. La mezcla asfáltica fría obtuvo un valor de 0,76, representando de forma global un mejor desempeño en los tres ejes analizados (medioambiental, económico y de operación). Por otro lado, la mezcla en caliente obtuvo un índice de 0,57, valor inherente a una respuesta menos positiva que la mezcla fría.

**Conclusiones:** La metodología desarrollada permitió incorporar variables e indicadores con unidades de medición distintas y de naturaleza diversa. La obtención de un índice de sostenibilidad en materiales asfálticos supone un avance significativo en la aplicación de metodologías multicriterio.

*Palabras clave:* metodología multicriterio, AHP, MIVES, pavimentos flexibles

---

## Table of contents

	<b>Page</b>
<b>Introduction</b>	<b>91</b>
<b>System limits</b>	<b>91</b>
<b>Mives multi-criteria analysis for the case of the asphalt sustainability index</b>	<b>92</b>
Characterization of the value function . . . . .	102
Performance/manufacturing temperature value function . . . . .	104
Manufacturing and transportation cost value function . . . . .	105
<b>Results</b>	<b>106</b>
<b>Conclusions</b>	<b>107</b>
<b>Acknowledgments</b>	<b>107</b>
<b>References</b>	<b>107</b>

## INTRODUCTION

In recent decades, in the asphalt technology sector, the development of hot asphalt mixtures for the construction of treads in pavement structures has prevailed (Pérez-Acosta & Lemus-Franco, 2018). It is known that the production of asphalt mixtures is associated with environmental pollution problems, which generates significant economic impacts. In addition to this, high oil production costs imply inconsistent markets in prices per barrel (Ledesma, 2015), indicating the need to seek new technological proposals in the paving sector.

The need to review the impacts of hot asphalt mixtures has been a categorical trend in recent years (Al-Busaltan *et al.*, 2012, De la Rosa *et al.*, 2018, Rondón-Quintana *et al.*, 2010, Ruiz *et al.*, 2014). In that sense, space has been gained in the implementation of cold asphalt mixtures, under the premise of reducing energy consumption and alleviating the environmental impact generated by greenhouse gases emitted by hot asphalt production plants (Chelego *et al.*, 2018).

On the other hand, cold asphalt mixtures are produced from fine and coarse aggregates by adding an asphalt emulsion, without the need to heat the components, as is the case of hot asphalt mixtures (Bulla-García *et al.* (2017)). In this regard, several peculiarities have been analyzed and studied in recent years, given benefits such as the easy extension and compaction of the material, improved adhesion between particles, and mixture stability (Reyes-Ortiz *et al.*, 2018).

The prevailing need to create and design new models that meet the demands of sustainability in the asphalt mix technology sector has led to reductions in design quality standards and manufacturing temperatures (and compaction), as well as to substantial improvements in workers' health, among others.

Table 1 shows several international experiences addressing the use of multi-criteria models when evaluating asphalt mixtures. It is necessary for each of these studies to be analyzed with the particularities and specific parameters of each case.

Although there are numerous applications and multicriteria models with certain objectives, there is a significant lack of models that allow characterizing and evaluating constructive solutions in an integrated way. In other words, the model proposed in this study provides a new perspective of evaluation and comparison between two materials that can be homologated in terms of their economic, operational, and environmental aspects.

## SYSTEM LIMITS

For the development of this study, two constructive pavement solutions were used. On the one hand, an alternative based on a binder mixture and hot aggregate (DHD, dense hot mix-manufactured and compacted) and a cold dense mixture (DC, dense-cold) was selected. It is important to mention that the experimental characterization of each of the selected alternatives has been developed by

**Table 1.** Multi-criteria models in the flexible pavement technology sector

Author	Multi-criteria models used	Purpose of the study
Bueche	EPFL-LAVOC Model	To assess warm mix asphalt (WMA) and hot mix asphalt (HMA)
Santos	Life cycle cost/Life cycle assessment" Choosing by Advantages"(CBA tool)	To measure the efficiency of environmental and economic aspects
Arroyo	Multi-criteria decision-making method	To use the End Life of Tires (ELT) in asphalt mixtures in developing countries
	The Weighted Aggregate Sum Product Assessment (WASPAS) methodology	
Slebi	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)	To select fibers for bituminous mixtures
Pasha	Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)	To select the ideal pavement alternative (ranking)
	Fuzzy Analytic Network Process (FANP)	

**Source:** Authors.

[Bulla-García et al. \(2017\)](#) and has served as a basis for comparing the responses with the proposed multi-criteria model.

The study conducted by [Bulla-García et al. \(2017\)](#) sought to analyze different technical, economic, and environmental aspects. The analysis presented in this study considers the use of the 'modified Marshall' methodologies for the DHD and the 'Marshall Illinois' ones for the DC. Asphalt mixtures have been characterized with AC 60-70 and CRL-1 emulsions for DHD and DC, respectively, using the same aggregate for both solutions.

The adoption of the variables treated in the study by [Bulla-García et al. \(2017\)](#) allowed calibrating the decision-making methodology proposed in this work. The transition from an experimental phase to the methodological phase is a complement between different areas of analysis and evaluation, *i.e.*, a starting point in juxtaposition and comparison when evaluating flexible pavement components.

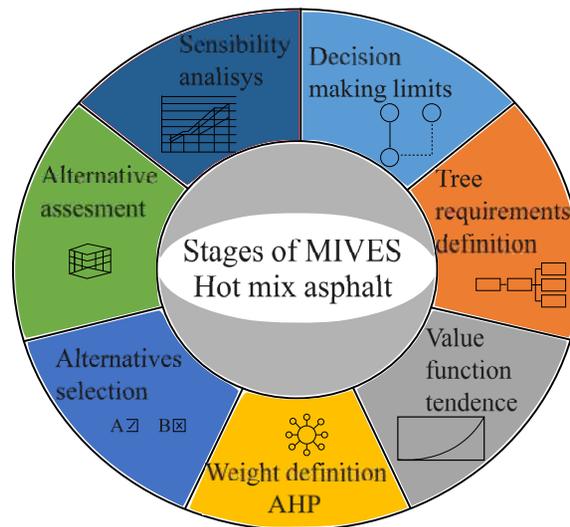
It is important to highlight that only those two types of asphalt mixes have been defined in this study. However, the method can be applied to various types of comparable materials. The parameters and indicators used in this study were defined by the characteristics of the materials themselves. Thus, the parameters should be adjusted when evaluating other constructive solutions with regard to their technological responses.

## MIVES MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR THE CASE OF THE ASPHALT SUSTAINABILITY INDEX

Multi-criteria decision-making (MCDM) occurs when the decision-maker must select between a group of alternatives or solutions, considering the diversity of criteria and assessments ([Zavadskas](#)

*et al.*, 2014). The MIVES method is a multi-criteria analysis methodology that assesses alternatives with the clear objective of solving a specific problem. This methodology was designed based on the utility theory, obtaining a 'value index' (of each alternative), a product of the weighted total of the assessments of the criteria and the indicators considered (Aguado *et al.*, 2006). It is important to highlight that the MIVES methodology allows configuring and characterizing all the preferences of the decision-maker in a phase prior to the creation of possible alternatives.

This implies that the decision-maker defines the aspects to be assessed from the start and their form of evaluation. The advantage of this approach means that decision-making is not affected by the responses of the alternatives, thus reducing the possibility of any type of subjectivity. Depicts the seven stages of the MIVES multi-criteria methodology. In the case of the first stage, called "Delimitation of the decision" the system limits and boundary conditions are defined. Decision-making is organized, observing the agents that intervene before the problem can be solved.



**Figure 1.** Characterization of the stages of MIVES

**Source:** Authors.

On the other hand, the limits of the system condition the decision-making process in three main axes: requirements, components (to be analyzed), and life cycle (of the problem). In these stages, the circumstances surrounding the decision-making process are observed (*i.e.*, temporal, geographical and environmental factors, as well as workers' health, among others) (Aguado *et al.*, 2006).

In light of the above, Table 2 reflects the different applications of the MIVES model in the construction sector. It shows the methodological advances, application areas, and main attributes represented in each case.

The requirements tree is elaborated with the clear objective of ordering and grouping the variables selected in the first phase. The third stage defines the value functions for the entire system. The

**Table 2.** MIVES applications in the construction sector

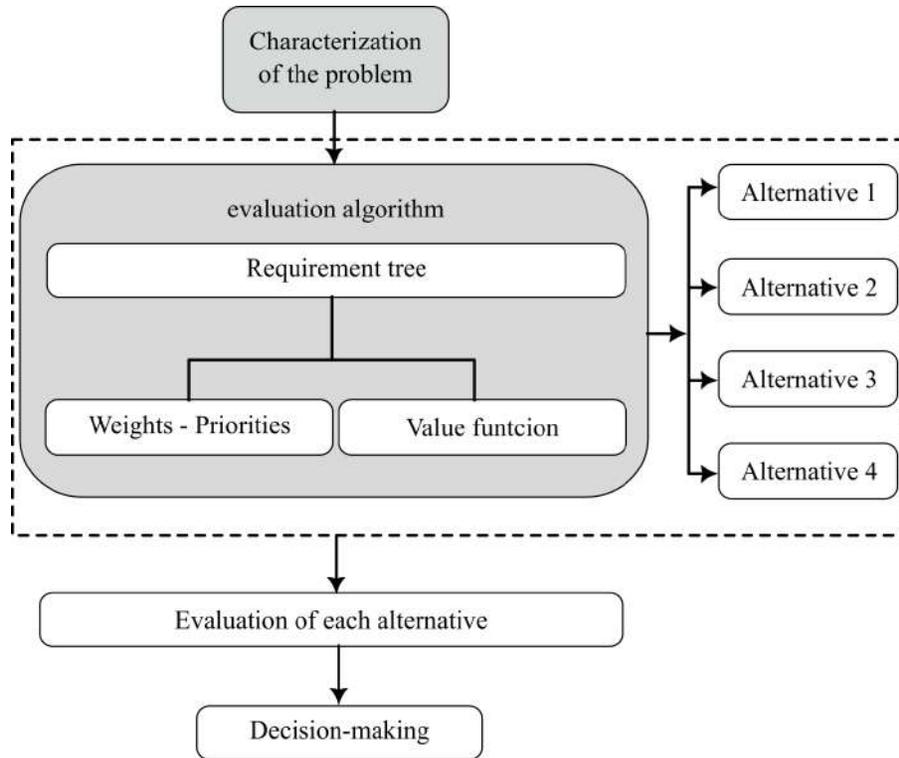
Methodology	Application attributes	Application area/Methodological advances
<i>Aguado et al. (2012)</i>	Procedures to assess sustainability in structural concrete structures Spanish Code	Structural concrete legislation/Annex 14 structural concrete
<i>del Caño et al. (2012)</i>	Concrete works during all life cycle Technology in educational structures	Structures of concrete/Life cycle
<i>D'Aula (2012)</i>	Acoustic Quality: Index of Architecture	Architecture/Evaluation models in the field of acoustics.
<i>Pons and de la Fuente (2016)</i>	Reinforced concrete elements, mechanical conditions, geometry and their processes	Structures/Functional – structure.
<i>Reyes et al. (2014)</i>	Construction projects integrating health and safety issues	Occupational Health & Safety/Social impact
<i>de la Fuente et al. (2016)</i>	Sewer pipes	Sewer systems/Sanitation and new materials
<i>Hosseini et al. (2016)</i>	Provisional housing, reduce environmental and economic impacts	Civil Construction/Social welfare
<i>de la Fuente et al. (2016b)</i>	Wind turbines	Renewable energy
<i>Gilani and Fuente (2016)</i>	Advantages and limitations for sustainable measures Facades in housing	Civil Construction/Architecture criteria
<i>Pujadas et al. (2018)</i>	Urban pavements capacity and damage	Public politics
<i>Villegas and Parapinski dos Santos (2013)</i>	Analysis of new materials under the sustainable context	Civil construction

**Source:** Authors.

objective of the value functions is to integrate and transfer variables with different units of measurement (for example, US \$, emissions, tons, %, etc.). In the allocation of weights (fourth stage), the degree of importance between the different variables conceived in the first phase is assigned and determined. That is, each variable or attribute has a relative importance with respect to the need for decision-making. For this, the priority assignment tool defined by Saaty (2004) has been used, which deals with the comparison of variables by means of a square matrix and degrees of consistency.

After defining the structure of the problem and the established weights, the alternatives that support the decision are specified. It is important to highlight that there is no limitation to evaluate alternatives if they are comparable and homologous between them.

The evaluation of alternatives (sixth phase) is conducted via the mathematical instrument provided by the MIVES methodology, which will be detailed in subsequent sections. Finally, a sensitivity analysis is staged to observe the incidence of each of the variables analyzed with respect to the measuring instrument and the responses of each selected alternative.



**Figure 2.** General algorithm of the MIVES multi-criteria model

**Source:** Authors.

Shows the diagram and methodological organization of the MIVES methodology. It is important to highlight that the alternatives are outside the creation and structure of the decision-making process, reducing the possibility of subjective approaches and biases during the evaluation process. MIVES represents a significant advance in the evaluation of variables with different units of measurement, following an approach that observes the life cycle of each decision.

The MIVES method has been conceived and used (initially) to evaluate construction projects on a sustainable basis. Such initiatives are aimed at measuring alternatives ranging from the analysis and evaluation of investments in the public construction sector (Pujadas *et al.* (2017)) to environmental valuations associated with the sector that allow measuring the responses of indicators throughout the entire cycle of the project (Viñolas *et al.*, 2009).

There are different applications that have been used to measure the responses of the indicators in the industrial sector (Pons *et al.*, 2016, San-José *et al.*, 2007, San-José & Cuadrado-Rojo, 2010) by means of MIVES. This methodology has been used to analyze the networks of infrastructure works such as tunnels (Ormazabal *et al.*, 2008), to compare structural hydraulic networks (Pardo-Bosch & Aguado, 2014, Pardo-Bosch & Aguado, 2016), and in civil construction projects (Pons & Aguado, 2012, Casanovas, 2014), allowing to compare alternatives with sustainable rigor.

It is important to note that the structural concrete code has been evaluated through this multi-criteria methodology, with satisfactory results (CPH, Spanish Structural Concrete Standard, 2008) (Mel *et al.*, 2015). Finally, for the specific case of works on land roads (paving), Pujadas *et al.* (2017) and Aguado *et al.* (2012) integrate concepts of quality in paving, evaluating it with the MIVES multi-criteria methodology.

Other sectors have also been studied through the MIVES model. De la Fuente *et al.* (2016b) establish the necessary indicators aiding in the selection of wind turbines. The authors compare solutions to claims in urban areas. Villegas-Flores (2009) contextualizes the comparison of indicators that measure the performance of university departments, obtaining criteria for the distribution of financial resources based on teacher productivity.

The diversity and application of studies carried out under this multi-criteria model has gained strength in the last decade. Figure 3 depicts the tree of requirements defined for this specific case study. The structure of the tree has been arranged in three axes or requirements: environmental, economic, and operational. The decision-making process has been conceived in such a way that all criteria and indicators are measurable with some ease and scientific rigor.

Environmental requirements have been limited to the context of environmental pollution, namely regarding the reduction of performance temperatures, harmful emissions, and raw materials consumption. As for performance temperatures, two types of temperatures have been considered: those involved in the manufacturing of the asphalt mixture and those involved in compaction. These indicators have been selected by assuming that there is a need to reduce environmental impacts, given the high temperatures taking place in both processes. In this case, particular care has been taken to address the various concepts of emission reduction expressed at the *21st Conference of the parties to the United Nations Framework Convention on climate change*, held in Paris in December 2015. This accord will be adopted from 2021, aiming to keep the global temperature rise below 2°, thus promoting climate resilience and low-carbon development (UN-CEPAL, 2018a).

This study contemplates the reduction and consumption of thermal energy and carbon dioxide emissions (which are contemplated in the emission criteria) that favor meeting the current regional guidelines and tasks of the *2030 Agenda for sustainable development in Latin America and the Caribbean* (UN-CEPAL, 2018b).

It is important to note that performance temperatures have been weighted with greater importance, *i.e.*, with 65 % importance for compaction and, 35 % for manufacturing. It is understood that such weight is guided by the number of operators that participate (and are affected) in these processes.

The allocation of these weights has been specified by means of the AHP (analytical hierarchy process) methodology defined by the decision matrix proposed by Saaty (2017). Thus, the allocation of weights has been defined by the consensus of different specialists related to the road sector (contractors, construction executors, supervisors, *etc.*).

**Table 3.** Tree of requirements

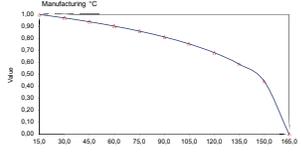
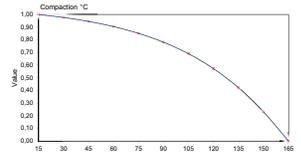
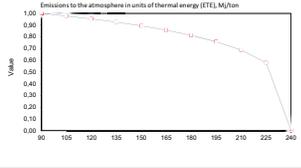
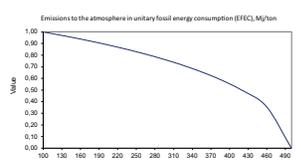
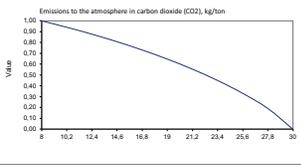
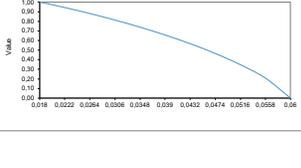
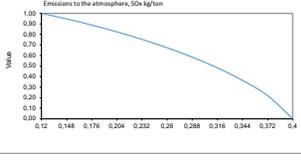
Requirements	Criteria	Indicator	Value function
Environment (40 %)	Temperature performance (50 %)	Manufacturing °C (35 %)	
		Compaction °C (65 %)	
	Emissions (35 %)	Emissions to the atmosphere in unit thermal energy (ETE), Mj/ton (20 %)	
		Emissions to the atmosphere in unitary fossil energy consumption (EFEC) Mj/ton (20 %).	
		Emissions to the atmosphere in carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ) kg/ton (40 %)	
		Emissions to the atmosphere NOx kg/ton (10 %)	
		Emissions to the atmosphere Sox kg/ton (10 %)	

Table 3 continued from previous page

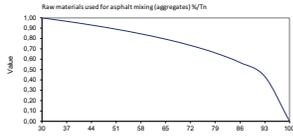
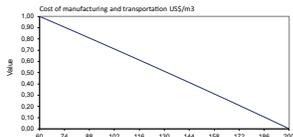
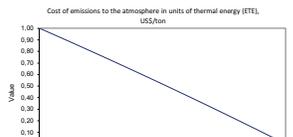
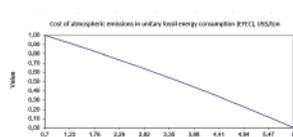
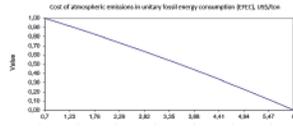
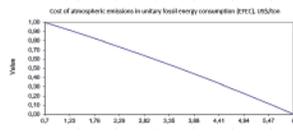
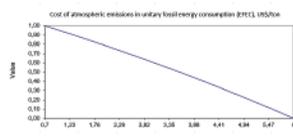
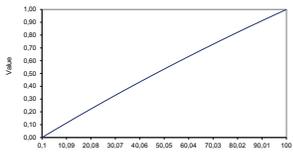
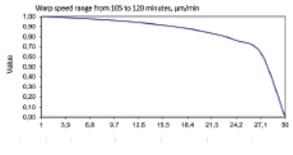
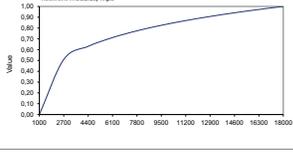
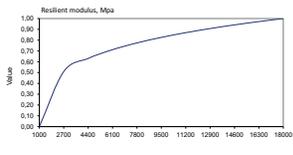
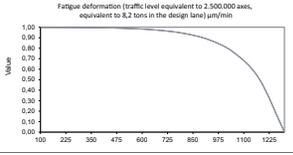
Requirements	Criteria	Indicator	Value function
	<i>Consumption</i> (15 %)	Raw materials used for asphalt mixing (aggregates) %/Tn (100 %)	
Economic (12 %)	<i>Cost</i> (100 %)	Cost of manufacturing and transportation US\$/m <sup>3</sup> (60 %)	
		Cost of emissions to the atmosphere in unit thermal energy (ETE) US\$/ ton (10 %)	
		Cost of atmospheric emissions in unitary fossil energy consumption (EFEC) US\$/ton (10 %)	
		Cost of atmospheric emissions in carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ) US\$/ton (20 %)	
Operation (48 %)	<i>Characterization</i> (40 %)	Stability N (40 %)	
		Flow mm (40 %)	

Table 3 continued from previous page

Requirements	Criteria	Indicator	Value function
		Retained resistance % (20 %)	
	<i>Deformability</i> (60 %)	Warp speeds range from 105 to 120 minutes $\mu\text{m}/\text{min}$ (15 %)	
		Resilient module Mpa (45 %)	
		Fatigue deformation (Traffic level equivalent to 750000 axes equivalent to 8.2 tons in the design lane) $\mu\text{m}/\text{min}$ (20 %)	
		Fatigue deformation (Traffic level equivalent to 2500,000 axes equivalent to 8.2 tons in the design lane) $\mu\text{m}/\text{min}$ (20 %)	

For the determination of the value function and the weight of each indicator, 35 interviews have been conducted for different specialists in land roads, builders, academics, asphalt pavement supervisors, and public agents of the asphalt technology sector.

As for the form of each value function, the nature of each indicator has been analyzed, seeking better performance in the three requirement axes: environmental, economic, and operation, *i.e.*, the responses of asphalt mixtures with lower environmental impacts, reduced costs, and increased mechanical performance.

A relative value of 65 % has been given (compaction) with respect to 35 % of manufacturing of the mixture due to the execution deficiencies that often arise at the construction site, thus promoting correct and good execution practices.

An analysis of nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) emissions has been included, as they are regarded as polluting gases that destroy stratospheric ozone. NO<sub>x</sub> in different amounts of oxygen and nitrogen are mainly formed in combustion processes at high temperatures (for example, while manufacturing asphalts) (Castillo *et al.*, 2000).

These substances are responsible for negative effects such as smog, pollution fogs, and acid rain, threatening human health and polluting the environment. Exposure to these gases causes eye irritation, long-term skin corrosion, and chronic respiratory diseases in workers.

We decided to study the effect of sulphury oxides (SO<sub>x</sub>) on the manufacture and operation of asphalt mixtures, which is produced by the combustion of coal and oil. SO<sub>x</sub> are irritating and toxic gases that affect the mucus and lungs of the operators, causing coughing, which, with prolonged periods of contact, may in turn cause bronchitis, asthma reactions, respiratory arrest, and bronchial congestion.

On the other hand, in the economic axis, a unique criterion that defines the balance of costs between both alternatives has been considered. This criterion involves the evaluation and comparison between the costs related to the manufacturing, transportation, and placement processes of both asphalt dense mixtures (hot and cold). Equivalently, the economic comparison variables between the emissions and consumption considered in the environmental requirements have been integrated.

The operation axis has been divided into two main criteria: material characterization and deformation. The former is understood as the characterization of a hot asphalt mixture (DHC) and a cold dense one (DC), which allows analyzing and evaluating parameters of stability, flow, and retained resistance. The incorporation of these variables allows determining the value index with respect to the two alternatives' performance level, which may support decision-making.

It should be noted that the evaluation of asphalt mixture stability and flow through methodological tools is limited. The MIVES methodology adopts a form of comprehensive and analytical comparison within its evaluation model. Although the increase (or reduction) in the stability of one mixture with respect to another has not been experimentally analyzed, the response has been considered satisfactory in a global context.

The requirements implied by the deformation criterion has been included, which aims to compare the theoretical basis with respect to the rigidity of the material. This study contemplates fatigue deformation at different equivalent traffic levels (for equivalent axes, *i.e.*, 750.000 and 2.500.000).

In that sense, organizing and grouping the attributes (variables) developed by the MIVES multi-criteria methodology are a process governed by analyzing the responses of each of the components selected for decision-making (in this case criteria and indicators). Such analysis represents a significant advance in analyzing variables with different origins, measuring the response in an integrated and sustainable way.

The weights of the attributes (requirements, criteria, and indicators) have been specified through the analytical hierarchy methodology (Saaty, 2017). We decided to use this methodological tool because it considers mathematical, analytical, and psychological aspects empirically contrasted with a

great deal of applications ([Hernández-Santibáñez et al., 2017](#), [Hernández-Suárez et al., 2015](#)).

The psychological basis of the AHP is oriented towards the analysis of attributes through comparisons already under study since the last century. The concept addressed by this tool assumes that the human mind makes evaluations and comparisons between two different attributes. However, when a third party or more attributes intercede, confusion of assessment arises ([Miller, 1956](#)).

Table 4 shows the numerical scale of the AHP tool, along with the verbal comparison scale and, to some extent, the appreciation of such comparison. It is important to highlight that the weights are defined between the groups with the same criteria or origin.

**Table 4.** Comparison for weight allocation according to the AHP

Numerical scale	Verbal scale	Explanation
1	Attributes with equal importance	The two attributes also contribute to the criterion
3	One attribute is moderately more important than another	Judgment and previous experience favor one attribute over the other
5	One attribute is strongly more important than another	Judgment and previous experience strongly favor one attribute over the other
7	The importance of one attribute is much stronger than that of another	An attribute dominates strongly. Its domination is proven in practice
9	Extreme importance of one attribute over that of another	One attribute dominates the other with the greatest possible order of magnitude

**Source:** Authors.

Table 5 indicates the application of the tool for the three requirements proposed for the case study. It is observed that the operation requirement represents 48% of the weight with respect to the other two pillars of the study (11,40 and 40,50). It is understood that the alternative to be evaluated must meet the functional and operation requirements before addressing environmental and economic needs.

**Table 5.** Weights of the requirements for decision-making

Requirement	Environmental	Economic	Operation	Weights (%)
Environmental	1	3	1	40
Economic	0,33	1	0.2	12
Operation	1	1	1	48

**Source:** Authors.

It is important to mention that the radius of consistency (CR) according to the matrix has been calculated at 3% (for 3 x 3 CR <5% matrices) as the main characteristic of the AHP methodology and that it serves the consistency of the values indicated. In addition to the weights obtained via the

AHP, as shown in Table 5, the rest of the indicators have been arranged in matrix form, obtaining the column vector that expresses their weights.

### Characterization of the value function

To quantify the response of each indicator, MIVES incorporates the value or utility function. Such a concept suggests the mathematical articulation shown in Equation (1). The model characterizes and converts qualitative indicators into quantitative indicators on a scale of 0 to 1 (the worse response is associated with values close to 0, and values tending towards 1 imply a high satisfaction).

The value functions used in this research paper include units associated with costs (US \$), emissions (kg/ton), energy consumption (Mj/ton), and temperatures (°C), among others, which have been converted and transferred to one-dimensional units.

The value function, specifically for the MIVES multi-criteria model, involves the characterization of five main parameters, configuring form and type according to the specific restrictions of each indicator. Four forms of the value function have been defined for this study: concave, convex, linear, and S-shaped.

This is mathematically described in Equation (1), where  $X_{\min}$  describes the axis of the abscissa, which is occasionally equal to 0; and  $P_i$  describes the slope of the value function itself.

$$V_{ind} = B * \left( 1 - e^{-K_i * \left( \frac{|X - X_{\min}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right) \quad (1)$$

For cases where the  $P_i$  parameter  $<1$ , the curve maintains a concave configuration. While for,  $P_i >1$ , the curve can take an S-shape. In cases where  $P_i = 1$ , the format is characterized linearly. Equation (1) considers other parameters such as  $C_i$  and  $K_i$ , which allow the inflection of the curve itself. Finally, the  $X_{\max}$  parameter refers to the value of the abscissa that generates a value close to 1. The B parameter is calculated by means of Equation (2).

$$B = \left( 1 - e^{-K_i * \left( \frac{|X_{\max} - X_{\min}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right)^{-1} \quad (2)$$

Table 6 illustrates the values of each value function with respect to Equations (1) and (2) of the MIVES multi-criteria model. It is understood that each of these values have been reproduced to provide the study with traceability.

Each indicator has been selected by discriminating between the alternatives considered (in this case, two types of asphalt mixtures). Likewise, indicators that do not contribute or incorporate significant difference between the solutions have not been considered.

On the other hand, manufacturing costs, emission reductions, and mechanical responses have been considered under that discriminatory plane. The characterization of the value functions has been carried out through the opinions of asphalt specialists regarding their experience, recognized values, and design regulations.

**Table 6.** Considerations of the value functions

Indicators	Xmín	Xmáx	C	K	P
Manufacturing	165	15	50	0,65	0,5
Compaction	165	15	50	0,85	1,05
Emissions to the atmosphere in units of thermal energy (ETE)	240	90	180	0,65	0,3
Emissions to the atmosphere in unitary fossil energy consumption (EFEC)	500	100	340	0,65	0,55
Emissions to the atmosphere, carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	30	8	19	0,68	0,85
Emissions to the atmosphere, NOx	0,06	0,018	0,039	0,65	0,8
Emissions to the atmosphere, SOx	0,4	0,12	0,204	0,65	0,8
Raw materials used for asphalt mixing (aggregates)	100	30	35	0,65	0,8
Cost of manufacturing and transportation	200	60	150	0,1	1
Cost of emissions to the atmosphere in units of thermal energy (ETE)	4	0,6	2,5	0,1	1
Cost of atmospheric emissions in unitary fossil energy consumption (EFEC)	6	0,7	4	0,25	1
Cost of atmospheric emissions in carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	1	0	0,6	0,09	1
Stability	15.000	4.990	11.400	0,15	0,55
Flow	4	1,8	2,46	0,1	1
Retained resistance	100	0,1	90	0,25	1
Warp speeds range from 105 to 120 minutes	30	1	18,4	2	0,45
Resilient modulus	18.000	1.000	16.000	0,5	0,35
Fatigue deformation (traffic level equivalent to 750.00 axes equivalent to 8,2 tons in the design lane)	1.300	90	937	6	1
Fatigue deformation (traffic level equivalent to 2.500.000 axes equivalent to 8,2 tons in the design lane)	1.300	50	1.050	6	1

Source: Authors.

### Performance/manufacturing temperature value function

One of the fundamental stages in the evaluation of decision-making is the configuration and selection of the curve of the value function for each of the indicators. In this study, each of the value functions has been constructed based on different assessments or aspects, such as compliance with regulations, environmental requirements, and the physical and operational performance of the different indicators analyzed.

For the manufacturing indicator corresponding to the performance temperatures criterion a value function with a decreasing curve has been suggested. Figure 3 shows that the curve guides a reduction in the manufacturing process of asphalt mixtures with different technologies.

This means that, as asphalt technology produces technological solutions with the use of lower temperatures, it has a direct impact on environmental issues, and especially on workers' health. In that sense, solutions with temperature reduction deal with an increase in the approval of the decision-maker (close to 1 in the value axis) regarding the value function.

The indicator is characterized by the parameter  $C = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , with the inflection points of the abscissa axis,  $K = 0,65$ , and the slope of the curve has been defined with  $P = 0,50$ . For  $X_{\min}$  and  $X_{\max}$ , values of 15 and 150 ( $^{\circ}\text{C}$ ) have been indicated, respectively. Importantly, the  $X_{\min}$  and  $X_{\max}$  values have been defined by two scenarios: the experience of the decision-maker and a review of international experiences of different technologies for manufacturing asphalt mixtures.

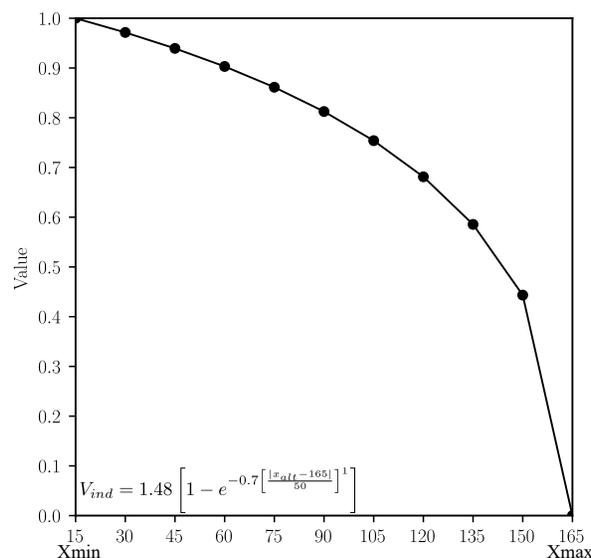


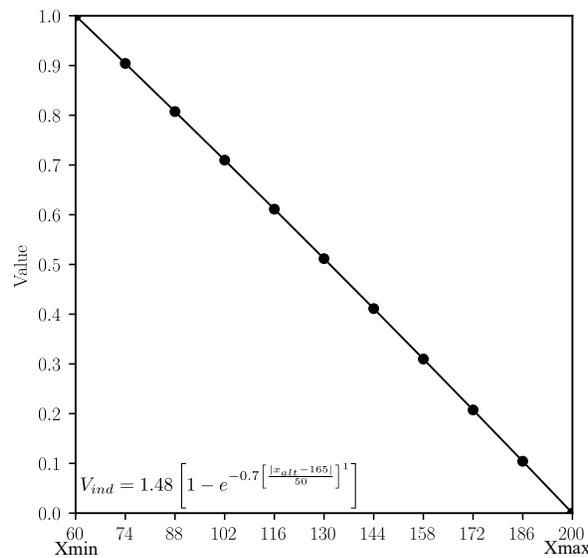
Figure 3. Value function for the performance/manufacturing temperature indicator

Source: Authors.

### Manufacturing and transportation cost value function

Depicts the indicator defined for the manufacturing (and transportation) costs of an asphalt mixture. It is understood that the indicator has been incorporated into the study given the clear possibility of different costs between the two construction alternatives.

This indicator is characterized by the value of  $C = 150,00$  (US \$/m<sup>3</sup>), as well as the inflection point  $K = 0,1$  and a proportional slope ( $p = 1$ ) in the form of a decreasing line. The treatment of this indicator attempts to reflect construction (and material) solutions with lower manufacturing and transportation costs on a regular and consistent basis.



**Figure 4.** Value function for the manufacturing and transportation cost indicator

**Source:** Authors.

In addition, the values of  $X_{\min}$  and  $X_{\max}$  have been defined as 60 and 200 US \$/m<sup>3</sup>. Such values have been established via a careful analysis of studies and projects that deal with both hot and cold dense asphalt mixtures.

It is important to highlight that all the value functions for all the indicators proposed in the decision-making tree have been characterized. Although there is the possibility of modifying the trends and shapes of the curves, the moment of each indicator has been reflected at the time of the evaluation in its three proposed axes (environmental, economic, and operation).

## RESULTS

Table 7 presents the sustainability index calculated for the two alternatives, as well as the values that reflect the performance in each requirement and each criterion. The application of the MIVES multi-criteria model guides the decision-making process according to the main pillars of sustainability.

The results obtained from this study have allowed discriminating responses in different scenarios: environmental, economic, and operation. In the same way, the model used allows reviewing the response of the studied alternative under different conditions. That means that the alternative can be evaluated from a single criterion, for example, with respect to performance temperatures or simply through the physical response of the material (deformability).

With the results obtained, a clear response of a better construction solution has been identified: the cold dense asphalt mixture, with a value index (sustainability) of 0,76 with respect to the hot solution (0,57). These results indicate that the cold asphalt mix alternative has better responses in the three axes proposed for the study (environmental, economic, and operation).

**Table 7.** Asphalt sustainability indices for each requirement and criterion evaluated

Asphalt Sustainability Index	Alternatives	
	Dense hot mix (DHD)	Dense cold mix (DC)
Each alternative	0,57	0,76
	By requirement	
Environmental	0,16	0,38
Economic	0,06	0,09
Operation	0,35	0,28
	By criterion	
Performance temperatures	0,39	0,98
Emissions	0,43	0,96
Consumes	0,36	0,92
Cost	0,52	0,8
Characterization	0,65	0,84
Deformation	0,76	0,4

Source: Authors.

With respect to the environmental axis, the DC solution has better responses in terms of reducing manufacturing and compaction temperatures with respect to DHD. Importantly, the responses obtained in each of the value functions of both alternatives had significant differences in the results of the indicators evaluated.

In addition, the variables measured with respect to the emissions of each construction solution

have important differences. The DC provides a value index close to maximum satisfaction (0,92), whereas the DHD has a value of 0,43 (on a scale of 0 to 1). In the same way, regarding consumption, the same behavior was evidenced by both construction solutions.

The results can be leveraged by a clear concern of the decision-maker to admit construction solutions, in this case of asphaltic materials, aiming for improvements in the reduction of emissions to the environment and, consequently, with regard to workers' health.

Finally, with respect to the values obtained in the axis of operation, a value of 0,29 was obtained by the DHD solution and 0,27 by DC. This indicates that both proposals represent the same technological answer regarding the speed of deformation, stability, and the resilient modulus.

## CONCLUSIONS

This research paper proposes to enhance the procedures to evaluate different technological solutions in asphalts by means of value analysis, considering the variables in an integral approach in a sustainable regime. The use of innovative evaluation structures using tools such as the MIVES methodology has allowed selecting the variables to be studied, as well as quantifying the responses of each of the indicators.

The evaluation of hot and cold dense asphalt mixtures through the MIVES multi-criteria methodology means a great methodological advance when measuring and comparing variables with different nature and units of measurement (emissions, costs, tons, *etc.*).

This study provides quantitative elements through the application of a mathematical model, with the clear objective of addressing the fundamental aspects of sustainability: economic, environmental, and social (in this case, the impact on workers' health).

The characterization and deformation of both construction solutions implies equivalent responses. However, the values obtained should be addressed in detail in other iterations with respect to the degree of deformability and fatigue deformation.

Finally, the study represents the synergy of different work areas, *i.e.*, the responses of bituminous-asphaltic materials and the characterization of such responses in a multi-criteria model. The results obtained allow for decision-making criteria to meet the implementation strategies of other technological solutions that correspond to current material performance needs with sustainable rigor.

The application of a multi-criteria model based on utility theory has been proposed, with the support of analytical hierarchy (AHP-MIVES) and value functions, which allowed comparing two solutions of dense asphalt mixtures with hot and cold alternatives.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the research grants department of the Federal University of Latin American Integration and the PIBIC Program scholarship, which have supported this project.

## REFERENCES

- [Aguado *et al.* (2012)] Aguado, A., del Caño, A., de la Cruz, M. del P., Gómez, D., & Josa, A. (2012). Sustainability assessment of concrete structures within the Spanish structural concrete code. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(2), 268-276. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000419](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000419) ↑Ver página 96
- [Aguado *et al.*, 2006] Aguado, A., Manga, R., Ormazábal, G. (2006). *La medida de la sostenibilidad en edificación industrial*. Los Autores. <https://futur.upc.edu/692739> ↑Ver página 93
- [Al-Busaltan *et al.*, 2012] Al-Busaltan, S., Al-Nageim, H., Atherton, W., & Sharples, G. (2012). Mechanical properties of an upgrading cold-mix asphalt using waste materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24(12), 1484-1491. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000540](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000540) ↑Ver página 91
- [Arroyo *et al.*, 2018] Arroyo, P., Herrera, R., Salazar, L., Giménez, Z., Martínez, J., & Calahorra, M. (2018). A new approach for integrating environmental, social, and economic factors to evaluate asphalt mixtures with and without waste tires. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(3), 301-314. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732018000300301> ↑Ver página
- [Bueche & Dumont, 2016] Bueche, N., & Dumont, A.-G., (2016) Decision aid model for asphalt mixture choice. In J.-M. Torrenti, F. La Torre (Eds.), *Materials and Infrastructures 1* (vol. 5A, pp. 75-86). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119318583.ch6> ↑Ver página
- [Bulla-García *et al.* (2017)] Bulla-García, Y. A., Rodríguez-Álvarez, A. T., & Higuera-Sandoval, C. H. (2017). Análisis comparativo de una mezcla densa en caliente MDC-19 y una mezcla densa en frío MDF-19. *Ingenio Magno*, 8(1), 20-42. Chelelgo, K., Abiero Gariy, Z. C., & Shitote, S. M. (2018). Laboratory Mix Design of Cold Bitumen Emulsion Mixtures Incorporating Reclaimed Asphalt and Virgin Aggregates. *Buildings*, 8(12), 177. <https://doi.org/10.3390/buildings8120177> ↑Ver página 91, 92
- [Casanovas, 2014] Casanovas, M. del M. (2014). *Metodología para la evaluación y seguimiento de procedimientos constructivos de forma sostenible e integrada* [Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/95596> ↑Ver página 95
- [Castillo *et al.*, 2000] Castillo, E., Acevedo, L. & Orduz, J. (2000). Perfil tecnológico ambiental de la industria de mezclas asfálticas en Colombia. *Revista ION*, 16(1), 1318. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/1318> ↑Ver página 100
- [D'Aula, 2012] D'Aula, E. (2012). *Base para un índice de calidad acústica global de la arquitectura interior: aplicación a los espacios comerciales urbanos* [Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya]. <http://www.tdx.cat/handle/10803/81117> ↑Ver página

- [De la Fuente *et al.*, 2016a] De la Fuente, A., Pons, O., Josa, A., & Aguado, A. (2016a). Multi-criteria decision making in the sustainability assessment of sewerage pipe systems. *Journal of Cleaner Production*, 112(5), 4762-4770. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.002> ↑Ver página
- [De la Fuente *et al.* (2016b)] De la Fuente, A., Armengou, J., Pons, O., & Aguado, A. (2016b). Multi-criteria decision-making model for assessing the sustainability index of wind-turbine support systems: Application to a new precast concrete alternative. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(2), 194-203. <https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1023347> ↑Ver página 96
- [De la Rosa *et al.*, 2018] De la Rosa, R. H., Alonso-Aenlle A., & Villegas-Muñoz, N. (2018). Evaluation of natural additives for warm asphalt mix. *Revista de la Construcción*, 17(2), 330-336. <https://doi.org/10.7764/RDLC.17.2.330> ↑Ver página 91
- [Del Caño *et al.*, 2012] Del Caño, A., Gómez, D., & de la Cruz, M. del P. (2012). Uncertainty analysis in the sustainable design of concrete structures: A probabilistic method. *Construction and Building Materials*, 37, 865-873. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.020> ↑Ver página
- [Gilani-Blanco & Fuente, 2017] Gilani-Blanco, A., & Fuente, A. (2017). A new sustainability assessment approach based on stakeholder's satisfaction for building façades. *Energy Procedia*, 115, 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.006> ↑Ver página
- [Hernández-Santibáñez *et al.*, 2017] Hernández-Santibáñez, M. I., Giraldo-Correa, L. F., Gaviria-Ramírez, L. A., Wilches-David, Á. 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 101
- [Hernández-Suárez *et al.*, 2015] Hernández-Suárez, C., Páez, I., Giral-Ramírez, D. A. (2015). Modelo AHP-VIKOR para handoff espectral en redes de radio cognitiva. *Revista Tecnura*, 19(45), 29-39. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a02> ↑Ver página 101
- [Hosseini Amin *et al.*, 2016] Hosseini Amin, S. M., de la Fuente, A., & Pons, O. (2016). Multicriteria decision-making method for sustainable site location of post-disaster temporary housing in urban areas. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(9), 3. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001137](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001137) ↑Ver página
- [Ledesma, 2015] Ledesma, F. R. (2015). *Análisis de costos para la toma decisiones en la industria petrolera* [Undergraduate thesis, Universidad Nacional de Cuyo]. [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/7546/ledesma-facundo.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/7546/ledesma-facundo.pdf) ↑Ver página 91

- [Mel *et al.*, 2015] Mel, J., Gómez, D., de la Cruz, P., & del Caño, A. (2015). Análisis de sensibilidad y estudio crítico del modelo de evaluación de la sostenibilidad de la Instrucción Española de Hormigón Estructural. *Informes de La Construcción*, 67(539), e106. <https://doi.org/10.3989/ic.14.126> ↑Ver página 96
- [Miller, 1956] Miller, G. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81-97. <https://doi.org/10.1037/h0043158> ↑Ver página 101
- [Ormazabal *et al.*, 2008] Ormazabal, G., Viñolas, B., & Aguado, A. (2008). Enhancing value in crucial decisions: Line 9 of the Barcelona subway. *Journal of Management in Engineering*, 24(4), 265-272. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2008\)24:4\(265\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2008)24:4(265)) ↑Ver página 95
- [Pardo-Bosch & Aguado, 2014] Pardo-Bosch, F., & Aguado, A. (2014). Investment priorities for the management of hydraulic structures. *Structure and Infrastructure Engineering*, 11(10), 1338-1351. <https://doi.org/10.1080/15732479.2014.964267> ↑Ver página 95
- [Pardo-Bosch & Aguado, 2016] Pardo-Bosch, F., & Aguado, A. (2016). Sustainability as the key to prioritize investments in public infrastructures. *Environmental Impact Assessment Review*, 60, 40-51. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.03.007> ↑Ver página 95
- [Pasha *et al.*, 2020] Pasha, A. Mansourian, A., & Ravanshadnia, M. (2020). A hybrid fuzzy multi-attribute decision making model to select road pavement type. *Soft Computing*, 24, 16635-16148. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-04928-2> ↑Ver página
- [Pérez-Acosta & Lemus-Franco, 2018] Pérez-Acosta, S., & Lemus-Franco, W. Y. (2018). *Comportamiento de una mezcla asfáltica densa en frío adicionada con partículas de policloruro de vinilo (PVC)* [Specialization thesis, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/16072> ↑Ver página 91
- [Pons & Aguado, 2012] Pons, O. & Aguado, A. (2012). Integrated value model for sustainable assessment applied to technologies used to build schools in Catalonia, Spain. *Building and Environment*, 53, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.007> ↑Ver página 95
- [Pons & de la Fuente, 2013] Pons, O. & de la Fuente, A. (2013). Integrated sustainability assessment method applied to structural concrete columns. *Construction and Building Materials*, 49, 882-893. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.009> ↑Ver página
- [Pons *et al.*, 2016] Pons, O., de la Fuente, A., & Aguado, A. (2016). The use of MIVES as a sustainability assessment MCDM method for architecture and civil engineering applications. *Sustainability*, 8(5), 460. <https://doi.org/10.3390/su8050460> ↑Ver página 95

- [Pujadas *et al.* (2017)] Pujadas, P., Pardo-Bosch, F., Aguado-Renter, A., & Aguado, A. (2017). MIVES multi-criteria approach for the evaluation, prioritization, and selection of public investment projects. A case study in the city of Barcelona. *Land Use Policy*, 64, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.014> ↑Ver página 95, 96
- [Pujadas *et al.*, 2018] Pujadas, P., Cavalaro, S. H. P., & Aguado, A. (2018). Mives multicriteria assessment of urban-pavement conditions: application to a case study in Barcelona. *Road Materials and Pavement Design*, 20(8), 1827-1843. <https://doi.org/10.1080/14680629.2018.1474788> ↑Ver página
- [Reyes *et al.*, 2014] Reyes, J. P., San-José, J. T., Cuadrado, J., & Sancibrian, R. (2014). Health & Safety criteria for determining the sustainable value of construction projects. *Safety Science*, 62, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.08.023> ↑Ver página
- [Reyes-Ortiz *et al.*, 2018] Reyes-Ortiz, Ó. J., Álvarez, A., & Valdés-Vidal, G. (2018). Evaluación mecánica de mezclas asfálticas frías fabricadas con reemplazo de llenante mineral. *Informacion Tecnológica*, 25(2), 93-102. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000200011> ↑Ver página 91
- [Rondón-Quintana *et al.*, 2010] Rondón-Quintana, H., Fernández-Gómez, W., & Castro-López, W. (2010). Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente modificada con un desecho de polietileno de baja densidad (PEBD). *Revista Ingeniería de Construcción*, 25(1), 83-94. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732010000100004> ↑Ver página 91
- [Ruiz *et al.*, 2014] Ruiz, M. P., Acevedo, P., & Puello-Méndez, J. (2014). Evaluation of the environmental impact of a dense graded hot mix asphalt (HMA). *Chemical Engineering Transactions*, 36, 229-234. <https://doi.org/10.3303/CET1436039> ↑Ver página 91
- [Santos *et al.*, 2017] Santos, J., Flintsch, G., & Ferreira, A. (2017). Environmental and economic assessment of pavement construction and management practices for enhancing pavement sustainability. *Resources, Conservation and Recycling*, 116, 15-31. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.025> ↑Ver página
- [Saaty (2004)] Saaty, T. L. (2004). Decision making – The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(1), 1-35. <https://doi.org/10.1007/s11518-006-0151-5> ↑Ver página 94
- [Saaty, 2017] Saaty, R. W. (2017). A personal view of the development of the AHP. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 9(3), 556. <https://doi.org/10.13033/ijahp.v9i3.556> ↑Ver página 100
- [San-José *et al.*, 2007] San-José, J. T., Losada, R., Cuadrado, J., & Garrucho, I. (2007). Approach to the quantification of the sustainable value in industrial buildings. *Building and Environment*, 42(11), 3916-3923. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.11.013> ↑Ver página 95

- [San-José & Cuadrado-Rojo, 2010] San-José, J. T. & Cuadrado-Rojo, J. (2010). Industrial building design stage based on a system approach to their environmental sustainability. *Construction and Building Materials*, 24(4), 438-447. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.019> ↑Ver página 95
- [Slebi-Acevedo *et al.*, 2019] Slebi-Acevedo, C., Pascual-Muñoz, P., Lastra-González, P., & Castro-Fresno, D., (2019). A multi-criteria decision-making analysis for the selection of fibers aimed at reinforcing asphalt concrete mixtures. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(6), 763-779. <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1645848> ↑Ver página
- [Viñolas *et al.*, 2009] Viñolas, B., Cortés, F., Marques, A., Josa, A., & Aguado, A. (2009, November 5-6). *MIVES: modelo integrado de valor para evaluaciones de sostenibilidad* [Conference presentation]. ICSMM II Congrés Internacional de Mesura i Modelització de La Sostenibilitat, Barcelona, Spain. <https://core.ac.uk/download/pdf/41762288.pdf> ↑Ver página 95
- [UN-CEPAL, 2018a] UN-CEPAL (2018a). *Plan de acción regional para la implementación de la nueva agenda urbana*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/42144> ↑Ver página 96
- [UN-CEPAL, 2018b] UN-CEPAL (2018b). *Segundo informe anual sobre el progreso y los desafíos regionales de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe* Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/fr/node/45972> ↑Ver página 96
- [Villegas-Flores (2009)] Villegas-Flores, N. (2009). *Análisis de valor en la toma de decisiones aplicado a carreteras* [Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93138/discover> ↑Ver página 96
- [Villegas & Parapinski dos Santos, 2013] Villegas, N., & Parapinski dos Santos, A. C. (2013). Análisis de indicadores para determinar el grado de sostenibilidad en concretos especiales. *Revista Tecnura*, 17(38), 12-25. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2013.4.a01> ↑Ver página
- [Zavadskas *et al.*, 2014] Zavadskas, E. K., Turskis, Z. & Kildiene, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165-179. <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.892037> ↑Ver página 92



## El sector de la construcción en el departamento del Cauca: ¿una locomotora de crecimiento en el corto y largo plazo?

### The construction sector in Cauca State: an economic growth locomotive in the short and long-run?

Andrés Mauricio Gómez-Sánchez <sup>1</sup>, Zoraida Ramírez-Gutiérrez <sup>2</sup>, Jorge Luis Rivadeneira-Daza <sup>3</sup>

Fecha de Recepción: 21 de julio de 2022

Fecha de Aceptación: 26 de septiembre de 2022

**Cómo citar:** Gómez-Sánchez, A.M. Ramírez-Gutiérrez, Z. y Rivadeneira-Daza, J.L. (2023). El sector de la construcción en el departamento del Cauca: ¿una locomotora de crecimiento en el corto y largo plazo? *Tecnura*, 27(75), 113-139. <https://doi.org/10.14483/22487638.18539>

## Resumen

**Contexto:** La teoría del crecimiento económico ha sostenido que el sector de la construcción es un jalonador del nivel de actividad económica a largo plazo, sobre todo en países emergentes como Colombia. Sin embargo, esta hipótesis podría no ser cierta para ciudades intermedias como Popayán, debido a que las dinámicas económicas no son semejantes a las de ciudades grandes.

**Método:** Inicialmente se implementa un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL, por su sigla en inglés) y un modelo de corrección del error vectorial (VMCE, por su sigla en inglés) para hallar la relación a largo plazo; posteriormente se utiliza un modelo de vectores autorregresivos (VAR, por su sigla en inglés) y un modelo autorregresivo con variables exógenas (VARX, por su sigla en inglés) para caracterizar la relación en el corto plazo, a través de ciclos económicos con la ayuda del filtro de Kalman.

**Resultados:** Si bien el sector de la construcción jalona la economía, como lo predijo (Currie (1993c)), esta relación para el Cauca es significativa en el corto plazo, pero no en el largo.

**Conclusiones:** Se evidencia una causalidad contraria que va desde el producto interno bruto (PIB) departamental hacia el PIB de la construcción; por tanto, se infiere que este sector no es impulsor de la actividad económica en el departamento del Cauca.

**Palabras clave:** PIB, PIB construcción, cointegración, modelos VAR, ciclos.

**Clasificación JEL:** B22, O47, C22, E32

<sup>1</sup>Economista, especialista en Gerencia de Proyectos, magíster en Economía Aplicada, doctor en Economía Industrial. Docente de la Universidad del Cauca. Popayán, Colombia. Email: [amgomez@unicauca.edu.co](mailto:amgomez@unicauca.edu.co)

<sup>2</sup>Contadora pública, especialista en Administración Financiera, magíster en Administración Económica y Financiera, magíster en Administración Especialidad Finanzas Corporativas, doctora en Contabilidad y Finanzas Corporativas. Docente de la Universidad del Cauca. Popayán, Colombia. Email: [zramirez@unicauca.edu.co](mailto:zramirez@unicauca.edu.co)

<sup>3</sup>Economista, candidato a magíster en Políticas Económicas para la Transición Global. Erasmus Mundus. Email: [rjorge@unicauca.edu.co](mailto:rjorge@unicauca.edu.co)

## Abstract

**Context:** The theory of economic growth consider that the construction sector boost the level of economic activity in the long-run, especially in emerging economies such as Colombia. Nevertheless, this hypothesis may not be true for intermediate cities such as Popayan, since the economic dynamics are not similar to those of large cities.

**Method:** Initially, an autoregressive distributed lag model (ARDL) and a vector error correction model (VMCE) are implemented to find the long-run relationship; subsequently, a vector autoregressive model (VAR) and an autoregressive model with exogenous variables (VARX) are used to characterise the relationship in the short-run by using economic cycles supported on Kalman Filter.

**Results:** The results showing although the construction sector fosters the economy as (Currie (1993c)) predicted, this relationship for State of Cauca is significant in the short-run, but not in the long-run.

**Conclusions:** As there is evidence of an opposite causality going from the state GDP to the GDP of construction, we infer that this sector is not leader in the level of economic activity in the State of Cauca.

**Keywords:** GDP, construction GDP, cointegration, VAR models, business cycles.

**JEL classification:** B22, O47, C22, E32

---

## Tabla de contenidos

	<b>Pág</b>
<b>Introducción</b>	<b>115</b>
<b>Fundamentos teóricos y empíricos</b>	<b>116</b>
<b>Fundamentos contextuales: el Cauca y el sector de la construcción</b>	<b>118</b>
<b>Metodología: modelación empírica</b>	<b>124</b>
Modelos VAR y VARX . . . . .	125
<b>Discusión de resultados</b>	<b>129</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>131</b>
<b>Financiamiento</b>	<b>132</b>
<b>Referencias</b>	<b>132</b>
<b>Apéndice</b>	<b>137</b>
Apéndice A. Test raíces unitarias y cointegración . . . . .	137
Apéndice B. Criterio de información Bayesiano de Scwhartz (SBIC) y Hannan-Quinn (HQIC)	138
Apéndice C. Estabilidad del modelo . . . . .	139

## INTRODUCCIÓN

Desde la hipótesis de Lauchlin Currie acerca del efecto jalonamiento del sector de la construcción colombiano en la década de 1960, este sector ha sido vigilado muy de cerca, no solo por su impacto directo en el producto interno bruto (PIB) y porque vincula mano de obra no calificada, sino también porque genera o promueve demandas indirectas hacia otros sectores de la economía como el sector primario, algunos bienes industriales, y sobre todo el sector financiero; esto sin considerar los impactos positivos en la población económicamente menos favorecida con la construcción de viviendas de interés social (VIS) (Gómez, 2008, Sarmiento-Rojas *et al.*, 2020, Robayo Salazar *et al.*, 2015).

A pesar de todo lo anterior, este sector recientemente ha mostrado a nivel nacional un detrimento en su impacto en el nivel de actividad económica, pasando del 8,8 % en 2005 a 5,4 % en 2019 de acuerdo con las cifras oficiales del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (Palacio León *et al.*, 2017). Según la Cámara Colombiana de la Construcción Camacol (2019), las principales razones estriban en una desaceleración de la economía colombiana durante el periodo 2008-2010, dada la crisis europea transmitida a través del mercado externo, y la caída del precio del petróleo, la cual provocó una desaceleración del crecimiento económico que afectó al sector constructor durante 2015-2018; sin embargo, en el departamento del Cauca la situación ha sido contraria, ya que la construcción ha mostrado un fortalecimiento en su aporte al PIB pasando del 3,4 % a 8,7 % en el mismo periodo.

Si se sigue la hipótesis de Currie, este sector debe entonces estar generando impactos positivos en la economía del Cauca. Sin embargo, los fenómenos que afectan los proyectos de construcción, tanto en tiempo como en costos, tales como cambios en el diseño del proyecto, fluctuaciones de la moneda, ausencia de materiales necesarios, insuficiente comunicación entre las partes involucradas (Lozano Serna *et al.*, 2018), pueden ser disímiles e impactar al sector, tanto en el futuro como de forma contemporánea o a mediano plazo. Por tal motivo, este documento tiene por objetivo indagar si efectivamente el sector de la construcción jalona en el corto y largo plazo el nivel de actividad económica en este departamento. Vale la pena mencionar que no se discrimina aquí entre la construcción de viviendas y las obras civiles.

Para lograrlo, inicialmente se caracteriza este sector a nivel local y posteriormente se implementa (después de explorar un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos, ARDL) un modelo con información trimestral desde 2005-1 a 2019-4 obtenida del DANE. Los principales resultados evidencian que en el corto plazo la construcción efectivamente jalona el PIB local, pero no existe evidencia de ello en el largo plazo. Así, al parecer no es un buen indicador líder de la economía del Cauca, pues sus impactos positivos se difuminan demasiado rápido.

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y EMPÍRICOS

Gracias a [Young \(1928\)](#), [Currie \(1993b\)](#) asevera que las economías disponen de sectores líderes, los cuales se caracterizan por tener tasas de crecimiento que sobresalen sobre el resto de los otros sectores económicos y que fluctúan de manera independiente con respecto a las tendencias generales de crecimiento. Bajo estas características, [Currie \(1993c\)](#) afirma que los sectores líderes tienen la posibilidad de lograr crecimiento económico a través del estímulo de la demanda global. Este tipo de crecimiento es logrado mediante aumentos en la demanda real. Bajo estas características, la construcción tiene la posibilidad de ser un sector líder, al anticiparse al comportamiento general de la actividad económica.

Según [Salazar \(2003\)](#) y [Montenegro \(2012\)](#), los sectores líderes tienen la cualidad de incorporar múltiples encadenamientos con distintos sectores; además, son lo suficientemente extensos como para detentar influencia sobre los índices generales de actividad económica, logrando así el cambio hacia un camino de crecimiento acelerado. En el caso de Colombia, [Currie \(1993c\)](#) manifiesta que uno de los posibles sectores líderes es el de la construcción, el cual tiene la posibilidad de generar nuevos empleos al atender una elevada demanda latente de vivienda. De esta forma, como lo recuerda [Montenegro \(2012\)](#), el sector líder provee un crecimiento acumulado y autosostenido, dado que los ingresos generados por el sector tienen la capacidad de desarrollar mercados alternos, gracias a la ampliación de los bienes y servicios demandados por otros sectores económicos.

En este sentido, el sector de la construcción puede ser una fuente de crecimiento económico. Es el caso de [Ofori \(1988\)](#), para quien, durante el periodo de 1960-1986, el sector de la construcción cumplió un papel fundamental en el crecimiento económico de Singapur, ya que le permitió a ese país encontrar un alto grado de industrialización y desarrollo.

De igual forma, [Lopes \(2009\)](#) asevera que la relevancia del sector de la construcción depende de la etapa de desarrollo del país en cuestión, ya que, en las etapas de subdesarrollo, el país experimenta una alta participación del sector de la construcción en el crecimiento económico, participación que disminuye progresivamente cuando el país alcanza altos grados de desarrollo económico. Esta característica es constatable hacia el final del periodo examinado por [Ofori \(1988\)](#).

Por otra parte, [Ruddock y Lopes \(2006\)](#) estudian el rol de la construcción sobre el crecimiento económico de 15 países del África subsahariana durante el periodo 1970-1992. Los autores encuentran un nivel crítico de valor agregado del sector de la construcción, por debajo del cual, bajas relativas en el volumen de este sector se traducen en bajas en el crecimiento del PIB per cápita; sin embargo, esto no se aplica para incrementos relativos en el volumen de la construcción. En este sentido, el papel del sector de la construcción es alto en las primeras etapas de desarrollo de un país y bajo en los puntos en los que se ha logrado un nivel de industrialización considerable.

En lo que respecta al contexto colombiano, [Santacruz \(2004\)](#) afirma que el negocio de la construcción tuvo que ser reestructurado después de la crisis del sector en 2004, cuando renació bajo nuevas

características, tales como un comprador que prioriza la calidad de la vivienda sobre la valorización del inmueble, y una demanda predominantemente urbana, concentrada en estratos medios y bajos. Por otra parte, [Ruddock y Lopes \(2006\)](#) aseveran que los niveles de construcción en un país son proporcionales a su ingreso; por esto, cuando la demanda inicial de vivienda ha sido atendida, la influencia del sector de la construcción sobre el PIB tiende a atenuarse.

[Wigren y Wilhelmsson \(2007\)](#) estudian 14 países pertenecientes a Europa del Este, y observan que diferentes tipos de construcción poseen un efecto de complementariedad entre sí. Los autores afirman que la infraestructura produce un efecto de crecimiento que se limita al corto plazo, mientras que la construcción de carácter residencial es la única con consecuencias de crecimiento económico en el largo plazo.

[Forero Cantor \(2008\)](#) analiza la matriz insumo/producto para la construcción colombiano, y encuentra que la participación del sector se ubicó en el 4,4 % a lo largo del periodo 1990-2005. De igual forma, registra que los departamentos con mayor influencia del sector de la construcción son Bogotá, Antioquia, Valle del Cauca y Santander. Por otra parte, se observa que detenta un nivel promedio mayor de salarios que los de la industria manufacturera, y que, gracias a sus múltiples encadenamientos, el sector tiene una fuerte posibilidad de influenciar el crecimiento económico.

[Wong et al. \(2008\)](#) indagan acerca del rol de la construcción sobre el crecimiento económico de Hong Kong en el periodo 1983-2006. Los autores encuentran que el sector estimula el crecimiento económico, pero no viceversa; de esta forma, se afirma que el rol de la construcción sigue una curva cóncava con respecto al crecimiento económico, con una alta participación en el crecimiento de los países en proceso de industrialización y con baja participación tanto en los países sin industrializar y en los altamente industrializados.

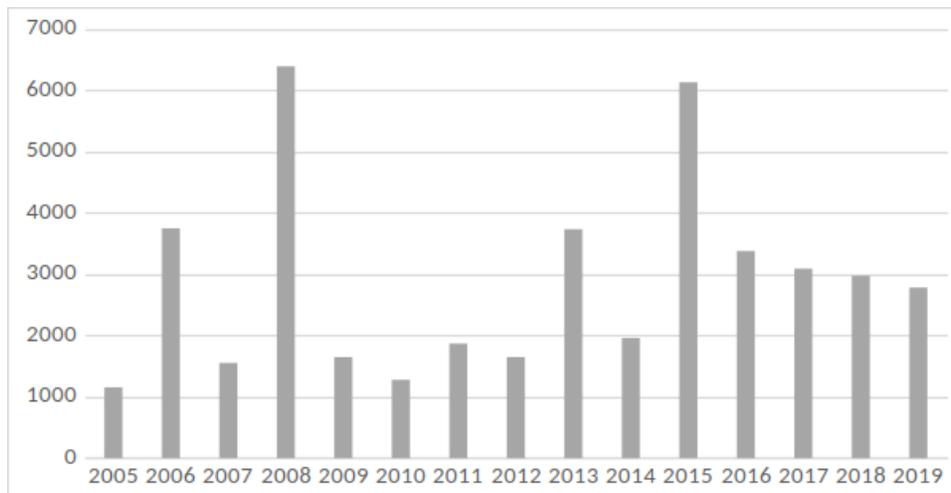
[Jackman \(2010\)](#) estudia la influencia de la construcción residencial sobre el crecimiento económico de Barbados durante el periodo 1990-2008, y reporta que tiene influencia sobre el crecimiento económico y viceversa; así pues, en periodos de expansión, los individuos tienden a construir un mayor número de viviendas que en los de recesión. La autora afirma que, dadas algunas precauciones concernientes al nivel de reservas internacionales, el sector de la construcción puede ser usado como estímulo para el crecimiento económico del país. [Ozkan et al. \(2012\)](#) estudian la influencia que tiene la construcción sobre el crecimiento económico en Turquía, y observan que la inversión en construcción no se ve afectada por *shocks* de corto plazo. Los autores afirman que, en tiempos de crisis, el sector de la construcción puede ser usado como estímulo al crecimiento económico.

Por otra parte, [Oladinrin et al. \(2012\)](#) abordan el impacto que este sector tuvo sobre el crecimiento de Nigeria en el periodo 1990-2009. Encontraron que las inversiones en este sector cumplieron un rol central, en la medida en que permitieron la creación de una infraestructura apropiada para el crecimiento económico. En este sentido, observaron que, para el caso de estudio, este sector está estrechamente relacionado con el PIB.

## FUNDAMENTOS CONTEXTUALES: EL CAUCA Y EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

Las licencias que son aprobadas para la construcción pueden ser usadas como un indicador anticipado de la demanda efectiva en este sector, debido a que, en términos generales, cada licencia es ejecutada como un proyecto de construcción. Para el caso del Cauca, la brecha entre la expedición de la licencia y el comienzo de las actividades de construcción es de seis meses, aproximadamente, mientras que, para Colombia, este tiempo está entre los dos y cuatro meses. La diferencia en los tiempos de expedición y materialización de la obra se explican por la cantidad de la documentación expedida, como los planos arquitectónicos y estructurales, además de la subestimación de los presupuestos de construcción o los trámites especiales para los proyectos que se ubican en el centro histórico de la ciudad (Gómez, 2008).

Como se observa en la figura 1, los dos años con mayor número de licencias de construcción aprobadas fueron 2008 y 2015, con un número de licencias aprobadas de 6391 y 6131, respectivamente. Por el contrario, los dos años con menor número de licencias de construcción aprobadas fueron los años de 2005 y 2010, con 1155 y 1279, respectivamente; mientras que el promedio de las aprobadas durante todo el periodo fue de 2890. La cifra que corresponde a 2008 está generada por un incremento en las licencias de vivienda de no interés social (no VIS), y las licencias de 2015 se originan por un incremento en las de vivienda de interés social (VIS).



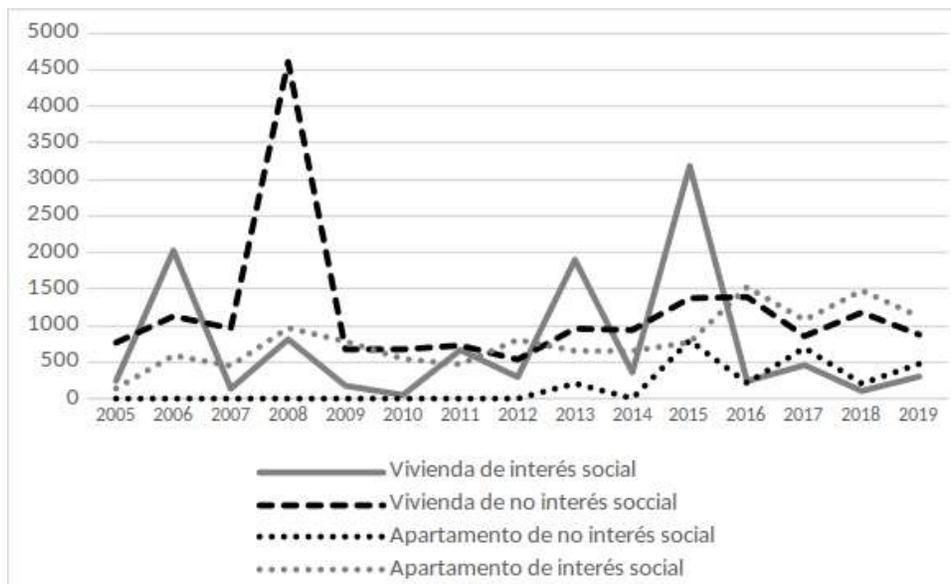
**Figura 1.** Licencias de construcción aprobadas. Cauca (2005-2019)

**Fuente:** elaborada a partir de DANE (2008).

La figura 1 evidencia un incremento sustancial previo a la recesión económica mundial en 2009, originado principalmente en la depreciación del dólar, con respecto al peso colombiano, lo cual dio

cabida al aumento de la inversión dentro de este sector, además del aumento de las obras de tipo civil en el departamento. A pesar de mostrar alguna recuperación en 2010 y 2014, su participación ya no ha sido tan elevada sobre todo en el último lustro analizado.

De acuerdo con la figura 2, la no VIS también tuvo una fuerte expansión antes de la crisis mundial de 2009 que estuvo de igual forma relacionada con la depreciación del dólar, que permitió el incremento de la inversión en el sector de la construcción, por factores como el menor precio de los insumos; adicionalmente, este evento otorgó al sector la posibilidad de aumentar el número de obras civiles en el departamento.



**Figura 2.** Tipos de licencias aprobadas por año. Cauca (2005-2019)

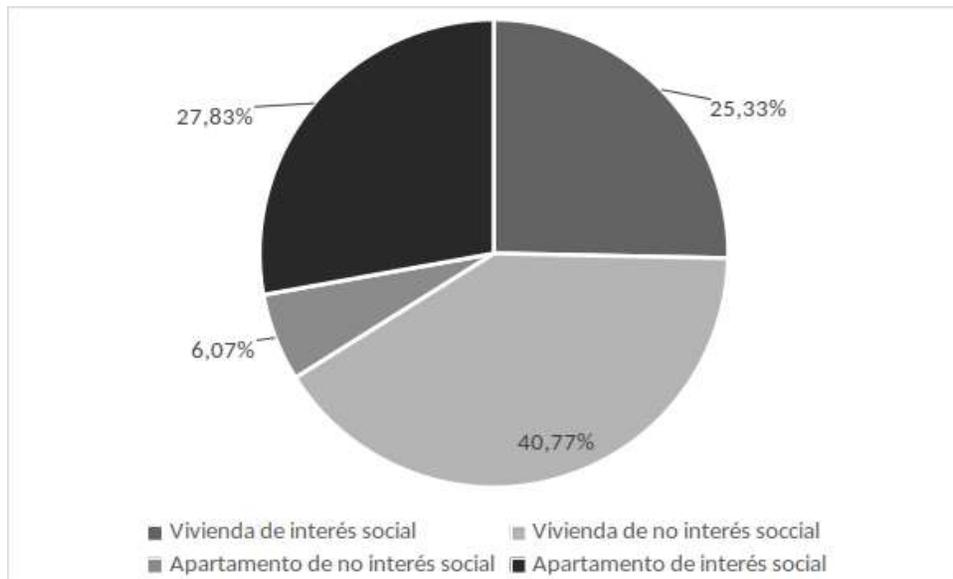
**Fuente:** elaborada a partir de [DANE \(2008\)](#).

A pesar de que este tipo de vivienda muestra cierta recuperación, su participación no ha sido tan elevada en la última década analizada. Específicamente, en 2019, tanto los apartamentos no VIS como las unidades no VIS mostraron un marcado declive, debido a una desaceleración general de la actividad económica y debilidad del comercio internacional ([Camacol \(2020\)](#)).

Por otro lado, los apartamentos no VIS han mostrado un crecimiento moderado, así pues, antes de la crisis de 2009, su participación era baja en comparación con las unidades no VIS; sin embargo, en los tres últimos años analizados los apartamentos no VIS han obtenido una participación mayor que aquella de los no VIS. Este comportamiento puede estar ligado a las perspectivas de las nuevas generaciones con respecto a la adquisición de vivienda, quienes prefieren ocupar pequeños espacios, al tener familias reducidas o unipersonales, compartir espacios de trabajo (*coworking*), realizar trabajos por cuenta propia (*freelance*), cohabitar viviendas (*coliving*) o alquilar sus espacios mediante el uso de aplicaciones (*collaborative consumer platforms*).

Para las construcciones de interés social se observa una dinámica variable con puntos altos en los años 2006, 2013 y 2015; sin embargo, con excepción de los años mencionados, la aprobación de las licencias de este tipo nunca ha sido mayor a las de las viviendas de tipo no VIS. Este hecho evidencia la variabilidad de la inversión por parte de los diferentes gobiernos departamentales, en lo que respecta a la vivienda de los sectores económicamente menos favorecidos. Finalmente, se observa que los apartamentos de interés social solo tienen una participación significativa desde 2013, la cual ha ido creciendo dada la hipótesis planteada frente a los apartamentos no VIS.

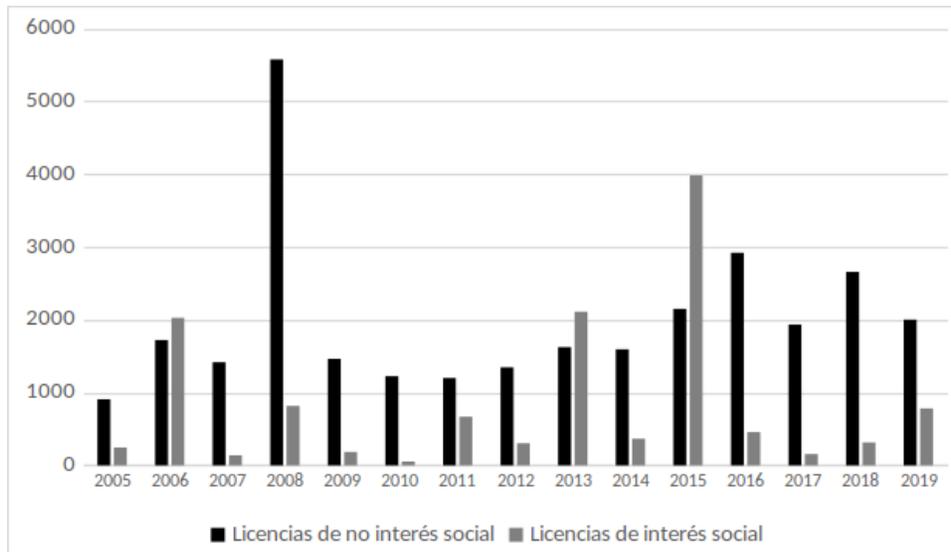
Por otro lado, la figura 3 ilustra que, dentro del número de licencias aprobadas, las que corresponden a no VIS detentan la participación mayoritaria del total de las aprobadas, con un porcentaje del 40,77 % del total; el 25,33 % y el 27,38 % corresponden, respectivamente, a las licencias de VIS y apartamentos no VIS, mientras que los apartamentos de tipo VIS obtienen la menor participación del total del periodo, con una proporción aproximada del 6 % del total de las licencias aprobadas. Bajo estas características, se observa que gran parte de las licencias aprobadas corresponden a construcción de no VIS.



**Figura 3.** Licencias de construcción aprobadas por tipo. Cauca (2005-2019)

**Fuente:** elaborada a partir de [DANE \(2008\)](#).

La figura 4 evidencia que, al discriminar entre licencias VIS y no VIS, las primeras solo superan a las segundas en 2006, 2013 y 2015. Tal hecho sugiere que el crecimiento del sector de la construcción durante el periodo estudiado está impulsado principalmente por proyectos no VIS. Adicionalmente, se observa que los esfuerzos del gobierno departamental con respecto a las viviendas y apartamentos de interés social tienen la característica de ser esporádicos, con altos picos y pronunciadas bajas durante el periodo estudiado.



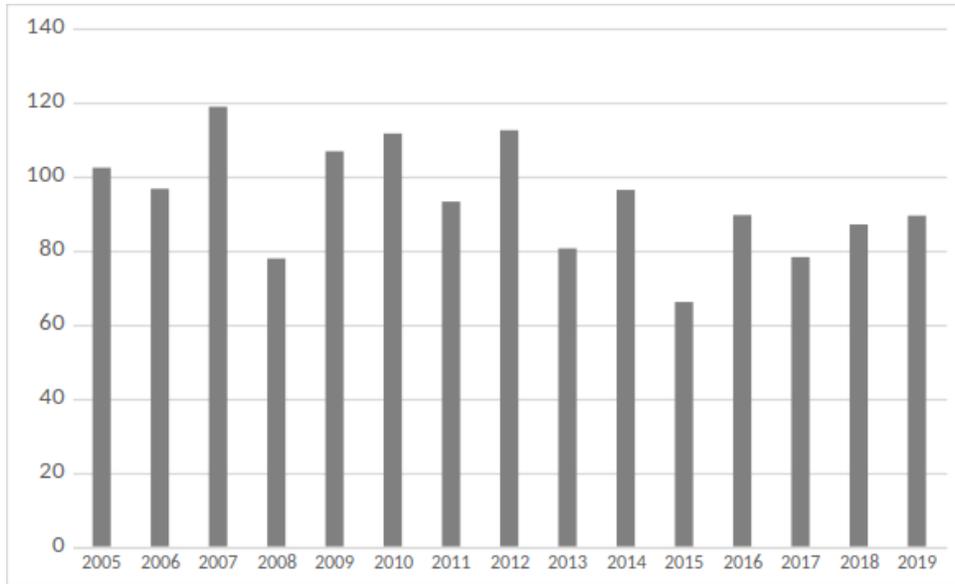
**Figura 4.** Licencias de interés y de no interés social. Cauca (2005-2019)

**Fuente:** elaborada a partir de [DANE \(2008\)](#).

La figura 5 evidencia que, al separar por área promedio construida por licencia de construcción, 2007 fue el año con la mayor área construida promedio, siendo esta de 118 m<sup>2</sup> por licencia aprobada; mientras que el año con la menor área construida por licencia fue 2015, logrando un área de tan sólo 67 m<sup>2</sup> por licencia aprobada. Esta observación es consecuente con lo observado anteriormente (ver figura 3), ya que en 2007 el tipo de licencia que predominó fue la de no VIS. Por otro lado, en 2015 el tipo de licencia mayoritaria fue la de VIS. La menor área construida cuando las licencias VIS son predominantes se explica porque una obra de tipo VIS no puede superar el monto de 135 salarios mínimos legales vigentes. Por otra parte, este indicador de área construida sugiere una medida promedio del impacto económico conseguido por los proyectos de vivienda gestionados en cada uno de los años del periodo estudiado.

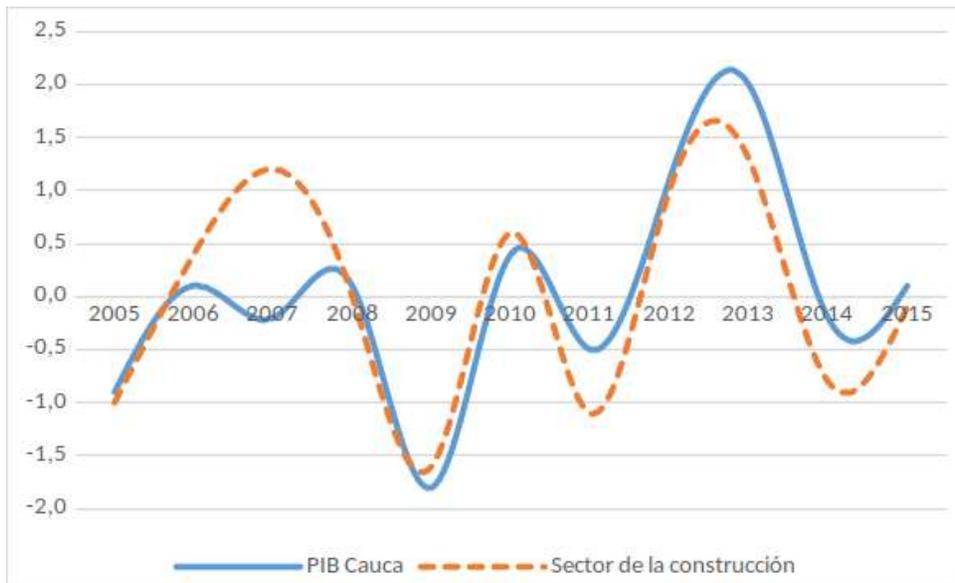
Adicionalmente, como lo ilustra la figura 6, al relacionar el crecimiento económico con el del sector constructivo, se encuentra que el crecimiento del PIB caucano está fuertemente relacionado con el del sector de la construcción, de forma que existe una correlación lineal de 0,83 entre las dos variables. Esta medida sugiere que el crecimiento económico del Cauca tiene una relación (al menos lineal) de carácter positivo con el sector de la construcción; en otras palabras, las expansiones o recesiones de la economía departamental y del sector analizado se experimentan de forma simultánea en el periodo muestral. Al ser tan solo una fracción del total de los sectores que participan en el crecimiento económico del departamento, las variaciones en el sector de la construcción representan variaciones menores para el PIB del departamento.

No obstante, la figura 7 muestra una débil correspondencia (al menos lineal) con la variación correspondiente al índice de costos de construcción de vivienda (ICCV), esto es opuesto a lo esperado,



**Figura 5.** Área promedio construida por licencia aprobada (m<sup>2</sup>)

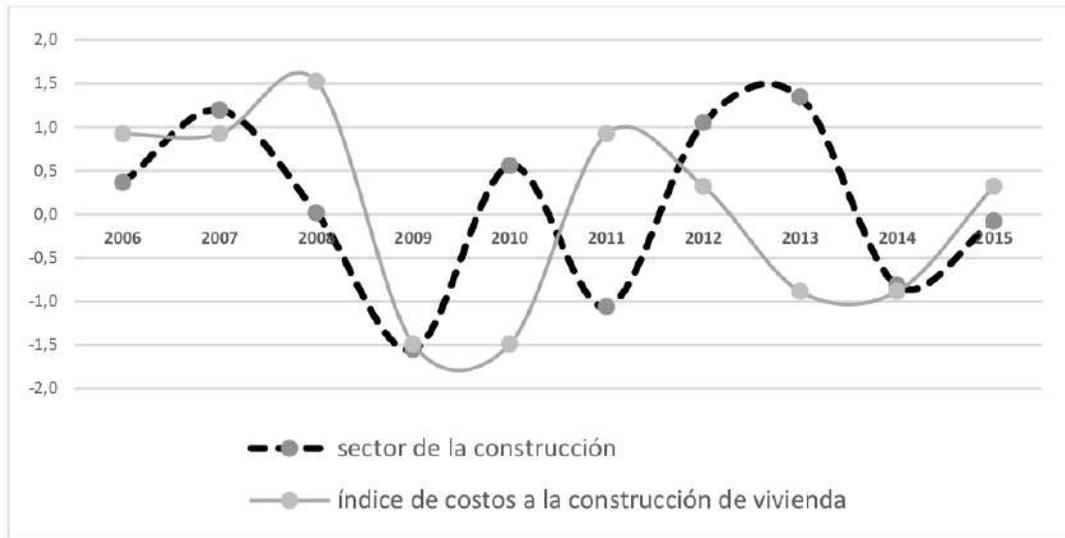
**Fuente:** elaborada a partir de [DANE \(2008\)](#).



**Figura 6.** Variación PIB del Cauca y de la construcción normalizada. Cauca (2005-2015)

**Fuente:** elaborada a partir de [DANE \(2008\)](#).

pues el indicador da cuenta del cambio en los precios de los insumos principales en la construcción. A pesar de esto, la correlación observada de 0,23 no es estadísticamente significativa, por lo que se observa que el ICCV no logra una relación estrecha con el crecimiento del sector de la construcción.



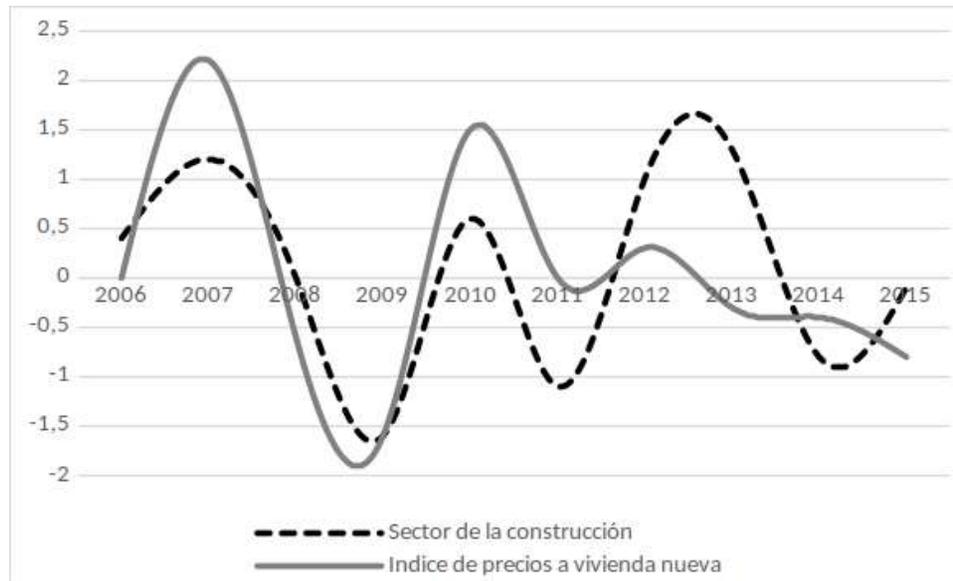
**Figura 7.** Variación del ICCV y sector de la construcción normalizado. Cauca (2006-2015)

**Fuente:** elaborada a partir de [DANE \(2008\)](#).

Sin embargo, cuando se observa la relación entre la variación del índice de precios de la vivienda nueva (IPVN) y la variación del PIB del sector de la construcción, existe una considerable correlación (al menos lineal) del IPVN y el sector de la construcción, puesto que asume un valor estadísticamente significativo de 0,63 en el periodo estudiado.

Bajo estas características, se observa que el sector de la construcción no sostiene una relación fuerte con el nivel de costos, pero sí con el de precios de la vivienda nueva; de esta forma, los constructores se ven incentivados por los cambios en los precios de la vivienda nueva, iniciando o postergando sus proyectos de construcción. Este escenario es semejante al observado por [Santacruz \(2004\)](#), quien afirma que el sector entra en crisis cuando los constructores tienen como incentivo único la valorización de los predios; no obstante, el autor asegura que el negocio de la construcción fue reestructurado y que nuevos factores, como el esquema de ventas previas, logran asegurar los ingresos del proyecto antes de su inicio.

En este sentido, es posible afirmar que el sector de la construcción evidencia un comportamiento positivo, con un crecimiento promedio del 16,6 % durante el periodo estudiado (2005-2015). Este comportamiento es acorde con el del PIB departamental. Por otra parte, se evidencia que el ICCV tiene baja influencia sobre el sector de la construcción, siendo el IPVN el factor que posiblemente ha influenciado con mayor fuerza las variaciones en el crecimiento del sector.



**Figura 8.** Variación del IPVN y sector de la construcción normalizado. Cauca (2005-2015)

**Fuente:** elaborada a partir de [DANE \(2008\)](#).

## METODOLOGÍA: MODELACIÓN EMPÍRICA

La información requerida para el modelo es obtenida de forma trimestral del DANE en el periodo 2005-1 a 2019-4, es decir hay 60 observaciones. La periodicidad anual no se tiene en cuenta debido a la escasa información que habría en el periodo 2005 a 2019. Para capturar la relación entre el PIB del Cauca y el PIB de la construcción, a corto y largo plazo, inicialmente se implementó un modelo autorregresivo de rezago distribuido (ARDL), con su representación como un modelo de corrección del error vectorial (VECM). Como este modelo permite combinar series integradas de diversos órdenes, no se implementó una prueba de raíces unitarias de forma previa. Sin embargo, la prueba de límites PSS ([Pesaran et al., 1999](#)) reveló que no existe cointegración, es decir, no hay una relación fuerte ni estable a largo plazo entre las variables bajo análisis, resultado que también fue corroborado por la prueba de cointegración de [Johansen \(1988\)](#). La estimación del modelo ARDL y del VECM no se muestra en este documento, pero está disponible bajo petición a los autores. Posteriormente se estimó la prueba de raíces unitarias Dickey-Fuller al igual que el test de Johansen en niveles. En efecto, el PIB caucano y el de la construcción son series integradas de orden 1, pero no hay evidencia de cointegración (ver apéndice A).

En este sentido, únicamente se exploró la relación a corto plazo a través de un modelo de vectores autorregresivos (VAR) sin restricciones. De otro lado, para incluir variables de control, se estima un modelo autorregresivo con variables exógenas (VARX).

## Modelos VAR y VARX

Inicialmente se obtienen los ciclos económicos tanto del PIB departamental como del de la construcción, ya que estos muestran las fluctuaciones de una serie alrededor de su tendencia a largo plazo, las cuales son atribuibles al corto plazo. Adicionalmente, siguiendo a [Novales \(2011\)](#), los modelos VAR requieren que las series sean estacionarias, y los ciclos por definición son series integradas de orden 0.

En este sentido, para obtener dichos ciclos, siguiendo a [Gómez \(2011\)](#), se extrajeron de las series en niveles las tendencias a largo plazo, a través del filtro de Kalman bajo el algoritmo Broyden Fletcher-Goldfarb-Shannov (BFGS), y por medio de una resta aritmética simple entre la serie en niveles y la tendencia, se obtuvieron los ciclos. No se utilizó el filtro de Hodrick-Prescott debido a los diferentes problemas estadísticos con esta técnica ([Misas y López-Enciso, 1998](#)). El modelo VARX se muestra en la ecuación (1), y el modelo VAR se extrae de esta misma ecuación, omitiendo el componente de las variables exógenas,  $\beta'_i \mathbf{x}_{t-1}$ .

$$\begin{pmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{1t-k} \\ y_{2t-k} \end{pmatrix} + \beta'_i \mathbf{x}_{t-1} + \begin{pmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Donde  $y_{1t}$  es el PIB del Cauca en logaritmos,  $y_{2t}$  es el PIB de la construcción. Los rezagos óptimos ( $k$ ) son extraídos a través del criterio de información bayesiano de Schwartz (BIC). Se observa que no se incluyen interceptos en el sistema de ecuaciones, ya que los ciclos por definición son I(0). De otro lado,  $x$  es un conjunto de variables exógenas expresadas en logaritmos que incluyen el ciclo de la población del Cauca (*clpob*); el ciclo de la tasa de desempleo (*cldes*); y finalmente una variable dicotómica (*crisis*) que recoge las crisis económicas ocurridas en los años 2009, 2015 y 2019, en Colombia y el Cauca.

Siguiendo a [Oglietti \(2008\)](#) y [Londoño \(2014\)](#), la población es incluida como variable que impulsa el crecimiento del sector analizado, ya que a mayor población mayor demanda por viviendas y apartamentos VIS y no VIS. En cuanto al desempleo, este es fundamental para la demanda de no VIS, ya que es una condición necesaria para el otorgamiento de créditos en las entidades financieras y, por otro lado, también lo es para programas el subsidio de VIS. Finalmente, las crisis, sobre todo las financieras a nivel mundial y del dólar a nivel nacional, han afectado de manera directa el sector ([Camacol \(2020\)](#), [Daher, 2013](#)).

Los controles de población, desempleo y crisis se rezagan un periodo para evitar problemas de simultaneidad. Vale mencionar que no se incluyen algunas de las variables analizadas previamente, como el ICCV o el IPVN, ni otras variables relacionadas con el sector (como viviendas o apartamentos no VIS y VIS), debido a la elevada colinealidad entre ellas y además porque estas variables están incluidas en el cálculo del PIB de la construcción desde la oferta y la demanda sectorial. La elección de los rezagos óptimos se realiza a través del criterio de información bayesiano de Schwartz (SBIC) y de Hannan-Quinn (HQIC). Estos indican en el apéndice B que se deben incluir dos rezagos. La tabla

1 muestra las estimaciones generales del modelo.

**Tabla 1.** Resultados modelos VAR y VARX

	VAR	VARX1	VARX2
<b><i>lpibct</i></b>			
<i>clpibc<sub>t-1</sub></i>	0,926***	0,574**	0,504**
	(0,203)	(0,237)	(0,252)
<i>clpibc<sub>t-2</sub></i>	-0,053	0,142	0,086
	(0,200)	(0,213)	(0,199)
<i>clpibcons<sub>t-1</sub></i>	0,068*	0,123***	0,142***
	(0,036)	(0,041)	(0,044)
<i>clpibcons<sub>t-2</sub></i>	-0,069*	-0,103***	-0,090***
	(0,036)	(0,037)	(0,035)
<i>clpobt</i>		-8,416	
		(5,527)	
<i>cldest</i>		-0,040**	
		(0,018)	
<i>crisist</i>		0,002	
		(0,002)	
<i>clpob<sub>t-1</sub></i>			-11,452**
			(5,715)
<i>cldes<sub>t-1</sub></i>			-0,052**
			(0,020)
<i>crisist<sub>t-1</sub></i>			-0,003
			(0,002)
<b><i>lpibconst</i></b>			
<i>clpibc<sub>t-1</sub></i>	0,133	0,604	0,403
	(1,034)	(1,285)	(1,385)
<i>clpibc<sub>t-1</sub></i>	0,287	0,139	0,382
	(1,020)	(1,154)	(1,096)
<i>clpibcons<sub>t-1</sub></i>	1,371***	1,273***	1,332***
	(0,182)	(0,223)	(0,239)
<i>clpibcons<sub>t-2</sub></i>	-0,630***	-0,594***	-0,630***
	(0,182)	(0,201)	(0,192)
<i>clpobt</i>		23,285	
		(29,93)	
<i>cldest</i>		-0,031	

**Tabla 1.** Resultados modelos VAR y VARX

	VAR	VARX1	VARX2
		(0,099)	
<i>crisist</i>		0,011	
		(0,011)	
<i>clpob<sub>t-1</sub></i>			14,693
			(31,408)
<i>cldes<sub>t-1</sub></i>			-0,014
			(0,112)
<i>crisist<sub>t-1</sub></i>			-0,010
			(0,012)
R <sub>2</sub> lpibc	0,843	0,865	0,868
R <sub>2</sub> lpibcons	0,853	0,857	0,856
P-chi2 lpibc	0,000	0,000	0,000
P-chi2 lpibcons	0,000	0,000	0,000
SBIC	-16,394	-16,906	-16,830
No. of Obs.	58,00	58,00	58,00
Log-Likelihood	327,088	341,934	339,73

**SBIC:** criterio de información bayesiano de Schwartz.

La columna 1 muestra los resultados del modelo VAR, mientras que la columna 2 hace lo propio frente al VARX. La columna 3 tiene en cuenta posibles problemas de simultaneidad y, por tanto, rezaga los controles un periodo (VARX2). En general, el sistema de ecuaciones revela un buen ajuste, ya que el R<sup>2</sup> sobrepasa el 80 % en todas las especificaciones, y los p-valores de la prueba Chi-cuadrado son iguales a cero, señalando una óptima significancia global.

En el panel superior de la tabla que corresponde a la ecuación del PIB del Cauca, los resultados muestran que, independientemente de la forma funcional adoptada, el PIB rezagado de la construcción en un periodo afecta de forma positiva al nivel de actividad económica departamental y lo hace de forma negativa en el segundo rezago. Sin embargo, en la segunda ecuación (panel inferior de la tabla) no existe evidencia de lo contrario, ya que ningún rezago del PIB caucano resulta ser estadísticamente significativo. Por tanto, se puede concluir que existe una relación de causalidad que va desde el sector de la construcción hacia el nivel de actividad económica, pero no viceversa, y lo afecta en el inmediato plazo de forma positiva; es decir, una expansión (recesión) en la construcción en el periodo previo genera una expansión (recesión) en el PIB caucano en el siguiente periodo. El signo negativo mostrado por el segundo rezago del PIB de la construcción en la primera ecuación es un resultado que llama la atención. Sin embargo, una exploración de la matriz de correlaciones y del

factor de inflacionario de la varianza (FIV), evidencia una fuerte relación lineal entre los rezagos 1 y 2 ( $r = 0,882$  y  $FIV = 4,49$ ). Esto posiblemente explique por qué hay un abrupto cambio de signo entre ellos.

Los controles relacionados con el ciclo de la población y del desempleo muestran signos negativos y significativos en la primera ecuación para la tercera forma funcional. Esto indica, como se esperaba, que el desempleo guarda una relación contracíclica no contemporánea con el nivel de actividad económica; sin embargo, llama la atención que la población reduzca el PIB. También debe advertirse que estas variables no son relevantes en la segunda ecuación para ninguna forma funcional. Para corroborar estos hallazgos, se implementa la prueba de causalidad de Granger. La tabla 2 muestra los resultados.

**Tabla 2.** Causalidad de Granger. Test de Wald

Modelo	Ecuación	Excluida	Chi-cuadrado	gl.	p-valor
VAR	<i>clpibc</i>	<i>clpibcons</i>	4,0544	2	0,132
	<i>clpibcons</i>	<i>clpibc</i>	0,5244	2	0,769
VARX1	<i>clpibc</i>	<i>clpibcons</i>	9,2913	2	0,010
	<i>clpibcons</i>	<i>clpibc</i>	0,8832	2	0,643
VARX2	<i>clpibc</i>	<i>clpibcons</i>	10,642	2	0,005
	<i>clpibcons</i>	<i>clpibc</i>	10,642	2	0,674

SBIC: criterio de información bayesiano de Schwartz.

La prueba revela que no hay ninguna causalidad en el modelo VAR, pero existe una causalidad que va desde el sector de la construcción hacia el PIB, pero no viceversa en ambos modelos VARX, lo cual está en consonancia con los resultados del modelo previo.

Finalmente, con el propósito de pronosticar lo que sucede en el tiempo con el sistema, se implementan las funciones impulso/respuesta. Debido a que las pruebas de estabilidad de los valores propios muestran que no superan el valor de la unidad, el VAR cumple con la condición de estabilidad (apéndice C). Así, las funciones impulso/respuesta permiten mostrar los efectos que sobre el ciclo caucano tienen las perturbaciones exógenas en los ciclos sectoriales y viceversa. En otras palabras, muestra los efectos temporales que tienen choques exógenos sobre las perturbaciones y por ende su propagación sobre el sistema. Vale aclarar que, si el intervalo pasa por cero, las perturbaciones no causan efectos estadísticamente significativos.

La figura 9 indica que, independientemente de la especificación del modelo, todos los choques sobre la perturbación tienen efectos positivos y estadísticamente significativos, ya que los intervalos al 90 % no incluyen el cero para algunos trimestres. En efecto, en el primer caso del modelo VAR (denominado, VAR(a)) muestra que, ante un impulso del PIB de la construcción, el PIB del Cauca

responde aumentando en el primer periodo, pero de forma tenue y su efecto se desvanece a partir del segundo trimestre, retornando a su equilibrio de largo plazo. En el VAR(b), se muestra que, ante un impulso del PIB caucano, el sector de la construcción se sale de su tendencia de largo plazo y este efecto se mantiene hasta por cinco trimestres, cuando se estabiliza en su equilibrio de largo plazo.

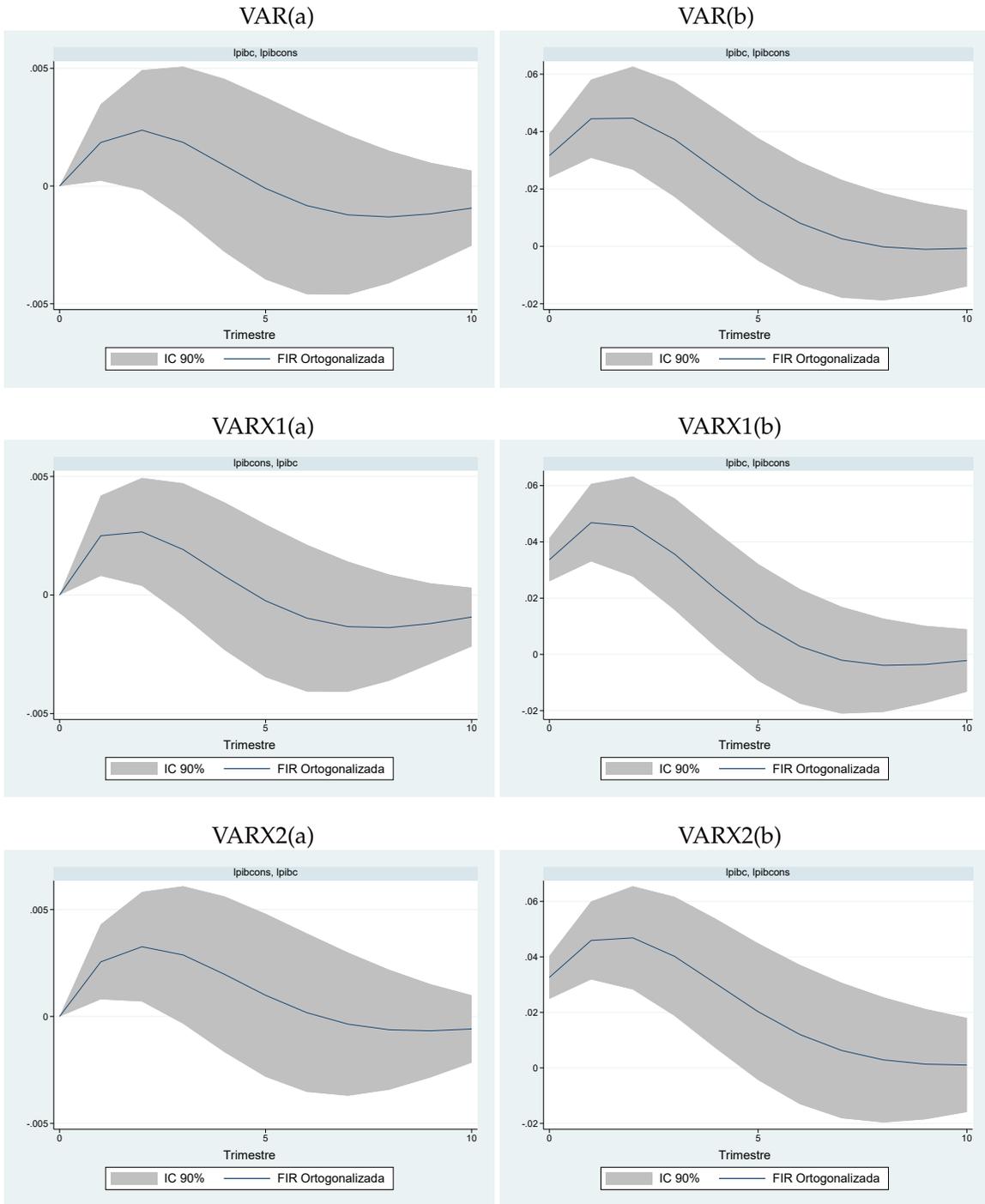
En el modelo VARX1 (a y b) como en el VARX2 (a y b) la situación es similar, pero ahora la perturbación en el PIB de la construcción causa un desvío positivo de la senda de equilibrio del PIB caucano que ya no dura uno, sino entre tres y cuatro trimestres; mientras que, ante un impulso del PIB caucano, el PIB de la construcción responde de nuevo con una desviación de su senda de equilibrio a largo plazo que tiene una duración de cinco trimestres aproximadamente.

Estos resultados están parcialmente en línea con los hallados para Ecuador ([Yagual-Velástegui et al., 2018](#)), ya que existe un efecto positivo del sector de la construcción en el PIB de ese país, pero desafortunadamente el estudio no discrimina entre el corto y largo plazo. De otro lado, cabe resaltar que los resultados de la presente investigación son más acordes con los hallados para Argentina ([Panaia, 2004](#)), donde la fragmentación del sector impide el fortalecimiento en la generación del empleo, lo que desvincula el sector de la construcción del nivel de actividad económica. En el caso de Estados Unidos, [Assaad y El-adaway \(2021\)](#) encuentran un efecto positivo del sector analizado en la economía en general, pero a diferencia de los estudios previos, lo hacen bajo la metodología de los modelos VAR, por tanto, si bien los resultados no son altamente semejantes, es el estudio más acorde para ser comparado con el presentado aquí por el método utilizado. A nivel nacional, los resultados hallados por [Becerra Grateron \(2020\)](#) en el departamento de Santander encuentran como en este documento, que existen factores que afectan de forma positiva y negativa la dinámica económica del departamento que van desde los competitivos o sociales, hasta los ambientales; sin embargo, el análisis es realizado de forma descriptiva y no estocástica, así que las comparaciones deben realizarse con precaución.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del modelo econométrico están por fuera de lo esperado. En primer lugar, la no cointegración entre el PIB departamental y el de la construcción revela la inexistencia de una relación de equilibrio estable de ambas variables económicas a largo plazo. Esta no es una buena noticia para el departamento del Cauca, toda vez que, como se estableció previamente, este sector en general jalona la economía porque incluye encadenamientos productivos con otros sectores e incluye mano de obra no calificada.

Varios podrían ser los factores que expliquen estos hechos. En general, este es un sector volátil que se encuentra expuesto a las dinámicas económicas locales, como el costo de la materia prima, la demanda previa del producto, las tasas de interés del mercado financiero, la disponibilidad de recursos financieros, las políticas de los gobiernos central y local, además de las fluctuaciones del dólar.



**Figura 9.** Funciones impulso-respuesta

**Fuente:** elaboración propia.

Específicamente, el Cauca ha mostrado tasas de desempleo muy elevadas en el país, las cuales superan en el nuevo milenio los dos dígitos, excepto entre 2016 y 2018, de acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Esto tiene un doble efecto lesivo. Como se mencionó, desincentiva la demanda de VIS y no VIS, ya que estar empleado es condición para adquirir créditos financieros y para acceder a subsidios; y, por otro lado, no se emplea mano de obra no calificada la cual tiene una relación estrecha con la informalidad, la cual alcanza en Popayán el 54,6 % en 2018.

También existen otros inconvenientes de carácter burocrático local, con la existencia de fuertes restricciones a la construcción en el centro histórico de la capital departamental (Popayán), la cual debe cumplir con diferentes especificaciones, como fachadas blancas, letras doradas, no pasar de determinado número de pisos y, aún más crítico, pasar la evaluación de la Junta Departamental de Patrimonio, encargada de expedir un concepto que es requisito para iniciar el trámite en la curaduría urbana; y a su vez vela porque se cumpla la normatividad del sector y que esta sea coherente con el desarrollo físico y urbano de la capital. En efecto, como lo señala Buitrago-Campos (2016), en Popayán se encuentra una reglamentación patrimonial conservacionista, que limita las dinámicas de construcción a diferencia de ciudades coloniales como Pasto o Tunja.

## CONCLUSIONES

Esta investigación tiene por objetivo examinar si el sector de la construcción es un jalonador del nivel de actividad económica en el departamento del Cauca (Colombia), tanto en el corto como en el largo plazo. Para ello se vale de un conjunto de herramientas econométricas que van desde la implementación de un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL, por su sigla en inglés), hasta un modelo autorregresivo con variables exógenas (VARX, por su sigla en inglés), pasando por análisis de cointegración. Los resultados muestran que, si bien el sector de la construcción jalona la economía, este vínculo para el Cauca es significativo en el corto, pero no en el largo plazo.

Esto permite concluir que los encadenamientos productivos sectoriales que se esperan del sector suceden de forma momentánea en este departamento (alrededor de tres trimestres) y no de forma permanente o continúa, como lo predice la literatura relacionada en cabeza de Currie (1993c). En otras palabras, los choques en el sector de la construcción tienen impactos positivos que sacan a la economía de su senda de equilibrio a largo plazo, pero se disipan muy rápido, ya que el efecto se siente de forma positiva en el primer trimestre y a partir de allí hasta el quinto comienza de nuevo a retornar al equilibrio. Esto posiblemente obedezca a la volatilidad del sector y a las características de la economía del Cauca.

De otro lado, la causalidad inversa, es decir que el producto interno bruto (PIB) también afecta la dinámica del sector, se traduce en que otros factores propios de la dinámica económica departamental pueden llegar a impulsar o lesionar la evolución del sector a corto plazo. Esto podría ser una ventaja, pero también una desventaja, toda vez que los ciclos económicos del PIB en el departamento del

Cauca tienen una periodicidad demasiado corta; es decir, entran en recesiones y expansiones con una frecuencia mucho más rápida que los mostrados en promedio por otras regiones o a nivel nacional.

Con todo lo anterior, no se podría catalogar al sector de la construcción caucano como un indicador líder de la economía departamental, como se insiste en algunos espacios a nivel local. En otras palabras, este sector no lidera el crecimiento del resto de sectores de la economía del departamento; por tanto, no es conveniente utilizarlo como un pronosticador del nivel futuro de la actividad económica del departamento, ante la ausencia de cifras actualizadas del PIB por parte del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), que permita tomar mejores decisiones socioeconómicas en medio de la incertidumbre. Otros sectores podrían liderar la economía este departamento, por ejemplo, siguiendo a [Gómez et al. \(2016\)](#), un sector con estas características podría ser el de servicios. En este sentido, se recomienda implementar políticas nacionales y locales que eliminen o atenúen la volatilidad del sector, tales como extender la caducidad de los permisos de construcción, la flexibilización de las normas de construcción sobre todo en la ciudad de Popayán, que es donde se presenta el mayor número de otorgamiento de licencias, coberturas de subsidio a la tasa de interés para vivienda nueva por parte del Ministerio de Hacienda o la Gobernación, extensión del número de años para el pago por vivienda nueva, entre otras.

Finalmente, cabe mencionar que el objeto de estudio de esta investigación podría ser profundizado, teniendo en cuenta las complementariedades existentes entre el sector de la construcción y otros sectores como el minero, como sucede en el departamento de Antioquía, donde el aprovechamiento de sus residuos sirve al sector de la construcción (en la fabricación de morteros de revoque y mezclas de concreto) y lo afectan de forma positiva ([Arias Torres et al., 2021](#)).

## FINANCIAMIENTO

Esta es una investigación gestada, diseñada y ejecutada en la Universidad del Cauca, financiada con recursos propios.

## REFERENCIAS

- [Arias Torres et al., 2021] Arias Torres, S. M., Córdova Castro, J. D. y Gómez Botero, M. A. (2021). Alternativas de aprovechamiento de residuos de la industria minera del bajo Cauca antioqueño en el sector de la construcción. *Revista EIA*, 18(36), Reia36004, 1-12. <https://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/1496>. ↑Ver página 132
- [Assaad y El-adaway (2021)] Assaad, R. y El-adaway, I. H. (2021). Impact of dynamic workforce and workplace variables on the productivity of the construction industry: New gross construction productivity indicator. *Journal of Management in Engineering*, 37(1), 04020092. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000862](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000862) ↑Ver página 129

- [Becerra Grateron (2020)] Becerra Grateron, J. A. (2020). *Impacto del subsector de la construcción en el desarrollo económico en el departamento de Santander (2009-2019)*. Unidades Tecnológicas de Santander. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/3612>. ↑Ver página 129
- [Buitrago-Campos, 2016] Buitrago-Campos, L. (2016). Conservar o renovar: dinámicas de construcción en el centro histórico de tres ciudades intermedias patrimoniales. Una mirada a través de las licencias urbanísticas. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 18(2), 40-49. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2016.18.2.4>. ↑Ver página
- [Camacol (2019)] Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol). (2019). *La importancia de los encadenamientos productivos en el sector de la construcción*. <https://elatesa.com/la-importancia-de-los-circuitos-impresos-en-el-sector-de-la-domotica/>. ↑Ver página 115
- [Camacol (2020)] Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol). (2020). *Los pasos hacia la reactivación de la economía colombiana*. Informe Económico 109. <https://camacol.co/descargable/los-pasos-hacia-la-reactivacion-de-la-economia-colombiana>. ↑Ver página 119, 125
- [Currie (1993a)] Currie, L. (1993a). La teoría en que se basa la estrategia del sector líder. *Cuadernos de Economía*, 12(18-19), 225-230. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ceconomia/article/view/26469>. ↑Ver página
- [Currie (1993b)] Currie, L. (1993b). Allyn Young y el desarrollo de la teoría del crecimiento. *Cuadernos de Economía*, 13(18-19), 207-221. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ceconomia/article/view/26468>. ↑Ver página 116
- [Currie (1993c)] Currie, L. (1993c). Los objetivos del desarrollo. *Cuadernos de Economía*, 13(18-19), 163-188. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ceconomia/article/view/26272>. ↑Ver página 113, 114, 116, 131
- [Daher, 2013] Daher, A. (2013). El sector inmobiliario y las crisis económicas. *Eure (Santiago)*, 39(118), 47-76. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612013000300003>. ↑Ver página 125
- [DANE (2008)] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2008). *Estadísticas sector construcción. Cauca. Colombia*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion>. ↑Ver página 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124
- [Forero Cantor (2008)] Forero Cantor, G. A. (2008). Impacto de la construcción de vivienda en Colombia 1990-2005. Una aproximación desde la metodología insumo producto. *Equidad y Desarrollo*, (10), 25-46. <https://doi.org/10.19052/ed.264> ↑Ver página 117

- [Gómez, 2008] Gómez, M. (2008). *Análisis del sector de la construcción en Popayán y el Cauca 2008*. Una mirada de mediano y largo Plazo. Cámara de Comercio del Cauca. <https://www.cccauca.org.co/sites/default/files/imagenes/analisis-sector-construccion-informe.pdf>. ↑Ver página 115, 118
- [Gómez (2011)] Gómez, M. (2011). Análisis de la interdependencia de los ciclos económicos del Cauca y el suroccidente colombiano: una aproximación econométrica desde los filtros de Kalman y Hodrick-Prescott. *Estudios Gerenciales*, 27(21), 115-141. [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(11\)70184-X](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(11)70184-X) ↑Ver página 125
- [Gómez et al. (2016)] Gómez Sánchez, A. M., Sarmiento Castillo, J. I. y Fajardo Hoyos, C. L. (2016). Indicador global adelantado de corto y largo plazo para la economía del Cauca 1960-2014. *Apuntes del Cenes*, 35(62), 209-244. <https://doi.org/10.19053/22565779.5231> ↑Ver página 132
- [Jackman (2010)] Jackman, M. (2010). Investigating the relationship between residential construction and economic growth in a Small developing country: The case of Barbados. *International Real Estate Review*, 13(1), 109-116. <https://bit.ly/37BPajD>. <https://doi.org/10.53383/100121> ↑Ver página 117
- [Johansen (1988)] Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12, 231-254. [https://doi.org/10.1016/0165-1889\(88\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0165-1889(88)90041-3) ↑Ver página 124
- [Lopes (2009)] Lopes, J. (2009). Investment in construction and economic growth: A long term perspective. En Ruddock, L. *Economics for the Modern Built Environment* (pp. 94-112). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203938577.ch5> ↑Ver página 116
- [Londoño (2014)] Londoño T., C. M. (2014). La demanda agregada y el crecimiento económico colombiano: 2010-2013. *Perfil de Coyuntura Económica*, (22), 39-54. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/coyuntura/article/view/20530>. ↑Ver página 125
- [Lozano Serna et al., 2018] Lozano Serna, S., Patiño Galindo, I., Gómez-Cabrera, A. y Torres, A. (2018). Identificación de factores que generan diferencias de tiempo y costos en proyectos de construcción en Colombia. *Ingeniería y Ciencia*, 14(27), 117-151. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.14.27.6> ↑Ver página 115
- [Misas y López-Enciso, 1998] Misas, M. y López-Enciso, E. A. (1998). El producto potencial en Colombia: una estimación bajo VAR estructural. *Borradores de Economía*, 94. <https://doi.org/10.32468/be.94> ↑Ver página 125
- [Montenegro (2012)] Montenegro, Á. (2012). Lauchlin Currie: desarrollo y crecimiento económico. *Revista de Economía Institucional*, 14(27), 81-97. <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/ecoins/article/view/3279>. ↑Ver página 116

- [Novales (2011)] Novales, A. (2011). *Modelos vectoriales autorregresivos (VAR)*. Universidad Complutense. ↑Ver página 125
- [Ofori (1988)] Ofori, G. (1988). Construction industry and economic growth in Singapore. *Construction Management and Economics*, 6(1), 57-70. <https://doi.org/10.1080/01446198800000007> ↑Ver página 116
- [Oglietti (2008)] Oglietti, G. C. (2008). *Demanda y crecimiento económico*. Universitat Autònoma de Barcelona. <https://www.tdx.cat/handle/10803/4009>. ↑Ver página 125
- [Oladinrin *et al.* (2012)] Oladinrin, T., Ogunsemi, D. y Aje, I. (2012). Role of construction sector in economic growth: Empirical evidence from Nigeria. *Journal of the Environment*, 7(1), 50-60. <https://doi.org/10.4314/fje.v7i1.4> ↑Ver página 117
- [Ozkan *et al.* (2012)] Ozkan, A., Kinney, K., Katz, L. y Berberoglu, H. (2012). Reduction of water and energy requirement of algae cultivation using an algae biofilm photobioreactor. *Bioresource Technology*, 114, 542-548. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.055>. ↑Ver página 117
- [Palacio León *et al.*, 2017] Palacio León, O., Chávez Porras, A. y Velásquez Castiblanco, Y. L. (2017). Evaluación y comparación del análisis granulométrico obtenido de agregados naturales y reciclados. *Tecnura*, 21(53), 96-106. <https://doi.org/10.14483/22487638.8195> ↑Ver página 115
- [Panaia, 2004] Panaia, M. (2004). *El sector de la construcción: un proceso de industrialización inconcluso*. Nobuko. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=e21CEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&ots=\\_08Hckm6bK&sig=JNa0A6\\_BuwUv5UALk6EVNnUezI0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=e21CEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&ots=_08Hckm6bK&sig=JNa0A6_BuwUv5UALk6EVNnUezI0#v=onepage&q&f=false). ↑Ver página 129
- [Pesaran *et al.*, 1999] Pesaran, M. H., Shin, Y. y Smith, R. P. (1999). Pooled mean group estimation of dynamic heterogeneous panels. *Journal of the American Statistical Association*, 94(446), 621-634. <https://doi.org/10.2307/2670182> ↑Ver página 124
- [Robayo Salazar *et al.*, 2015] Robayo Salazar, R. A., Matthey Centeno, P. E., Silva Urrego, Y. F., Burgos Galindo, D. M. y Delvasto Arjona, S. (2015). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento. *Tecnura*, 19(44), 157-170. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a12>. ↑Ver página 115
- [Ruddock y Lopes (2006)] Ruddock, L. y Lopes, J. (2006). The construction sector and economic development: The “Bon curve.” *Construction Management and Economics*, 24(7), 717-723. <https://doi.org/10.1080/01446190500435218>. ↑Ver página 116, 117
- [Salazar (2003)] Salazar, B. (2003). Currie y Colombia: el asesor que vino de lejos. *Estudios Gerenciales*, (86), 63-78. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2003.106>. ↑Ver página 116

- [Santacruz (2004)] Santacruz, A. (2004). Un nuevo esquema del negocio de la construcción basado en las lecciones que dejó la crisis. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, XII(1), 9-23. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90921101>. ↑Ver página 116, 123
- [Sarmiento-Rojas *et al.*, 2020] Sarmiento-Rojas, J.-A., González-Sanabria, J. S. y Hernández Carrillo, H. C. (2020). Analysis of the impact of the construction sector on Colombian economy. *Tecnura*, 24(66), 109-118. <https://doi.org/10.14483/22487638.16194>. ↑Ver página 115
- [Wigren y Wilhelmsson (2007)] Wigren, R. y Wilhelmsson, M. (2007). Construction investments and economic growth in Western Europe. *Journal of Policy Modeling*, 29(3), 439-451. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2006.10.001> ↑Ver página 117
- [Wong *et al.* (2008)] Wong, J. M. W., Chiang, Y. H. y Ng, T. S. (2008). Construction and economic development: The case of Hong Kong. *Construction Management and Economics*, 26(8), 815-826. <https://doi.org/10.1080/01446190802189927> ↑Ver página 117
- [Yagual-Velástegui *et al.*, 2018] Yagual-Velástegui, A. M., Lopez-Franco, M. L., Sánchez-León, L. y Narváez-Cumbicos, J. G. (2018). La contribución del sector de la construcción sobre el producto interno bruto PIB en Ecuador. *Revista Lasallista de Investigación*, 15(2), 286-299. <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2321/1/1870-210210875-1-PB.pdf>. <https://doi.org/10.22507/rli.v15n2a22> ↑Ver página 129
- [Young (1928)] Young, A. A. (1928). Increasing returns and economic progress. *The Economic Journal*, 38(152), 527-542. <https://doi.org/10.2307/2749857> ↑Ver página 116

## APÉNDICE

### Apéndice A. Test raíces unitarias y cointegración

**Tabla A1.** Test Dickey-Fuller

	Constante		Constante y tendencia	
	Z(t)	p-valor	Z(t)	p-valor
<i>lpibc</i>	-2,223	0,1979	-0,160	0,992
<i>d,lpibc</i>	-4,538	0,0002	-4,702	0,000
<i>lpibcons</i>	-2,372	0,1497	-0,962	0,949
<i>d,lpibcons</i>	-3,973	0,0016	-4,169	0,005

**Tabla A2.** Test de Johansen

Max. Rank.	Parms	LL	Eigenvalue	Trace statistic	Critical value (5 %)
0	6	310,465	,	13,295*	15,41
1	9	316,598	0,1906	1,028	3,76
2	10	317,112	0,0175		
Max. Rank.	Parms	LL	Eigenvalue	Max. statistic	Critical value (5 %)
0	6	310,465	,	12,266	14,07
1	9	316,598	0,1906	1,0289	3,76
2	10	317,112	0,0175		

**Nota:** el panel inferior corresponde a la prueba del máximo valor propio.

**Apéndice B. Criterio de información Bayesiano de Schwartz (SBIC) y Hannan-Quinn (HQIC)**

lag	LL	LR	df	p	HQIC	SBIC
0	75,4682	0,000203	-2,8257	-2,796		
1	269,711	388,49	4	0,000	-10,0564	-9,91760
2	283,482	27,542	4	0,000	-10,3747*	-10,1433*
3	287,959	8,9535	4	0,062	-10,3355	-10,0116
4	288,584	1,2508	4	0,870	-10,1482	-9,73167
5	292,899	8,6289	4	0,071	-10,1027	-9,59366
6	303,282	20,765*	4	0,000	-10,2906	-9,68906
7	304,558	2,5517	4	0,635	-10,1283	-9,43419
8	305,250	1,3846	4	0,847	-9,94357	-9,15687

### Apéndice C. Estabilidad del modelo

Eigenvalues		Modulus
<b>VAR</b>		
0,829196		0,829196
0,678594	+0,3401182i	0,759059
0,678594	-0,3401182i	0,759059
0,110825		0,110826
<b>VARX1</b>		
0,660975	+0,326899i	0,737395
0,660975	-0,326899i	0,737395
0,707359		0,707361
-0,182112		0,182112
<b>VARX2</b>		
0,629927	+0,2772046i	0,688223
0,629927	-0,2772046i	0,688223
0,640301		0,640302
-0,064719		0,064719



## La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI

### Applied research and experimental development in strengthening the competences of the 21st century society

John Jairo Castro Maldonado <sup>1</sup>, Leidy Katherine Gómez Macho <sup>2</sup>, Esperanza Camargo Casallas <sup>3</sup>

Fecha de Recepción: 08 de julio de 2022

Fecha de Aceptación: 26 de septiembre de 2022

**Cómo citar:** Castro-Maldonado., J.J. Gómez-Macho., L.K. y Camargo-Casallas., E. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140-174. <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>

## Resumen

**Objetivo:** Identificar el estado actual del conocimiento de los conceptos relacionados con los procesos de investigación, investigación aplicada, desarrollo tecnológico, desarrollo experimental e innovación, y su relación con la formación, con el fin de obtener o fortalecer competencias pertinentes demandadas por la actual sociedad de la información y el conocimiento. Para ello, se analizan las diferentes definiciones respecto a competencia y su aplicación en los actuales procesos educativos en el entorno de una sociedad globalizada e interconectada.

**Metodología:** Según el planteamiento propuesto por Jackeline Hurtado de Barrera desde la óptica de la investigación holística, la presente investigación se enmarca como un trabajo descriptivo, de tipo documental, transaccional, multivariable, no experimental y de corte cualitativo. Se aplicó la técnica de revisión documental y los instrumentos, matriz de análisis y registro de fuentes.

Para el desarrollo de esta investigación se realizó una revisión sistemática mediante la búsqueda en diferentes bases de datos y fuentes de información de carácter científico y académico, en donde se aplicaron palabras claves y conectores booleanos para la adecuada segmentación y recopilación de información durante el periodo 2015-2022.

Del mismo modo, en este trabajo se realizaron dos tipos de análisis: uno orientado a la coocurrencia de palabras y el otro de coautoría de los países de filiación de los autores a través del *software VOSViewer*.

**Resultados:** Se identificó que tanto los conceptos sobre investigación aplicada y desarrollo experimental, como los asociados a competencias tienen diversas características y enfoques de análisis; estos pueden ir desde un punto de vista empresarial pasando por el académico, y hasta el más humanista. Todo redonda en proponer definiciones estructuradas que fortalecen el conocimiento de las interacciones complejas del sujeto con el objeto y cómo, desde esas interacciones, el sujeto puede mejorar su contexto.

<sup>1</sup>Estudiante de Doctorado en Educación, magíster en Controles Industriales, magíster en Ciencia y Tecnología de Materiales, especialista en Práctica Pedagógica Universitaria. Ingeniero electromecánico. Instructor del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Universidad Benito Juárez - México. Medellín, Colombia. Email: [jcastrom@sena.edu.co](mailto:jcastrom@sena.edu.co)

<sup>2</sup>Tecnóloga en Gestión de Proyectos Económicos y Sociales, abogada, egresada del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) Regional Antioquia, Medellín, Colombia. Email: [abogadalady@gmail.com](mailto:abogadalady@gmail.com)

<sup>3</sup>Doctora en Ingeniería, especialista en Instrumentación Electrónica, ingeniera en Control Electrónico e Instrumentación. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Email: [ecamargoc@unidistrital.edu.co](mailto:ecamargoc@unidistrital.edu.co)

**Conclusiones:** Se pudo identificar que el aporte de las actividades de investigación aplicada y desarrollo experimental a través de procesos educativos orientados a la investigación formativa pueden fortalecer las competencias que demanda la actual sociedad la información y el conocimiento, desde diferentes dimensiones; es decir, desde las competencias genéricas conformadas por las básicas y transversales, hasta las específicas enmarcadas por las técnicas, relacionadas concretamente a su área de formación.

**Palabras clave:** competencias, sociedad de la información y el conocimiento, investigación aplicada, desarrollo experimental

---

## Abstract

**Objective:** To identify the current state of knowledge regarding the concepts related to research processes, applied research, technological development, experimental development and innovation and its relationship with training processes, in order to obtain and/or strengthen relevant skills. demanded by the current information and knowledge society, for this, it also deepens and analyzes the different definitions that are found regarding competence and its application in current educational processes in the environment of a globalized and interconnected society.

**Methodology:** The research, according to the approach given by Jacqueline Hurtado de Barrera from the perspective of the holistic research methodology, is proposed from a descriptive work, with a design, according to the origin of the data, of a documentary type, according to the temporality of the study, it is framed as transactional, likewise, according to the criterion of breadth of focus, it is considered multivariable and according to the criterion of data manipulation, it would be non-experimental, likewise, the approach is qualitative, applying the documentary review technique and the instrument, analysis matrix and sources registry.

For the development of this research, a systematic review was carried out based on the search in different databases and sources of information of a scientific and academic nature, where keywords and Boolean connectors were applied for their adequate segmentation and collection of information during the window. of observation from 2015 to 2022.

In the same way, in this work two types of analysis were carried out, one oriented to the co-occurrence of words and the other to co-authorship of the countries of affiliation of the authors through the VOSViewer software.

**Results:** It was identified that both the concepts related to applied research and experimental development and those related to competencies have different characteristics and approaches according to the perspective being analyzed, which can range from a business point of view through a academic perspective and ending with a more humanistic look, everything results in proposing structured definitions that strengthen the knowledge of the complex interactions of the subject with the object and how from these interactions, the subject can improve its context.

**Conclusions:** It was possible to identify that the contribution of applied research activities and experimental development through educational processes oriented to formative research can strengthen the skills demanded by the current society, information and knowledge from different dimensions, that is, from the generic competencies made up of basic competencies and transversal competencies up to specific competencies framed mainly by technical competencies specifically related to their area of training.

**Keywords:** Skill, information and knowledge society, applied research, experimental development

---

## Tabla de contenido

	<b>Pág</b>
<b>Introducción</b>	<b>142</b>
<b>Metodología</b>	<b>143</b>
Investigación . . . . .	145
Investigación aplicada . . . . .	150
La investigación y el desarrollo experimental . . . . .	151
El término I+D engloba tres actividades . . . . .	152
Investigación básica . . . . .	152
Investigación aplicada . . . . .	152
El desarrollo experimental . . . . .	152
La investigación y la educación . . . . .	152
Competencias . . . . .	153
Competencias básicas, transversales y específicas . . . . .	154
Competencias básicas . . . . .	154
Competencias transversales . . . . .	156
Competencias específicas . . . . .	156
Competencias blandas y duras . . . . .	157
Las competencias y la educación . . . . .	157
Educación basada en competencias en la educación universitaria . . . . .	159
Competencias de la sociedad de la información y conocimiento . . . . .	162
<b>Conclusiones</b>	<b>163</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>166</b>
<b>Referencias</b>	<b>166</b>

## INTRODUCCIÓN

Durante el transcurso de la historia, el ser humano ha desarrollado constantemente competencias interdisciplinarias orientadas a la transformación del entorno; en ese sentido, diferentes expresiones de civilización han empleado habilidades investigativas y experimentales, incluso han incorporado en su cotidianidad principios y leyes naturales, para adaptar procesos y estrategias orientadas a mejorar la calidad de vida, y el bienestar individual y general. Esto ha conducido al avance científico continuo, desde la manera de habitar y producir, hasta la de educar. Por eso, actores como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) indican que la ciencia, la tecnología y la innovación (CTI) cumplen un rol clave tanto como motor de progreso

como herramienta de transformación social y económica ([Hurtado Talavera, 2020](#)). En ese sentido, es importante socializar algunos elementos relevantes para la presente investigación, como lo la investigación y desarrollo experimental, e identificar su relación con los procesos de formación enfocados al desarrollo de competencias en los futuros profesionales.

Así, la I+D (investigación y desarrollo experimental) consiste en el proceso metódico o sistemático realizado en pro de fortalecer o aumentar el volumen del conocimiento existente en todas las áreas y proponer nuevas aplicaciones o instrumentos a partir de este conocimiento disponible ([OCDE, 2015](#)). Por lo anterior, la investigación y el desarrollo experimental promueven nuevas competencias, factor determinante para innovar y adquirir desafíos según lo demandado por la actual sociedad del conocimiento.

Asimismo, el fortalecimiento y la inserción de la tecnología en todos los procesos cotidianos de la sociedad hacen imperioso fomentar nuevas competencias en los discentes, afines a las sinergias del entorno.

En este contexto, en el entorno educativo el uso de las nuevas herramientas tecnológicas es una habilidad que todo docente debe dominar, toda vez que los estudiantes son nativos digitales y el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) forma parte relevante de las actividades de su mundo cotidiano. Los discentes ya no se conforman con solo teoría, buscan nuevos escenarios que les generen experiencias significativas ([Ladino Moreno et al., 2021](#), [Llanos Mosquera et al., 2021](#), [Salazar Ospina et al., 2017](#)) y aprendizajes profundos a través de la interacción con ambientes virtuales ([Sierra Villamil, 2019](#)).

Hablar de investigación aplicada y desarrollo experimental implica un *enfoque de competencias* o una *unidad*, ya que el concepto mismo de *competencia* posee este significado compuesto por varios elementos que se deben fusionar para alcanzar los resultados clave del desarrollo de la competencia en sí. Es decir, la unión entre conocimiento, habilidades y destrezas es fundamental a la hora de evidenciar la apropiación de alguna competencia.

Finalmente, cada competencia viene a ser un aprendizaje complejo, compuesto de habilidades, actitudes y conocimientos.

## METODOLOGÍA

La metodología propuesta para la presente investigación fue la investigación holística ([Hurtado de Barrera, 2000](#)), la cual caracteriza la profundidad de la investigación como descriptiva y su diseño; según el origen de los datos como documental, asimismo, el criterio de temporalidad como transeccional, la amplitud del foco como multivariable, y por último, el criterio de manipulación como no experimental. Del mismo modo, el enfoque fue cualitativo y desde la recolección de la información se usó la técnica de revisión documental a través del instrumento *matriz de análisis o registro de fuentes*.

Se contó con material informativo como libros, revistas de divulgación o de investigación científica, sitios web y demás información necesaria para la búsqueda. Por lo anterior, se utilizaron palabras

clave y operadores booleanos formulando la ecuación: “Higher education institutions’ AND ‘Innovation’ OR ‘Applied research’ OR ‘Experimental development’ OR ‘Organizational capabilities’”. Esta revisión se hizo a través de bases de datos como Dialnet, *ScienceDirect*, *Redalyc*, *Scielo*, *ResearchGate*, *WoS* y *Google Scholar*. Conforme al alcance de esta investigación se analizaron 130 artículos literarios, los cuales se clasificaron para recopilar los más accesibles, más reconocidos y mejor valorados académicamente.

De esta manera, se aplicó la bibliometría como herramienta estadística para observar el comportamiento de los trabajos relacionados con el tema, en todo el mundo, a partir de estas bases de datos y elementos como las palabras clave, nombre de los autores, nombre de las instituciones y los países de origen de los documentos.

En línea, los resultados de la búsqueda se analizaron a través de la herramienta *VOSviewer*, versión 1.6.16, la cual ofrece funcionalidades de minería de texto que puede ser usada para construir redes de coincidencia. En este trabajo se realizaron dos tipos de análisis: uno orientado a la coocurrencia de palabras y el otro, de coautoría de los países de filiación de los autores.

En primer lugar, se analizó la coocurrencia de palabras claves, con un mínimo de diez coocurrencias por palabra que se representaron a través de la visualización de red de nodos ([Waltman et al., 2010](#)) (figura 1).

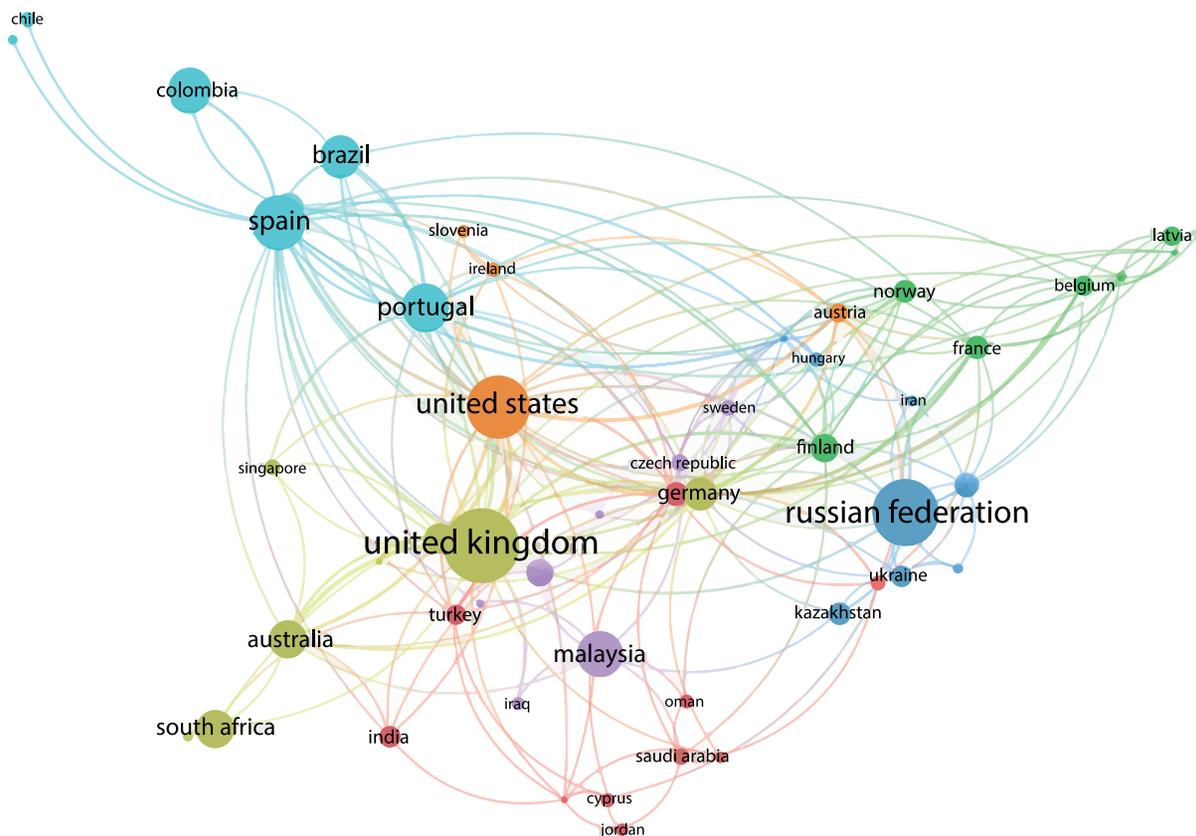
De la misma forma, se analizaron los países en donde se vienen desarrollando la mayor cantidad de investigaciones en temas asociados a la ecuación de búsqueda; en ese sentido, la figura 2 muestra la red nodal sobre la coautoría de los trabajos a partir de los países de filiación de los autores.

Desde el análisis bibliométrico y de las visualizaciones obtenidas (figuras 1 y 2) se puede establecer una relación entre los temas definidos por conceptos de innovación e instituciones de educación superior, lo que pone en manifiesto que en los últimos tiempos muchas de las investigaciones orientadas a la formación tienen componentes o elementos de innovación. Además, se determinó que los países que más están relacionando los conceptos de innovación con los procesos formativos en las instituciones de educación superior (IES) son algunos de Europa, además de Estados Unidos y Rusia. No obstante, en Brasil y Colombia tienen comportamientos similares a España; sin embargo, las relaciones de los autores colombianos en estas temáticas están enfocadas en la participación de proyectos de países como España y Brasil, mas no se tiene articulación con otros países latinoamericanos. De esta forma, la representación latinoamericana en estos conceptos, según las bases de datos estudiadas, es baja, lo que proporciona una oportunidad para elaborar trabajos de investigación desde el contexto latinoamericano en temas conexos a la innovación o sus procesos, con la formación en educación superior y competencias.

La búsqueda exhaustiva arrojó 81 artículos, los cuales fueron completamente analizados y caracterizados, según el enfoque de la investigación.

Dicho material se filtró de acuerdo con los métodos expuestos durante el estudio de investigación, como el teórico, el metodológico y el contextual; en consecuencia, se generaron las siguientes categorías: estrategias de investigación aplicada; actividades de desarrollo experimental; competen-





**Figura 2.** Visualización de la red nodal de coautoría con base en de los países de la filiación

**Fuente:** elaborada a partir del software *VOSviewer* 1.6.16.

Comprender al ser humano de manera integral es uno de los principales interrogantes que ha tenido la actual sociedad de manera global; por tanto, se plantea la necesidad de investigar en diferentes áreas o disciplinas, con el fin de dar respuestas del entorno donde se desenvuelve el individuo. El pilar de la investigación es comprender o entender al hombre como tal, el universo y las interacciones entre ellos; no obstante, de acuerdo con las realidades de la sociedad, se han modificado los procesos o metodologías de la investigación desde la epistemología hasta las explicaciones filosóficas que de ella subyacen (Súa Nieto *et al.*, 2016).

El proceso de investigación dentro de sus objetivos tiene la identificación y solución de problemas del contexto y a partir de allí generar nuevos conocimientos; así, debe considerarse como un encañamiento de acciones e infraestructura, destinado a la generación de conocimientos que solo se pueden obtener a través de la aplicación de etapas rigurosas y transparentes que pueden ser replicadas por cualquier investigador para contrastar sus hallazgos. Cuando se aborda la investigación sin tener en cuenta todas las aristas del proceso, desde la concepción suele cometerse una serie de errores que puede conducir a que el investigador no se enfoque en la obtención de los resultados pertinentes;

por ello, se debe considerar que la investigación va más allá de la tabulación de resultados y de unas acciones experimentales (Manterola y Tamara, 2013).

En ese sentido, ¿cuáles deberían ser los objetivos de la investigación? Estos pueden dar respuesta a diferentes inquietudes de acuerdo con el campo de aplicación; en coherencia, el objetivo principal debería ser la generación de nuevo conocimiento. No obstante, algunos autores mencionan que este objetivo puede redundar en el fortalecimiento de competencias personales y sociales que llevan a mejorar las condiciones individuales y sociales. Igualmente, los objetivos que se plantean dentro de una investigación suponen una hoja de ruta que orienta las actividades y sinergias del equipo de trabajo.

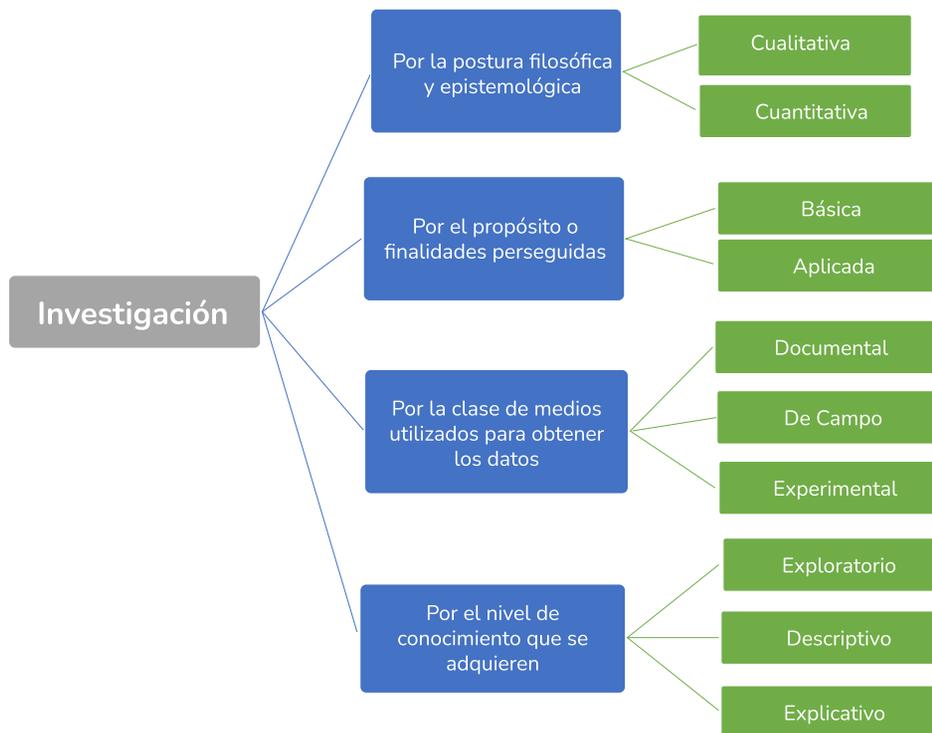
También, la investigación es un proceso social; por tanto, es imperioso concebirla como una habilidad colectiva de los individuos, toda vez que desde su formulación debe ser puesta en consenso con un grupo de personas interesadas en ciertas temáticas y, al finalizar, los resultados deberán ser refutados por la comunidad (Navarro, 2018).

Por lo anterior, es necesario tener una visión previa sobre los tipos de investigación. Varios autores han considerado una serie de tipologías que hacen ver el término un poco confuso. Según Cano, 2019, el primero en establecer una clasificación de investigación básica e investigación aplicada fue Mario Bunge en 1980; posteriormente, y de acuerdo con lo que se reporta en el mismo trabajo, Alvitres, en el año 2000, planteó la investigación básica y pura, o sustantiva, cuando pretende una descripción, explicación o predicción. El mismo autor demarcó la investigación aplicada o tecnológica, cuando se establecen procedimientos, se plantan estrategias, se desarrollan y prueban modelos físicos y se estima su valor pragmático (Cano, 2019).

De esta manera, puede ser clasificada de acuerdo con otros criterios. Supo y Cavero, 2014 exponen una clasificación amplia en la cual emanan las posturas detalladas en la figura 3.

Por su postura filosófica y epistemológica o enfoques, se habla de la investigación cualitativa y cuantitativa, por tanto, la investigación cualitativa se entiende como la investigación que genera datos descriptivos o característicos; por ejemplo, las palabras de las personas, habladas o escritas, y la conducta observable, entre otros (Quecedo y Castaño, 2002). Por otro lado, la investigación cuantitativa, también denominada *empírico-analítica*, se basa en los aspectos numéricos para investigar, analizar y comprobar la información y los datos, a partir de los cálculos matemáticos; es decir, recurre a las operaciones matemáticas (Alan Neill y Cortez Suárez, 2018). Por ejemplo, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en Colombia es la entidad responsable de realizar los análisis cuantitativos respecto a la población colombiana.

En cuanto a los propósitos o finalidades de la investigación básica y de la investigación aplicada, la primera propone indagar los comportamientos fundamentales de la naturaleza y el Universo, y de esta forma establecer modelos, leyes o teorías que permitan su comprensión por parte de los individuos, su impacto en la sociedad; esta, por lo general, es a largo plazo. La aplicada, por su parte, concentra su atención en identificar necesidades, problemas u oportunidades del contexto para, posteriormente, aplicar conocimientos y dar respuesta a estos requerimientos desde la aplicación del



**Figura 3.** Clasificación de la investigación

**Fuente:** tomado de [Supo y Cavero, 2014](#).

método científico ([Sabino, 1996](#)); por ejemplo, la investigación de las pandemias se acogería a una investigación básica e indagar a profundidad acerca de la covid-19 (SARS-CoV-2) y esta daría un vivo ejemplo de investigación aplicada.

En cuanto a los medios para obtener los datos, existen dos tipos: investigación documental, que, como su nombre lo indica, se apoya en fuentes de información de tipo documental, esto es, en cualquier tipo de documentos escritos digitales o físicos ([Supo y Cavero, 2014](#)). La investigación de campo, o trabajo de campo, consiste en el desarrollo de actividades de indagación dentro de un contexto establecido, no dentro de un entorno controlado; por ejemplo, la mayoría de los proyectos de investigación en Ciencias Sociales analizan el comportamiento de los individuos en entornos reales. Por último, la investigación de enfoque experimental o cuasiexperimental, contrario a la anterior, se trabaja en un ambiente controlado, además, de que el investigador puede modificar el valor de una variable (independiente) y analizar la correlación o causalidad de otra variable (dependiente); asimismo, debe implementar modelos relacionados con el diseño de experimentos donde se determinan de forma objetiva la cantidad de tratamientos y especímenes a aplicar ([Alonso Serrano et al., 2012](#)).

Por el nivel o profundidad de conocimientos a alcanzar, según la finalidad que persiga el científico, las investigaciones pueden ser exploratorias, descriptivas, explicativas, proyectivas, entre otras. Estas se desarrollan de forma cronológica o independientemente. No obstante, estos niveles permiten comprender el rigor científico cuando se cuestiona y analiza la realidad (Supo y Cavero, 2014).

Sin embargo, dependiendo de las perspectivas de los investigadores, se pueden obtener otras clasificaciones de la investigación, una de ellas es la de acción participativa, la cual estimula la integración del conocimiento y la acción, permite que los participantes se involucren y transformen la realidad y objeto del estudio, a través de sinergias gestionadas por ellos, para dar solución a las problemáticas identificadas, cuyo interés principal es generar transformaciones continuas y así gestar escenarios cambiantes de análisis reflexivo (Guevara et al., 2020).

Por otro lado, Hurtado de Barrera, 2000 socializa la metodología de la investigación holística, la cual se puede observar resumida en la figura 4. Allí, se definen elementos como el modelo epistémico, el método, el tipo o profundidad, el diseño (según el origen de los datos, y los criterios de temporalidad, de amplitud del foco, de manipulación), el enfoque, entre otros (figura 4).

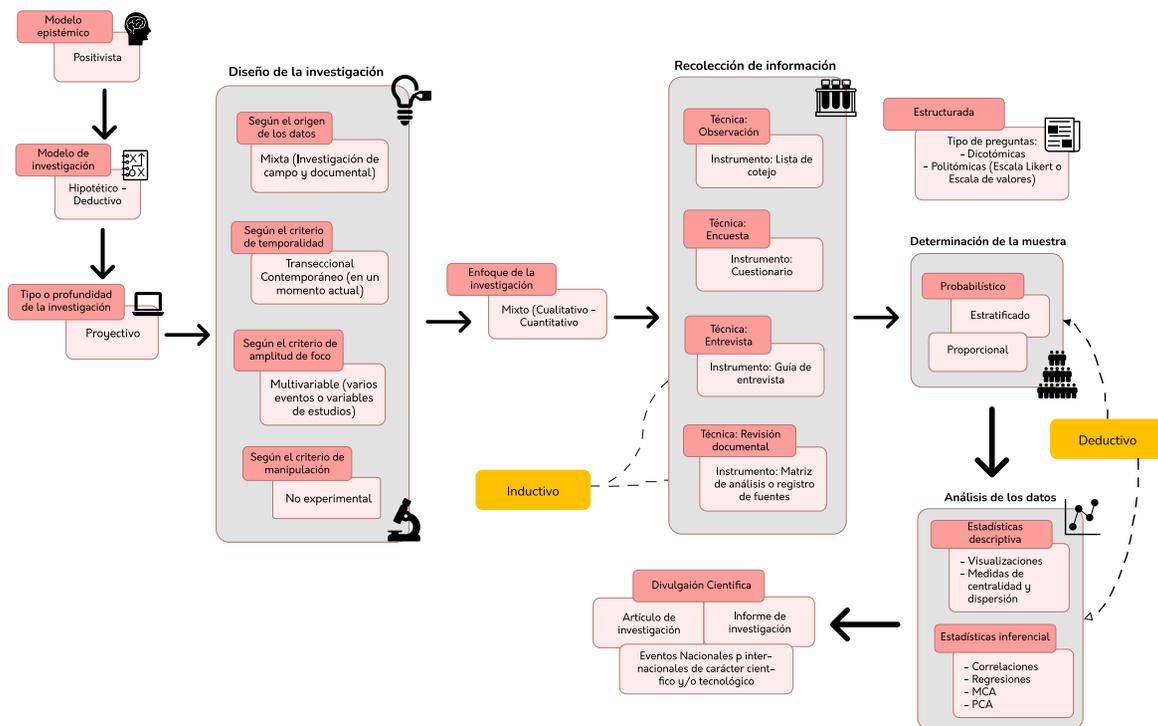


Figura 4. Propuesta del método de la investigación holística a un proyecto de investigación aplicada

Fuente: elaborada a partir de Hurtado de Barrera, 2000.

Así mismo, en la Tabla 1, se socializan otras clasificaciones encontradas en la literatura y que ponen en manifiesto diferentes puntos de vista de los campos de acción de la investigación.

**Tabla 1.** Clasificación de los tipos de investigación

Autores	Clasificación	
(OCDE, 2015)	1	Investigación básica.
	2	Investigación aplicada.
	3	Desarrollo experimental.
	1	Según el propósito de la investigación (investigación básica e investigación aplicada).
	2	Según la clase de medios para obtener información (documental de campo y experimental).
	3	Según el nivel de conocimiento que se obtiene (exploratorio, descriptiva y explicativa).
(Muntané, 2010)	1	Investigación básica (investigación básica exploratoria, investigación básica descriptiva, investigación básica explicativa).
	2	La investigación aplicada o tecnológica.
(Álvarez Risco, 2020)	1	Según la orientación (investigación básica e investigación aplicada).
	2	Según el alcance de la investigación (exploratorio, descriptivo, correlacional, explicativo).
	3	Según el diseño de la investigación (experimental y no experimental).
	4	Según la direccionalidad de la investigación (retrospectiva y prospectiva).
	5	Según el tipo de fuente de recolección de datos (retrolectiva y prolectiva).
(Esteban Nieto, 2018)	1	Investigación descriptiva.
	2	Investigación experimental.
	3	Investigación participativa – acción (IAP).

## Investigación aplicada

La investigación aplicada requiere de una metodología diferente a la investigación básica y pura, por cuanto a que la primera se funda en la identificación de problemas del contexto y, a partir de allí, propone soluciones con base en los conocimientos adquiridos en la investigación pura. Además, la investigación aplicada tiene en cuenta todas las regulaciones, normativas y demás estatutos que regulan el comportamiento de la sociedad, con el fin de tener otro punto de apoyo al momento de abordar el problema (Viloria Cedeño, 2016).

En ese sentido, la investigación aplicada puede estar orientada a la identificación de los potenciales consumidores de un producto para definir el lugar más adecuado para ubicar una tienda (Rojas Ayala, 2019).

De acuerdo con el *Manual de Frascati*, son trabajos originales que están enfocados en la obtención de nuevos conocimientos, pero que están dirigidos a la solución de problemas identificados de un contexto en específico.

La investigación aplicada recurre a los conocimientos ya alcanzados en la investigación básica para encaminarlos al cumplimiento de objetivos específicos; por tanto, este tipo de investigación considera todo el conocimiento existente en un área concreta, que será aplicado en el intento de solucionar problemas específicos.

Los resultados de la investigación aplicada pretenden, en primer lugar, enfocarse en la validación de posibles implementaciones de productos, prototipos o modelos materializados en los niveles de transferencias y madurez tecnológicas. La investigación aplicada explora y materializa ideas en algo operativo; las aplicaciones obtenidas son susceptibles de protección a través de instrumentos de propiedad intelectual (OCDE, 2015).

## La investigación y el desarrollo experimental

El desarrollo experimental se puede concebir como la adquisición, combinación, configuración y empleo de conocimientos y técnicas, ya existentes, de índole científica, tecnológica, empresarial o de otro tipo, con vistas a la elaboración o estructuración de modelos, prototipos o planes que plantean el inicio preliminar del trabajo empírico para comprobar planteamientos teóricos que pueden fortalecer la argumentación de lo planteado desde la investigación aplicada. Se incluye la elaboración de prototipos, modelos físicos y conceptuales, estructura, plantas pilotos y demás experiencias, siempre y cuando no vayan destinados a usos comerciales. El desarrollo experimental no incluye la modificación básica o irrelevante de un producto, toda vez que, como ya se mencionó, el desarrollo experimental fortalece la apropiación de conocimientos obtenidos en la investigación aplicada a través del empirismo o pragmatismo (Cámara de Zaragoza, 2011).

Por otro lado, la I+D (R&D, *research and development*) es concebida como las actividades de investigación que estén orientadas a la obtención de resultados o productos que contribuyan al desarrollo económico y social de un país; en ese sentido, este desarrollo se establece desde la mirada del mejoramiento de la calidad de vida de una población a través de los procesos o sistemas de investigación que establece una nación (Escudero Sánchez y Cortez Suárez, 2018).

El desarrollo experimental se enmarca en el planteamiento de una serie de actividades orientadas a la construcción de elementos que se fundan en las investigaciones tanto básicas como aplicadas, con el fin de obtener estatutos o resultados novedosos que aportan al mejoramiento continuo de técnicas o tecnologías existentes, y de esta forma, contribuir con productos más pertinentes dentro de los requerimientos de la sociedad. Así mismo, el desarrollo experimental contribuye a la corroboración de conceptos o teorías que se generan desde la investigación básica o aplicada, y se constituye en un elemento fundamental a la hora de confirmar la existencia de un planteamiento científico (Consejo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica, 2020).

La investigación y el desarrollo experimental (I+D) consta de trabajos creativos que se llevan a cabo de forma sistemática, lo que alimenta el contenido de conocimiento que tiene la humanidad desde diferentes dimensiones; adicionalmente, aporta a la generación de nuevos conocimientos. Obtiene su información a partir de las actividades empíricas por parte del investigador, apoyado en conocimientos generados en la etapa de investigación; es decir, el desarrollo experimental complementa el constructo cognitivo que debe tener todo investigador que busca el significado de la realidad y que busca modificarla con nuevos planteamientos derivados de su quehacer (OCDE, 2015).

## **El término I+D engloba tres actividades**

### *Investigación básica*

Básicamente consta de trabajos experimentales o teóricos enfocados en la obtención de nuevos conocimientos acerca de la fundamentación de fenómenos físicos de hechos observables, sin tener en cuenta la aplicación directa en el contexto social a corto plazo.

### *Investigación aplicada*

Son trabajos originales destinados a la obtención de nuevos conocimientos enmarcados en la solución de un problema específico basados en los resultados de la investigación básica; estos se pueden obtener en un periodo más corto, y su impacto en la sociedad es más destacado.

### *El desarrollo experimental*

Se basa en la realización de actividades sistemáticas enfocadas en el desarrollo de estructuras o elementos que son producto de la materialización de conocimientos derivados de investigaciones básicas y aplicadas, que cumplen la función de consolidar los conocimientos o confirmar los planteamientos teóricos identificados en la investigación aplicada (OCDE, 2015).

## **La investigación y la educación**

La investigación es un proceso sistemático orientado a dar respuestas a cuestionamientos, o a ofrecer soluciones a problemas, o generar nuevos conocimientos en un área específica (Navarro, 2018).

Por otro lado, debido a la situación de la pandemia en los dos últimos dos años, muchos países han optado por restringir las actividades educativas de manera presencial para reducir los casos de contagio y evitar niveles altos de mortalidad (Méndez Escobar, 2020). Todo ello ha llevado a que los docentes, en su afán de cumplir con su misión de orientar y, por ende, evitar un retraso significativo en sus avances académicos, exploren diferentes medios, técnicas y metodologías que les faciliten la

ejecución de sus actividades de enseñanza de la mejor forma posible. En ese sentido, las herramientas tecnológicas disponibles en la Web fueron una gran alternativa para llegar a sus discentes (Castro Maldonado, 2015, Castro, 2008). No obstante, la cobertura de la red y las limitaciones de las condiciones económicas de algunos aprendices fueron algunos de los obstáculos para que esta alternativa fuera la más óptima; además, muchos docentes tuvieron la necesidad de indagar sobre nuevos métodos pedagógicos, hecho que conllevó a que, de forma intrínseca, los que tuvieran competencias investigativas se adaptaran más rápidamente, toda vez, que poseían competencias como el análisis de la información, pensamiento crítico y autogestión (Hurtado Talavera, 2020).

El uso de las nuevas herramientas tecnológicas y la implementación de nuevas estrategias pedagógicas como el aprendizaje basado en retos (ABR), el aprendizaje basado en evidencias (ABE) y al aprendizaje basado en la investigación (ABI), son habilidades que todo docente debe poseer (Sierra Villamil y Vargas Castro, 2017).

## Competencias

El término *competencia* ha dado lugar a múltiples interpretaciones, matices o, inclusive, a malentendidos, toda vez, que el concepto es polisémico, que se acomoda al contexto y perspectiva de la audiencia en un momento dado. De un modo genérico se puede entender que la competencia comprende los conocimientos, habilidades y destrezas que permiten desarrollar exitosamente un conjunto integrado de funciones y tareas, de acuerdo con criterios de desempeño óptimos, especialmente en el medio laboral o profesional (Dávalos y Narváez, 2013).

También se define como la capacidad que el ser humano debe tener para resolver, de forma eficaz y autónoma, problemas que se pueda encontrar en su vida o en su contexto, y se fundamentan en un saber profundo, no solo en *un poder ejecutar acciones o funciones productivas*, se trata de *un saber para pertenecer y participar en la sociedad* (González et al., 2004).

Igualmente, se puede interpretar como la capacidad compleja que integra conocimientos, habilidades, destrezas, acciones, pensamientos, criterios y desempeños en situaciones específicas y concretas (saber hacer en forma pertinente). Las competencias se construyen, se fortalecen y evolucionan permanentemente (Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación, 2019).

Desde la línea de investigación en complejidad y competencias, establecida por Sergio Tobón en 2008, se retoman varios de los elementos planteados en estas definiciones, como *conocimientos, habilidades, pensamientos, idoneidad, desempeño y destrezas*. En ese sentido, las competencias se conciben como procesos complejos de desempeño con idoneidad en determinados contextos que, por lo general, son complejos, que se basan en sinergias entre individuos con mundos complejos; consiguientemente, las competencias se entienden desde la arista de la complejidad en las interacciones del individuo con el objeto o Universo en general, para lo cual se integran diferentes saberes (saber ser, saber hacer, saber conocer y saber convivir), para ejecutar actividades o resolver problemas, siempre planteados desde la perspectiva de la mejora continua de las actitudes y aptitudes del individuo. De esta mane-

ra, se aporta al desarrollo colectivo de la sociedad, con respeto por la naturaleza y los seres vivos. En otras palabras, las competencias son comprendidas desde la integralidad del ser como herramientas para el desarrollo personal, en aras de contribuir a la estructuración de un tejido favorable para el desarrollo económico y social de la sociedad (Tobón, 2008).

Igualmente, algunos autores reiteran que las competencias básicas permiten al individuo utilizar sus recursos personales (habilidades, actitudes, conocimientos y experiencias) para actuar de manera activa, efectiva y responsable en la edificación de su proyecto de vida. El conjunto de competencias básicas lo constituyen los *saberes* imprescindibles para llevar una vida cómoda (Villodres Mateo, 2010).

Por tanto, las competencias básicas que se pueden encontrar dentro de las genéricas son las que se comparten por un amplio rango de profesiones; deben ser aprendidas hasta un nivel por todos los ciudadanos; son necesarias en distintos escenarios profesionales con diferentes funciones y tareas, y son demandadas, hoy en día, por el mercado laboral, por lo que su adquisición mejora los ambientes de los equipos y la empleabilidad del individuo (López Álvarez, D. y Sánchez Carracedo, 2017).

Después de haber abordado el concepto de *investigación* y sus diferentes clasificaciones, queda indagar si estas guardan relación con las competencias o si existe una categoría que las contemple. Así, las competencias investigativas se definen como las capacidades que tiene una persona para abordar problemas de investigación, o identificar necesidades u oportunidades que pueden ser subsanadas a partir de un proceso metódico de adquisición y análisis de información, mediante la aplicación de conceptos o definiciones en cada disciplina, de habilidades y de pensamiento lógico, crítico y reflexivo, para responder de manera asertiva a los interrogantes o cuestionamientos derivados de la investigación. Estas competencias investigativas resaltan las habilidades multidimensionales de la persona. En síntesis, las competencias investigativas se aprenden investigando (López Álvarez, D. y Sánchez Carracedo, 2017).

Se han identificado también numerosas clasificaciones de competencias, dependiendo del contexto en el cual se utilizan y de las comprensiones e intereses de los autores. La Tabla 2 presenta una lista no exhaustiva de aquellas comúnmente encontradas en la literatura.

Igualmente, existen autores que clasifican las competencias como básicas, específicas y transversales, que a continuación se procederá a profundizar un poco más.

## **Competencias básicas, transversales y específicas**

### *Competencias básicas*

Cabe mencionar que estas competencias están interrelacionadas, por eso son más relevantes en conjunto que separadas. Su definición establece que sean potencialmente válidas en muchos ámbitos sociales y territoriales, aunque no deben considerarse un producto final y libre de problemas, es decir, no perfectibles (Buscá Donet y Capllonch Bujosa, 2019).

**Tabla 2.** Clasificación de las competencias

Autor	Tipos
(Contreras, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Básicas, genéricas, específicas.</li> <li>• Básicas, genéricas, laborales de gestión, laborales técnicas específicas.</li> <li>• Duras, blandas.</li> <li>• Técnica, metodológica, social, participativa.</li> <li>• Cognitivas, procedimentales, actitudinales.</li> <li>• Conocimientos, habilidades, actitudes, valores.</li> <li>• Transversales, específicas de la profesión, específicas del actuar profesional, de gestión.</li> <li>• Intrapersonales, interpersonales, profesionales y disciplinares.</li> <li>• Conceptuales, metodológicas, humanas, de alta dirección.</li> </ul>
(OCDE, 2015)	<p><b>Competencias claves</b> Se pueden considerar como esas herramientas vitales que deben tener los individuos para poder socializar e interactuar con sus pares y, de esta forma, prolongar su vida psicológica y física en diferentes aspectos, que les permitan ser personas sociables para el beneficio individual y colectivo.</p>
(Caro Valverde <i>et al.</i> , 2003)	<p><b>Competencias generales y comunicativas.</b> Son aquellas a las que se puede recurrir para ejecutar acciones de todo tipo, incluyendo actividades comunicativas o basales para sobrevivencia del individuo.</p>

Teniendo en cuenta los numerosos conceptos que se pueden encontrar respecto a las competencias básicas, en la Tabla 3 se enuncian algunos significados relevantes hallados en la revisión documental del presente trabajo.

**Tabla 3.** Conceptos de “competencias básicas”

Autor	Conceptos
(Latorre Ariño, 2016)	<p>Las competencias básicas son responsabilidad del Estado, toda vez, que son las capacidades mínimas que deben tener los ciudadanos para ejercer efectivamente su rol de ciudadano. Todos los discentes no deben por qué desarrollar todas las competencias en un grado de máximo; cada uno tiene sus características y actitudes. Hay varios niveles: mínimo aceptable, notable y excelente.</p>
(Villodres Mateo, 2010)	<p>Las competencias básicas se basan en el uso de sus recursos personales (habilidades, actitudes, conocimientos y experiencias) para actuar de manera responsable en la construcción de su proyecto de vida y de la mejora de las condiciones de su entorno cercano.</p>

## Competencias transversales

Otras competencias que se pueden analizar a partir de los diferentes puntos de vista y que pueden complementar los conceptos de integralidad del ser en pro de ser elemento útil para el desarrollo de la sociedad, serían las transversales. Estas no solo se enmarcan en las competencias elementales para insertarse a un contexto social, sino que extraen elementos técnicos de algunas áreas del conocimiento, es decir, se pueden encontrar en diferentes currículos de los perfiles de los profesionales (tabla 4) (Casanova Romero, 2011).

**Tabla 4.** Competencias transversales

Autores	Concepto
(García García, 2009)	Necesarias en un titulado con ese nivel académico, pero no necesariamente relacionadas con sus conocimientos técnicos.
(Raciti, 2015)	Son las denominadas competencias no cognitivas como las competencias socioemocionales, estas también son denominadas por el Ministerio del Trabajo de Colombia como competencias transversales.
(Sierra Villamil, 2019)	Las competencias transversales corresponden, a aquellas que se deben encontrar intrínsecamente relacionadas en todos los currículos de los programas educativos y que corresponden a matemáticas, investigación, emprendimiento, creatividad, innovación, tecnológicas, entre otras.
(González <i>et al.</i> , 2004)	Según estos autores, las competencias transversales se subdividen en instrumentales, personales, sistémicas y de información.

## Competencias específicas

Otro tipo de competencias que pueden complementar la integralidad del ser dentro del contexto complejo de la funcionalidad y aporte positivo a la comunidad son las competencias específicas o técnicas. Estas se relacionan con los conocimientos técnicos de una profesión o saber en específico; son las que definen a un profesional y su capacidad a través de conocimientos, habilidades y destrezas para solucionar problemas de su campo de acción. Sin embargo, a pesar de la posible especificidad que tiene este concepto, se tienen algunas perspectivas que complementan su definición (ver Tabla 5).

**Tabla 5.** Conceptos de competencias específicas

Autor	Concepto
(Barragán Sánchez y Buzón García, 2004)	Son las destrezas relacionadas con las áreas de estudio; son los métodos y técnicas propias a las diferentes áreas de cada disciplina según el área de conocimiento.
(González Maura y González Tirados, 2008)	Relativas a una profesión determinada.
(Rodríguez Puerta, 2021)	Son todas aquellas habilidades, conocimientos, valores y pensamientos requeridos para desarrollar de manera adecuada una tarea o un trabajo, o son requeridas para cumplir el perfil de una profesional es específico.

Se pretende, en definitiva, que no se entiendan las competencias transversales y específicas como dos partes aisladas, sino como un sistema de competencias interconectadas que se irán desarrollando y fortaleciendo a lo largo de la formación académica de los estudiantes. Las competencias específicas se trabajarán a lo largo de las materias de mitad y final de carrera, y las transversales, a lo largo de toda la titulación.

Otra clasificación en la que los autores indican que se dividen las competencias es la que se expone a continuación.

### Competencias blandas y duras

En la actualidad se evidencia la importancia que tienen las competencias *blandas*, o sociales, como la comunicación asertiva, el trabajo colaborativo, iniciativa, pensamiento crítico, entre otras (Cáceres Mesa y Pérez Maya, 2016), para alcanzar los objetivos o metas que se plantean las organizaciones, ya sean desde actividades puntuales, planes o programas, que se establecen a mediano o largo plazo. Igualmente, en la literatura se encuentra numerosos conceptos que pretenden definir las competencias blandas. En la tabla 6, se enlistan algunos.

Por otro lado, el concepto de *competencias duras* está alineado al de *competencias técnicas o específicas*; es decir, ambas se enmarcan en las capacidades que debe tener cada profesional en su respectiva área; estas competencias son las que dan el componente diferenciador en cada una de las profesiones. En la Tabla 7, se exponen algunas definiciones de competencias duras.

### Las competencias y la educación

Para abordar los conceptos de *educación* y *competencia*, se tuvo en cuenta la perspectiva de la educación desde los indicadores establecidos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), los cuales ofrecen una visión holística respecto a la calidad de los procesos formativos y su impacto en el desarrollo económico y social de las naciones que pertenecen a este organismo. Estos indicadores ponen en manifiesto las diferentes brechas que tienen los estudiantes

**Tabla 6.** Conceptos de competencias blandas

Autor	Concepto
(Arroyo Herrería, 2019)	Las competencias blandas surgen en la década de 1980 de la mano de la formación empresarial, con el objetivo de dar respuesta a las nuevas necesidades de la sociedad, debido a la abundancia del conocimiento y como método para orientar a los jóvenes hacia su éxito académico y profesional.
(Maturana Moreno y Guzmán Chitiva, 2019)	Define el término <i>soft skills</i> como las cualidades o atributos personales, o nivel de compromiso de una persona que la distingue de los demás, aunque estas personas posean similares habilidades y tipo de experiencia. También se puede definir como la capacidad que tiene una persona de poner en práctica diferentes habilidades y destrezas dentro de una función específica que la da un componente diferenciador al individuo al momento de compararlo con un par semejante.

**Tabla 7.** Conceptos de competencias duras

Autor	Concepto
(Arroyo Herrería, 2019)	Las competencias duras son todas aquellas competencias vinculadas directamente con los conocimientos y habilidades sobre un saber, área o disciplina en concreto que permite al profesional ejecutar de manera eficaz cargos o roles relacionados con su experticia.
(Pelayo, 2018)	Las competencias duras, o <i>hard skills</i> , son las relacionadas con el conocimiento académico y la formación curricular y que permiten diferenciar las profesiones desde sus capacidades de cumplimiento de funciones técnicas y metodológicas.

de distintos países al momento de apropiarse de competencias pertinentes que les permitan desenvolverse en la actual sociedad (OCDE, 2019).

En ese sentido, para actuar competente no es suficiente aprender una técnica o adquirir y comprender un determinado conocimiento, sino saberlos utilizar en una situación dada. Toda actuación competente implica la apropiación y gestión de habilidades, conocimientos y actitudes (Ministerio de Educación del Perú, 2021) que puedan ser aplicados de manera óptima para solucionar problemas conexos al contexto del discente.

Por lo anterior, los jóvenes en la actualidad, debido al avance tecnológico, están expuestos a diversas formas de interacción, donde el eje fundamental es la apropiación de habilidades y conocimientos relacionados con las TIC. Su educación, en las diferentes modalidades, proporciona valores, actitudes y experiencias constructivas que les permitirán aprovechar oportunidades que favorecen activamente la creación de nuevos espacios de vida social. En coherencia, el talento humano debe poseer diferentes cualidades, destrezas y conocimientos que se ajustan a la actual economía del co-

nocimiento, la mayoría de estas orientadas al manejo adecuado de la información y el uso de las nuevas tecnologías en un entorno globalizado compuesto por redes académicas y científicas (OCDE, 2015).

En Colombia, la educación la contempla la Constitución Política de 1991, en su artículo 67, como un derecho de la persona y un servicio público que tiene una función social; con ella se busca el acceso a la ciencia y la tecnología para cerrar las brechas socioeconómicas de la población (Constitución Política de Colombia, 1991).

La educación que actualmente se imparte en el país es de forma presencial, a distancia y virtual. La primera está compuesta de tres elementos: alumno, docente y aula (o ambiente de formación), los cuales se sincronizan en un tiempo fijado para realizar todas las actividades concernientes al proceso de enseñanza/aprendizaje. Por su parte, la educación a distancia se presenta como la oportunidad para estudiar a esas personas que por su condición de trabajadores activos tienen tiempos limitados para su formación; consiste en la entrega de evidencias de producto que se hacen a través de un entorno virtual o físico, y unas evidencias de conocimientos que constan de cuestionarios que se desarrollan de manera presencial. Finalmente, la educación virtual la constituyen aquellos estudios que realiza el estudiante utilizando las TIC y con el tiempo que tenga disponible para el desarrollo de las diferentes actividades pedagógicas, con asesoría de un tutor que lo orienta utilizando diferentes medios de comunicación, tutoría que se puede realizar de forma sincrónica o asincrónica (Alarcón Suárez, 2020).

### **Educación basada en competencias en la educación universitaria**

Las definiciones de competencia también se pueden enmarcar desde las miradas de las escuelas epistemológicas como la conductista y la funcional. La primera se refiere a los conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes que debe tener un individuo como conducta o aptitud mínima para su inserción en el mundo laboral y social; por su parte, la funcional trata específicamente de las capacidades de las personas respecto a las funciones que debe ejecutar, según su formación, en una disciplina concreta (Ministerio de Educación del Perú, 2021).

Con la llegada de la pandemia por la covid-19 se cambió la dinámica del proceso de enseñanza/aprendizaje, ya que los docentes y estudiantes deben utilizar las herramientas tecnológicas como elemento fundamental de la nueva normalidad educativa. Esto constituye un proceso complejo, toda vez que no se cuentan con la infraestructura o medios para llevar de forma amplia una educación virtual; el proceso de aprendizaje virtual supone la apropiación de nuevas competencias transversales, como el manejo de la información y uso de los medios informáticos de manera efectiva. En coherencia, la apropiación y generación de las competencias dependen del contexto y de las herramientas disponibles por la sociedad; en otras palabras, las competencias se alinean a las épocas en las cuales se esté desarrollando la sociedad, ya que deben ser pertinentes a los procesos que subyacen de esta temporalidad. En este sentido, la Figura 3 ilustra el desarrollo de competencias integrales desde la

primera infancia hasta el periodo universitario en Colombia; un ejemplo de ello es el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), el cual imparte la concepción y clasificación de las competencias sociales y transversales basados en el principio de integralidad establecido en el Estatuto de la Formación Profesional Integral (SENA, 2012). En él, se identifica la clasificación de competencias de los aprendices para evaluar el rendimiento y medir de forma eficiente el resultado competitivo en el mercado laboral.

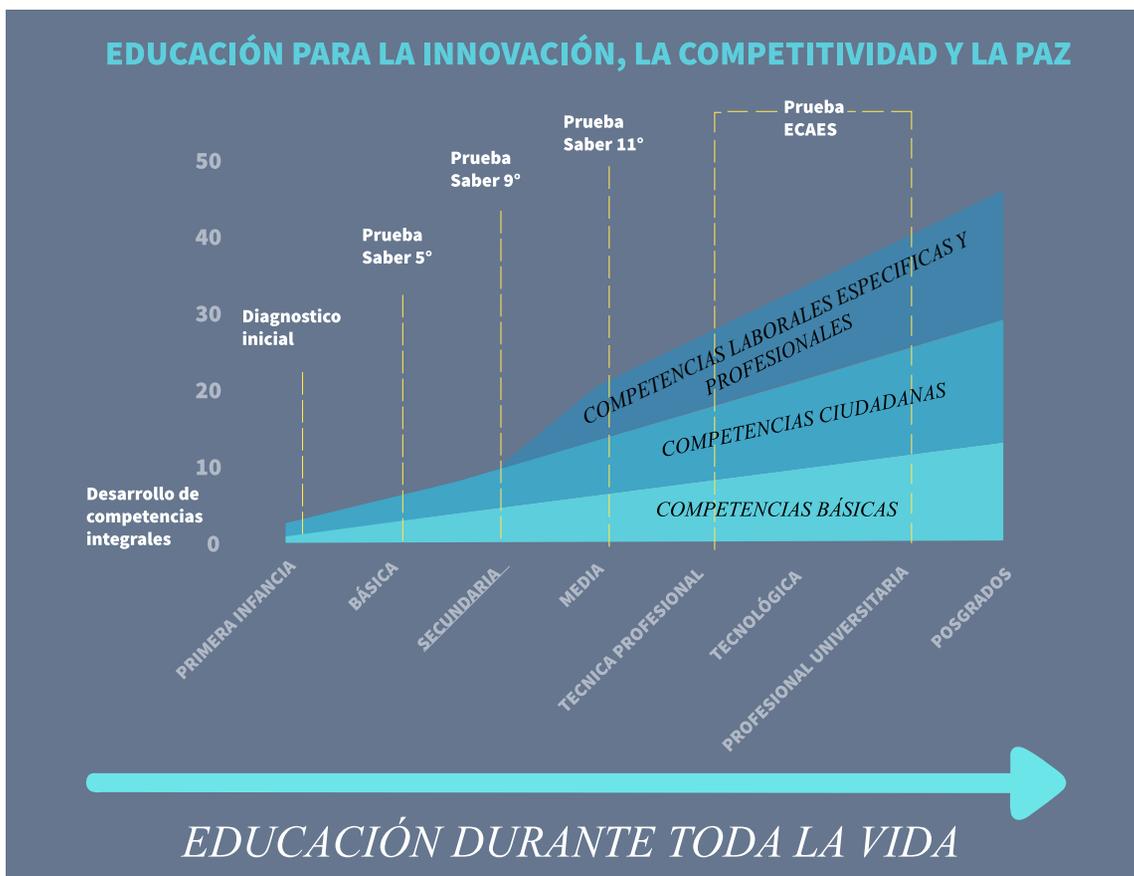


Figura 5. Desarrollo de competencias integrales

Fuente: tomada de Ministerio de Educación del Perú, 2021.

El componente de formación hace referencia a todas aquellas funciones o acciones académicas (teóricas o prácticas) que conforman el proceso de enseñanza/aprendizaje del discente, a través de diferentes instituciones educativas locales o nacionales que ofrecen programas en todos los niveles educativos, por ejemplo, el SENA en Colombia, instituciones de formación para el trabajo y el desarrollo humano, y las universidades. Durante su formación, el aprendiz o discente adquiere las competencias y capacidades cognitivas en una disciplina o área de formación/conocimiento particular; así, mejora las condiciones de entrada para su inserción al mercado laboral (Raciti, 2015).

Con el Decreto 2852 de 2013, se estipulan las capacidades para la interacción con otros y para la organización, gestión y relacionamiento en las diferentes dimensiones de la vida (personal y social) y del trabajo, el cual da paso a las competencias transversales, con el fin de apoyar y aumentar la satisfacción de necesidades educativas, laborales y socioeconómicas de los colombianos.

En la actualidad, tanto las competencias educativas como las profesionales y laborales deben incluir aptitudes, conocimientos y habilidades que un individuo debe tener para responder a un desempeño profesional, contexto científico, técnico, laboral, social y cultural determinado; es decir, el individuo es *capaz* de proponer soluciones pertinentes y efectivas a lo que dicho contexto le exige.

Al formar a los futuros profesionales con las capacidades y actitudes que son esperadas por las empresas, no solo se beneficia el sector empresarial sino todo el contexto social, toda vez que se estaría incrementado la productividad y competitividad tanto de los individuos como de las empresas, lo que llevaría a un apalancamiento en el desarrollo económico y social de la nación (Cáceres Mesa y Pérez Maya, 2016).

El uso de las herramientas tecnológicas ha brindado a profesores, alumnos y sociedad en general, la oportunidad de localizar información, comunicarse y promover conocimientos que representan de manera significativa el desarrollo cognitivo del aprendizaje del individuo y, por ende, mayor competencia con su entorno, lo que facilita la adquisición de habilidades a través de la experiencia. Las competencias no son un tema nuevo en discusión, en particular en el contexto de la enseñanza y del aprendizaje de contenidos y procesos de formación en general. Diversos autores han tratado la significancia de las competencias en los procesos cognitivos (Martín y Escanilla, 2007).

Del mismo modo, el Ministerio de Educación Nacional de Colombia (MEN) viene fortaleciendo la inserción del concepto de *resultados de aprendizaje* en los procesos formativos de educación superior, en donde se demanda más que solo la apropiación de conceptos o teorías por parte de los discentes. Por el contrario, va más allá, y requiere que los estudiantes se puedan desempeñar efectivamente en un contexto social y productivo; en otras palabras, los resultados de aprendizaje podrán evaluar de forma integral el saber y el saber hacer en un contexto específico.

De la misma forma, el Decreto 1330 de 2019 establece los resultados de aprendizaje como un factor para tener en cuenta en los procesos de autoevaluación que redundan en que un estudiante sea capaz de demostrar lo que sabe y ponga en práctica lo que aprendió en su contexto profesional.

Los últimos desarrollos y avances en la tecnología y la evolución de las redes informáticas a nivel mundial han permitido la proliferación de economías digitales basadas en el uso de transacciones por medio de canales electrónicos; el auge de la computación en la nube ha propiciado el desarrollo de plataformas potentes donde no es necesario contar con grandes servidores, toda vez que se dispone de estos servicios en todo el mundo. Con todo esto, se tienen amplias capacidades de almacenar u organizar la información, lo que conlleva a que esta sea el activo intangible más importantes en las empresas modernas (Organización Internacional del Trabajo, 2019).

En otras palabras, se puede indicar que, gracias a los avances tecnológicos tanto en dispositivos portátiles como en redes de transferencia de datos, las organizaciones han evolucionado respecto a la

priorización de las actividades que les generan valor agregado en sus productos o servicios; es decir, hoy dicho valor agrado radica en la adecuada gestión de la información dentro de una organización.

## Competencias de la sociedad de la información y conocimiento

El conocimiento es la acción de entender la característica del objeto a partir de un proceso de aprendizaje por parte del sujeto, y este concepto ha cambiado en los últimos siglos de acuerdo con la evolución de la capacidad cognitiva del ser humano (Ramírez, 2009).

El concepto actual de la *sociedad del conocimiento* se fundamenta en la percepción que se tiene en que las empresas más competitivas del mercado son las que están implementando en sus procesos críticos sinergias soportadas desde la capacidad cognitiva de sus colaboradores; es decir, las empresas que reconocen los procesos de generación y transformación del conocimiento, por ejemplo, la investigación, como factores importantes para competir en la actual sociedad. En otros términos, se plantea que el conocimiento y su gestión son los componentes diferenciadores de las empresas; por ende, quienes las puedan gestionar y apropiar de mejor forma serán los que tendrán más oportunidades en el actual contexto global (Krüger, 2006).

De esta manera, la sociedad del conocimiento se refiere a la sociedad que le da la importancia a que sus ciudadanos sean capaces de adquirir y manejar más y mejores conocimientos, con el fin, de que estos puedan ser aplicados al colectivo de un país, es decir, la sociedad del conocimiento se preocupa en que sus individuos estén bien educados. Dentro de este contexto, la OEA (Organización de Estados Americanos) está interesada en democratizar la sociedad del conocimiento. La Declaración de Santo Domingo, adoptada durante la Asamblea General de la OEA en 2006, determina que “el desarrollo y el acceso universal y equitativo a la sociedad del conocimiento constituye un desafío y una oportunidad que ayuda a alcanzar las metas sociales, económicas y políticas de los países de las Américas” (OEA, 2022).

La sociedad del conocimiento y la información presentan nuevos retos educativos; las instituciones de educación superior deben formar a los ciudadanos digitales del siglo XXI y desde los modelos o esquemas tradicionales no es posible generar las competencias necesarias; se debe optar por nuevos constructos dentro de los procesos de enseñanza/aprendizaje. Las TIC, por tanto, ofrecen posibilidades de transformación en los procesos educativos (Flórez Romero *et al.*, 2017).

Las nuevas tecnologías y las innovaciones aplicadas a la educación exponen un nuevo escenario que demanda ciertas competencias a los docentes, enmarcadas en el manejo efectivo y racional de las TIC (Cruz Rodríguez, 2019).

En la denominada sociedad del conocimiento, dicho conocimiento es el centro de las sinergias y estructura socioeconómicas, por ejemplo, el conocimiento que se genera en los procesos investigativos de las diferentes IES llega a todas las personas más fácilmente gracias a que es más sencillo acceder a repositorios informativos a través de la Web, lo que favorece el proceso de sensibilización de los ciudadanos hacia los problemas sociales, económicos, naturales, entre otros (Villardón-Gallego,

2015).

En ese orden de ideas, es posible afirmar que la era de la sociedad del conocimiento puede representar una gran oportunidad para la escuela. Esta, en efecto, desde hace siglos es gestora del conocimiento, es decir, lo produce, lo comparte y lo adquiere en sus procesos de docencia, extensión e investigación. Sus principales agentes –profesores– son por definición trabajadores del conocimiento. Por ende, los actores del proceso académico tienen una muy noble labor enfocada en el aprender a aprender y desaprender para luego volver a aprender y a partir de ello procesar conocimiento (Carneiro *et al.*, 2021).

No obstante, esta época de la información y el conocimiento, llena de oportunidades, también puede ser un escenario que promueva el desarrollo y ampliación de nuevas brechas tanto de conocimiento como económicas y sociales; por tanto, se debe garantizar la accesibilidad de los individuos a los procesos de conocimiento y, además, generar estrategias para su apropiación, lo cual resalta la importancia que tiene dicha información y conocimiento en el desarrollo actual y mejora de la calidad de vida de los ciudadanos y de esta forma ser personas que aporten en buena manera a la sostenibilidad de la comunidad y medio ambiente (Carneiro *et al.*, 2021).

En la Tabla 8, se presentan algunos comentarios de autores que reflexionan acerca de cómo es la relación de la competencia en los procesos formativos y las sinergias de la actual sociedad, y su impacto en el desarrollo económico y social de los países.

Igualmente, de acuerdo con varios autores, la sociedad del conocimiento manifiesta varios conceptos según desde la perspectiva que se esté estudiando (ver Tabla 9).

## CONCLUSIONES

La presente investigación arroja una variedad de pensamientos críticos de autores que interpretan las definiciones de investigación, su clasificación, objetivos y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad de la información y el conocimiento. A partir de allí, se define la investigación básica, en primer lugar, como aquella que es motivada por la curiosidad, y que pretende resultados de los principios básicos de una ciencia; por otro lado, la investigación aplicada, a pesar de que se fundamenta en los estudios de la primera, profundiza a un problema determinado ajustándose a lo técnico.

La clasificación de la investigación se puede analizar a partir de la clasificación de Supo y Cavero, 2014, quienes la desglosan por su postura filosófica y epistemológica; por el propósito o finalidades perseguidas; por la clase de medios utilizados para obtener los datos, y por el nivel de conocimientos que se adquieren.

Por otro lado, se identifican otras clasificaciones, entre ellas la del *Manual de Frascatti* en la edición de 2002, donde se evidencia que existe una relación estrecha entre investigación aplicada y desarrollo experimental, donde el trabajo en conjunto que desempeñan estas no solo indaga sobre un tema en

**Tabla 8.** Relación de las competencias con la sociedad de la información y el conocimiento

Autor	Concepto
(Peiró, 2003)	Expone el concepto de aldea global, el cual consiste en la capacidad que tiene la información en llegar cada vez más a puntos más recónditos del planeta, por los que la producción o generación de esta, aumenta cada instante de forma exponencial permitiendo la accesibilidad a la mayor cantidad de individuos de una comunidad.
(Tobón, 2013), (Tobón <i>et al.</i> , 2015),	Expresan la importancia de transformar la educación para que se adapte a la actual sociedad de la información y del conocimiento por medio de procesos educativos que deben abordar saberes y medios de comunicación pertinentes adecuados a las actuales sinergias digitales.
(Rodríguez Llera., 2007)	Varios organismos internacionales, entre ellos la Organización de la Naciones Unidas (ONU), la Organización de la Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), la Comisión de las Comunidades Europeas, el Parlamento Europeo, han realizado esfuerzos para proponer un conjunto de competencias que la educación debiera impulsar para formar ciudadanos de la sociedad del conocimiento.
(Pérez Zúñiga <i>et al.</i> , 2018)	Menciona que la introducción de tecnologías en los ambientes de formación y el incremento de plataforma de aprendizaje rápido han abierto nuevos horizontes para la transformación de los modelos educativos tradicionales a nuevos modelos educativos basados en la aplicación de infraestructura de gestión de información.

específico, sino que al llevarlo a la vivencia permite el progreso de competencias y habilidades personales y profesionales para brindar nuevas posibilidades a los individuos y adquisición de nuevos conocimientos.

En esencia, el ser humano es competitivo; esto le permite ser productivo y para ello es necesario la obtención de competencias que le admita tener la capacidad de aprovechar las mejores oportunidades. En Colombia se utiliza un sistema basado en competencias para la vida procurando asegurar la calidad de la educación, y el Ministerio de Educación Nacional (MEN), a través del Decreto 1330 de 2019, propuso el factor de los resultados de aprendizaje como elemento para evaluar los procesos de calidad en la educación superior de forma integral a través de las actividades cognitivas del discente y su interacción con el contexto social y productivo del país. De esta manera, se formulan estrategias que permiten al individuo un desarrollo para ser competitivo; para evaluar dicho sistema se realizan pruebas que miden competencias básicas, ciudadanas y laborales específicas y profesionales.

La era digital ha venido transformando de manera acelerada el entorno social, y gracias a la tecnología, es necesario contar con profesionales innovadores y con constante pensamiento crítico.

En cuanto a la sociedad del conocimiento, se concluye que se refiere al tipo de sociedad que es necesaria para un mundo competitivo y asegurar triunfos frente a los cambios económicos, sociales,

**Tabla 9.** Clasificación de los tipos de sociedad del conocimiento de acuerdo con el ámbito de aplicación

Autor	Concepto
(Acevedo Mena y Romero Espinoza, 2019)	Desde lo social, la sociedad del conocimiento promueve y valora el conocimiento como el principal elemento para su desarrollo, en esta exploración debe utilizar la ciencia, la tecnología y la investigación a través de aplicación de diferentes estrategias como la inserción constante en los procesos productivos del método científico, la formulación de preguntas, el pensamiento crítico. Con todo ello, genera una activa participación de los individuos y propende por un mejor bienestar y desarrollo humano.
(Larrota Castro, 2013)	Desde lo empresarial, los colectivos empresariales están conformados por personas que ocupan cargos, que, desde la dirección, requieren de una adecuada gestión del conocimiento para poder tomar decisiones inteligentes, y así se evita la incertidumbre en las acciones a tomar. Esta gestión del conocimiento aclara los escenarios de prospectiva; en ese sentido, se implementan nuevas tecnologías como la ingeniería y la ciencia de datos, o la visualización efectiva de datos para la adecuada toma de decisiones.
(Zamora Sáenz, 2020)	Desde las políticas públicas, se deben generar estrategias para que la nueva ciudadanía digital tenga las capacidades y competencias para pertenecer a la sociedad del conocimiento y, de esta forma, aprovechar las potencialidades que ofrecen las nuevas tecnologías con el fin, de que la ciudadanía tenga nuevas oportunidades al momento de abordar proyectos o generar nuevos emprendimientos que sean pertinentes a la comunidad.
(Tobón et al., 2016)	Desde la sostenibilidad ambiental, la sociedad del conocimiento aporta en la implementación efectiva del trabajo colaborativo por medio de las nuevas tecnologías; es decir, se puede avanzar en mejorar la cobertura de la educación, la salud, entre otros, que permitirá a los individuos promover una cultura ciudadana sobre la importancia de mitigar la contaminación, proteger la fauna y flora, descontaminar ecosistemas y crear soluciones de base tecnológica para proteger el medio ambiente.
(Martínez Cruz, 2020)	Desde lo internacional, a inicios del siglo XXI se genera un nuevo concepto de <i>globalización</i> enmarcado en el desarrollo tecnológico y el resurgimiento y fortalecimiento de las redes computacionales a nivel mundial. Esto permite un alto flujo de información en todas latitudes y genera nuevos escenarios de información que, a través de procesos de aprendizaje y apropiación, se convierten en conocimiento, lo cual favorece el intercambio de saberes de las diferentes culturas y suma esfuerzos para el bien común tanto local como mundial.

ambientales y políticos que transcurren en la línea del tiempo. Las competencias de la sociedad de la información y el conocimiento trabajan sistemáticamente para el progreso y desarrollo de las sociedades, tarea que en la actualidad no ha sido nada fácil debido a las adversidades que se han asumido en estos últimos dos años con la entrada de la pandemia de la covid-19.

Así las cosas, la realización de actividades de investigación aplicada, desarrollo experimental e innovación en los centros de formación del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) e instituciones de educación superior, puede aportar a la adquisición o fortalecimiento de competencias que demanda la sociedad de la información y del conocimiento, a través de diferentes estrategias pedagógicas, como el aprendizaje basado en la investigación, el aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje basado en retos, estrategias que pueden aportar intrínsecamente a los procesos de investigación formativa o a la ejecución de proyectos de innovación. Entonces, el fomento de competencias orientadas a los procesos investigativos puede responder satisfactoriamente a las demandas de la sociedad actual.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido por parte del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), y al Grupo de Investigación en Gerencia y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología (Gigat), por proporcionar espacios destinados a las actividades de reflexión y procesos de investigación.

## REFERENCIAS

- [Acevedo Mena y Romero Espinoza, 2019] Acevedo Mena, K. M. y Romero Espinoza, S. (2019). La educación en la sociedad del conocimiento. *Revista Torreón Universitario*, 8(22), 79-83. <https://doi.org/10.5377/torreon.v8i22.9032>. ↑Ver página 165
- [Alan Neill y Cortez Suárez, 2018] Alan Neill, D. y Cortez Suárez, L. (2018). *Procesos y fundamentos de la investigación científica*. Ediciones UTMACH. ↑Ver página 147
- [Alarcón Suárez, 2020] Alarcón Suárez, R. D. (2020). *La educación digital en Colombia en tiempos de covid-19 y su impacto en las organizaciones educativas*. Universidad Militar Nueva Granada. ↑Ver página 159
- [Alonso Serrano et al., 2012] Alonso Serrano, A., García Sanz, L., León Rodrigo, I., García Gordo, E., Gil Álvaro, B. y Ríos Brea, L. (2012). *Métodos de investigación de enfoque experimental*. Ediciones Experiencia. ↑Ver página 148
- [Álvarez Risco, 2020] Álvarez Risco, A. (2020). *Clasificación de las investigaciones*. Universidad de Lima. ↑Ver página 150

- [Arroyo Herrería, 2019] Arroyo Herrería, F. (2019). *Revolución tecnológica: la era de las competencias blandas*. Universidad de Cantabria. <http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/4434/1/TFG-0122.pdf>. ↑Ver página 158
- [Barragán Sánchez y Buzón García, 2004] Barragán Sánchez, R. y Buzón García, O. (2004). Desarrollo de competencias específicas en la materia tecnología educativa bajo el Marco del Espacio Europeo de Educación Superior. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 3(1), 6. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1067946>. ↑Ver página 157
- [Buscá Donet y Capllonch Bujosa, 2019] Buscá Donet, F. y Capllonch Bujosa, M. (2019). *De las competencias básicas a las competencias profesionales transversales. Aportaciones desde el ámbito de la educación física*. Universidad de Barcelona. ↑Ver página 154
- [Cáceres Mesa y Pérez Maya, 2016] Cáceres Mesa, M. y Pérez Maya, C. (2016). Las competencias y la gestión del conocimiento en el currículo. *Reflexiones. Revista de Cooperación*, 11(9), 272-278. <https://www.revistadecooperacion.com/numero9/numero9.htm> ↑Ver página 157, 161
- [Cámara de Zaragoza, 2011] Cámara de Zaragoza. (2011). ¿Qué diferencias existen entre los conceptos de investigación, desarrollo e innovación? <https://www.camarazaragoza.com/faq/que-diferencias-existen-entre-los-conceptos-de-investigacion-desarrollo-e-innovacion/> ↑Ver página 151
- [Cano, 2019] Cano, C. A. (2019). Dos visiones diferentes de entender la investigación, para la formación en educación superior. *Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo*, 109, 113-120. <https://www.eumed.net/rev/atlante/2019/07/investigacion-educacion-superior.html> ↑Ver página 147
- [Carneiro et al., 2021] Carneiro, R., Toscano, J. C. y Diaz, T. A. (2021). *Los desafíos de las TIC para el cambio educativo*. Organización de Estados Iberoamericanos. ↑Ver página 163
- [Caro Valverde et al., 2003] Caro Valverde, M. T., González García, M. y Valverde González, M. T. (2003). *Las competencias básicas: origen, definición y estrategias didácticas en Lengua y Literatura*. <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/36639/1/Las%20competencias%20b%3%alsicas.%20Origen,%20definici%3%b3n%20estrategias%20did%3%alcticas%20en%20Lengua%20y%20Literatura.pdf>. ↑Ver página 155
- [Casanova Romero, 2011] Casanova Romero, L. (2011). *Transversalidad y desarrollo de competencias profesionales* [Tesis de doctorado]. Universidad del Zulia. ↑Ver página 156
- [Castro Maldonado, 2015] Castro Maldonado, J. J. (2015). *Herramientas virtuales pedagógicas para el entendimiento de controles y automatismos industriales*. en J. C. Arboleda Aparicio (ed.), *Colección pe-*

- agogía iberoamericana: educación para la paz, la comprensión y el desarrollo de competencias* (pp. 89-108). Editorial Redipe. ↑Ver página 153
- [Castro, 2008] Castro, S. (2008). Juegos, simulaciones y simulación-juego y los entornos multimediales en educación ¿mito o potencialidad? *Revista de Investigación*, 65, 223-246. ↑Ver página 153
- [Consejo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica, 2020] Consejo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica. (2020). *Guía práctica para la formulación y ejecución de proyectos de investigación y desarrollo (I+D)*. <https://www.gob.pe/institucion/concytec/informes-publicaciones/1323538-guia-practica-para-la-formulacion-y-ejecucion-de-proyecto-de-investigacion-y-desarrollo>. ↑Ver página 151
- [Constitución Política de Colombia, 1991] Constitución Política de Colombia [Const]. Art. 6. 7 de julio de 1991 (Colombia). ↑Ver página 159
- [Contreras, 2011] Contreras, J. L. (2011). Formación de competencias: tendencias y desafíos en el siglo XXI. *Revista de Ciencias Sociales Universitas*, 15, 109-138. <https://doi.org/10.17163/univ.2011.04>. ↑Ver página 155
- [Cruz Rodríguez, 2019] Cruz Rodríguez, E. C. (2019). Importancia del manejo de competencias tecnológicas en las prácticas docentes de la Universidad Nacional Experimental de la Seguridad (UNES). *Revista Educación*, 43(1), 196-218. <https://doi.org/10.15517/revedu.v43i1.27120>. ↑Ver página 162
- [Dávalos y Narváez, 2013] Dávalos, C. y Narváez, G. (2013). Las competencias: una propuesta conceptual hacia la unificación multidimensional en el contexto de los recursos humanos. *European Scientific Journal*, 4, 391-402. ↑Ver página 153
- [Escudero Sánchez y Cortez Suárez, 2018] Escudero Sánchez, C. L. y Cortez Suárez, L. A. (2018). *Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica*. Editorial UTMACH. <https://n9.cl/bu9hq>. ↑Ver página 151
- [Esteban Nieto, 2018] Esteban Nieto, N. (2018). *Tipos de Investigación*. UNISDG. ↑Ver página 150
- [Flórez Romero et al., 2017] Flórez Romero, M., Aguilar Barreto, A. J., Hernández Peña, Y. K., Salazar Torres, J. P., Pinillos Villamizar, J. A. y Pérez Fuentes, C. A. (2017). Sociedad del conocimiento, las TIC y su influencia en la educación. *Espacios*, 38(35), 39. [www.revistaespacios.com/a17v38n35/a17v38n35p39.pdf](http://www.revistaespacios.com/a17v38n35/a17v38n35p39.pdf). ↑Ver página 162
- [García García, 2009] García García, M. J. (2009). *Evaluación de competencias transversales*. Universidad Europea de Madrid. <https://www.fib.upc.edu/ees/>

[cicleactivitats\\_08-09/mainColumnParagraphs/05/text\\_files/file/](#)

[EvaluacionCompetenciasTransversales.PDF](#). ↑Ver página 156

[González Maura y González Tirados, 2008] González Maura, V. y González Tirados, R. M. (2008). Competencias genéricas y formación profesional: un análisis desde la docencia universitaria. *Revista Iberoamericana de Educación*, 47(47), 185-209. <http://www.rieoei.org/rie47a09.pdf>. ↑Ver página 157

[González *et al.*, 2004] González, J., Wagenaar, R. y Beneitone, P. (2004). Tuning-América Latina: un proyecto de las universidades. *Revista Iberoamericana de Educación*, 35, 151-164. <https://doi.org/10.35362/rie350881>. ↑Ver página 153, 156

[Guevara *et al.*, 2020] Guevara, G., Verdesoto, A. y Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*, 4(3), 163-173. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173). ↑Ver página 149

[Hurtado de Barrera, 2000] Hurtado de Barrera, J. (2000). *Metodología de la investigación holística*. (3.<sup>a</sup> ed.). Fundación Sygal. <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=CATALCO.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=018542>. ↑Ver página 143, 149

[Hurtado Talavera, 2020] Hurtado Talavera, F. J. (2020). La educación en tiempos de pandemia: los desafíos de la escuela del siglo XXI. *Revista Arbitrada del Centro de Investigación y Estudios Gerenciales*, 1(44), 176-187. ↑Ver página 143, 153

[Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación, 2019] Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación [Icfes]. (2019). *Competencias - Glosario Icfes*. <https://www.icfes.gov.co/glosario>. ↑Ver página 153

[Krüger, 2006] Krüger, K. (2006). El concepto de sociedad del conocimiento. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 11(683). <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-683.htm>. ↑Ver página 162

[Ladino Moreno *et al.*, 2021] Ladino Moreno, E. O., García-Ubaque, C. A. y Pineda-Jaimes, J. A. (2021). Development of a mobile APP for interactive learning in civil engineering problems: Application to open-channel hydraulics. *Tecnura*, 25(67), 53-70. <https://doi.org/10.14483/22487638.17820> ↑Ver página 143

[Larrota Castro, 2013] Larrota Castro, S. Y. (2013). La evolución del conocimiento en las organizaciones inteligentes. *Punto de Vista*, 3(5), 121-137. <https://doi.org/10.15765/pdv.v3i5.136>. ↑Ver página 165

- [Latorre Ariño, 2016] Latorre Ariño, M. (2016). *Las competencias y sus clases*. Universidad Marcelino Champagnat. ↑Ver página 155
- [Llanos Mosquera *et al.*, 2021] Llanos Mosquera, J. M., Hidalgo Suarez, C. G. 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 143
- [López Álvarez, D. y Sánchez Carracedo, 2017] López Álvarez, D. y Sánchez Carracedo, F. (2017). Implementación de las competencias genéricas: la experiencia de la Universitat Politècnica de Catalunya. En C. Díaz Villavicencia, *II Encuentro Internacional Universitario, las competencias genéricas en la educación superior, ponencias y conversatorio* (vol. 1, pp. 45-72). Pontificia Universidad Católica del Perú. [http://cdn02.pucp.education/academico/2016/06/24194836/II\\_EncuentroInt\\_competencias\\_genericas\\_en\\_edusup.pdf](http://cdn02.pucp.education/academico/2016/06/24194836/II_EncuentroInt_competencias_genericas_en_edusup.pdf). ↑Ver página 154
- [Lozada, 2016] Lozada, J. (2016). Investigación aplicada: definición, propiedad intelectual e industria. *Cienciaamérica*, 1(3), 34-39. <http://www.uti.edu.ec/documents/investigacion/volumen3/06Lozada-2014.pdf>. ↑Ver página 145
- [Manterola y Tamara, 2013] Manterola, C. y Tamara, O. (2013). Por qué investigar y cómo conducir una investigación. *International Journal of Morphology*, 31(4), 1498-1504. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022013000400056>. ↑Ver página 147
- [Martín y Escanilla, 2007] Martín, A. y Escanilla, O. (2007). Competencias para un mundo cognoscente. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 21(2-3), 137-148. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=27412797009>. ↑Ver página 161
- [Martínez Cruz, 2020] Martínez Cruz, R. G. (2020). La sociedad de la información y el conocimiento. *Analéctica*, 6(39), 459-464. <https://doi.org/10.2307/j.ctv10qr0v2.28>. ↑Ver página 165
- [Mateo Villodres, 2010] Mateo Villodres, L. (2010). Origen y desarrollo de las Competencias Básicas en Educación Primaria. *Temas para la Educación: Revista Digital para Profesionales de la Enseñanza*, 1(7), 1-17. ↑Ver página
- [Maturana Moreno y Guzmán Chitiva, 2019] Maturana Moreno, G. y Guzmán Chitiva, F. (2019). Las competencias blandas como complemento de las competencias duras en la formación escolar. *Euritmia. Investigación, Ciencia y Pedagogía*, 1, 2-13. ↑Ver página 158
- [Méndez Escobar, 2020] Méndez Escobar, A. (2020). *Educación en tiempos de pandemia (covid-19)*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). <https://doi.org/10.19052/ruls.voll1.iss85.4>. ↑Ver página 152

- [Ministerio de Educación del Perú, 2021] Ministerio de Educación del Perú. (2021). *Planificador 2021. Orientaciones para la planificación y evaluación de los aprendizajes*. <https://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/7243>. ↑Ver página 158, 159, 160
- [Muntané, 2010] Muntané, J. R. (2010). *Introducción a la investigación básica*. [https://www.researchgate.net/publication/341343398\\_Introduccion\\_a\\_la\\_Investigacion\\_basica](https://www.researchgate.net/publication/341343398_Introduccion_a_la_Investigacion_basica). ↑Ver página 150
- [Navarro Ascencio *et al.*, 2017] Navarro Ascencio, E., Jiménez García, E., Rappoport Redondo, S. y Thoilliez Ruano, B. (2017). Fundamentos de la investigación y la innovación educativa. *Revista Complutense de Educación*, 29(1). <https://doi.org/10.5209/rced.57163> ↑Ver página 147, 152
- [Navarro, 2018] Navarro, R. (2018). *Trabajo de investigación. Teoría, metodología y práctica*. Universidad César Vallejo. ↑Ver página 147, 152
- [OEA, 2022] Organización de los Estados Americanos. (21 de octubre de 2022). *Sociedad del Conocimiento*. [http://archive.iwlearn.net/oas.org/es/temas/sociedad\\_conocimiento.html](http://archive.iwlearn.net/oas.org/es/temas/sociedad_conocimiento.html). ↑Ver página 162
- [Organización Internacional del Trabajo, 2019] Organización Internacional del Trabajo. (15 de octubre de 2019). *Perspectivas sociales y del empleo en el mundo*. [https://www.ilo.org/global/research/global-reports/weso/trends2022/WCMS\\_834068/lang--es/index.htm](https://www.ilo.org/global/research/global-reports/weso/trends2022/WCMS_834068/lang--es/index.htm). ↑Ver página 161
- [OCDE, 2005] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2005). *La definición y selección de competencias clave. Resumen ejecutivo*. <https://www.deseco.ch/bfs/deseco/en/index/03/02.parsys.78532.downloadList.94248.DownloadFile.tmp/2005.dsceexecutivesummary.sp.pdf>. ↑Ver página
- [OCDE, 2010] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2010). *Habilidades y competencias del siglo XXI para los aprendices del nuevo milenio en los países de la OCDE*. <http://www.ite.educacion.es/>. ↑Ver página
- [OCDE, 2015] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2015). *Manual de Frascati 2015. Guía para la recopilación de las actividades científicas, tecnológicas y de innovación*. <https://doi.org/10.1787/9789264310681-es>. ↑Ver página 143, 150, 151, 152, 155, 159
- [OCDE, 2019] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2019). *El trabajo de la OCDE sobre Educación y competencias*. <https://www.oecd.org/education/El-trabajo-de-la-ocde-sobre-educacion-y-competencias.pdf>. ↑Ver página 158

- [Peiró, 2003] Peiró, J. M. (2003). Las competencias en la sociedad de la información: nuevos modelos formativos. *Centro Virtual Cervantes*, 1(1), 4. ↑[Ver página 164](#)
- [Pelayo, 2018] Pelayo, L. (2018). ¿Competencias duras o competencias blandas? *ElDíadeCórdoba.es*. [https://www.eldiadecordoba.es/cordoba/Competencias-duras-competencias-blandas\\_0\\_1305769672.html](https://www.eldiadecordoba.es/cordoba/Competencias-duras-competencias-blandas_0_1305769672.html). ↑[Ver página 158](#)
- [Pérez Zúñiga *et al.*, 2018] Pérez Zúñiga, R., Mercado Lozano, P., Martínez García, M., Mena Hernández, E. y Partida Ibarra, J. Á. (2018). La sociedad del conocimiento y la sociedad de la información como la piedra angular en la innovación tecnológica educativa. *RIDE: Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 8(16), 847-870. <https://doi.org/10.23913/ride.v8i16.371>. ↑[Ver página 164](#)
- [Presidencia de la República de Colombia, 2013] Presidencia de la República de Colombia. Decreto 2852 de 2013, “por el cual se reglamenta el Servicio Público de Empleo y el régimen de prestaciones del Mecanismo de Protección al Cesante, y se dictan otras disposiciones”. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=55854>. ↑[Ver página](#)
- [Presidencia de la República, 2015] Presidencia de la República. Decreto 1330 de 2019, “Por el cual se sustituye el Capítulo 2 y se suprime el Capítulo 7 del Título 3 de la Parte 5 del Libro 2 del Decreto 1075 de 2015 -Único Reglamentario del Sector Educación”. <https://www.mineducacion.gov.co/portal/normativa/Decretos/387348:Decreto-1330-de-julio-25-de-2019>. ↑[Ver página](#)
- [Quecedo y Castaño, 2002] Quecedo, R. y Castaño, C. (2002). Introducción a la metodología de investigación cualitativa. *Revista de Psicodidáctica*, 14, 5-39. ↑[Ver página 147](#)
- [Raciti, 2015] Raciti, P. (comp.). (2015). *La medición de las competencias transversales en Colombia: una propuesta metodológica*. Eurosocial. <http://sia.eurosocial-ii.eu/files/docs/1444897404-DT34.pdf>. ↑[Ver página 156, 160](#)
- [Ramírez, 2009] Ramírez V, A. (2009). La teoría del conocimiento en investigación científica: una visión actual. *Anales de la Facultad de Medicina*, 70(3), 217-224. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1025-55832009000300011&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1025-55832009000300011&script=sci_arttext). <https://doi.org/10.15381/anales.v70i3.943> ↑[Ver página 162](#)
- [Rodríguez Llera, 2007] Rodríguez Llera, J. L. (2007). Teoría de la educación. Educación y cultura. *Teoría de la Educación. Educación y cultura*, 8(3), 4-5. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=201017307001>. ↑[Ver página 164](#)
- [Rodríguez Puerta, 2021] Rodríguez Puerta, A. (2021). *Competencias específicas: tipos, para qué sirven y ejemplos*. Lifeder. <https://www.lifeder.com/competencias-especificas-tipos-para-que-sirven-y-ejemplos/>. ↑[Ver página 157](#)

- [Rojas Ayala, 2019] Rojas Ayala, L. C. (2019). *El uso de los portales educativos para la construcción de sociedades del conocimiento, en el aula para mejorar los procesos de aprendizaje en el área de educación para el trabajo para los alumnos del tercer año "A" de la institución educativa columna Pasco de Cerro de Pasco* [Tesis de grado]. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/682>. ↑Ver página 150
- [Sabino, 1996] Sabino, C. (1996). *El proceso de investigación*. Editorial Panapo. ↑Ver página 148
- [Salazar Ospina et al., 2017] Salazar Ospina, O. M., Rodríguez Marín, P. A., Ovalle Carranza, D. A. y Duque Méndez, N. D. (2017). Interfaces adaptativas personalizadas para brindar recomendaciones en repositorios de objetos de aprendizaje. *Tecnura*, 21(53), 107-118. <https://doi.org/10.14483/22487638.9287>. ↑Ver página 143
- [Escudero Sánchez y Cortez Suárez, 2018] Escudero Sánchez, C. L. y Cortez Suárez, L. A. (2018). *Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica*. Editorial UTMACH. ↑Ver página 145
- [SENA, 2012] Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (2012). *Circular SENA 344 del 2012*. [https://normograma.sena.edu.co/normograma/docs/circular\\_sena\\_0344\\_2012.htm](https://normograma.sena.edu.co/normograma/docs/circular_sena_0344_2012.htm). ↑Ver página 160
- [Sierra Villamil, 2019] Sierra Villamil, G. M. (2019). *Modelo educativo formación en competencias universidad EAN*. Universidad EAN. ↑Ver página 143, 156
- [Sierra Villamil y Vargas Castro, 2017] Sierra Villamil, G. M. y Vargas Castro, N. A. (2017). Divulgación de metodologías activas de evaluación del aprendizaje por competencias. *Revista Universidad Católica Luis Amigó*, 1, 98. <https://doi.org/10.21501/25907565.2651>. ↑Ver página 153
- [Súa Nieto et al., 2016] Súa Nieto, D. L., Gómez Velasco, N. Y. y Eslava, S. (2016). Significado psicológico del concepto investigación en investigadores. *Diversitas: Perspectivas en Psicología*, 12(1), 109-121. <https://doi.org/10.15332/10.15332/s1794-9998.2016.0001.08> ↑Ver página 146
- [Supo y Cavero, 2014] Supo, F. y Cavero, H. (2014). *Fundamentos teóricos y procedimentales de la investigación científica en Ciencias Sociales*. Universidad Nacional del Altiplano. <https://www.felipesupo.com/wp-content/uploads/2020/02/Fundamentos-de-la-Investigación-Científica.pdf>. ↑Ver página 147, 148, 149, 163
- [Tobón, 2008] Tobón, S. (2008). *Formación basada en competencias. Pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica*. (2.<sup>a</sup> ed.). Ecoe Ediciones. ↑Ver página 154

- [Tobón, 2013] Tobón, S. (2013). *Transversalidad y desarrollo de competencias para la sociedad del conocimiento*. Instituto CIFE. [https://seminariorepensarlabioquimica.files.wordpress.com/2016/01/s26-srbq-fad910\\_serjio\\_tobon-\\_3\\_.pdf](https://seminariorepensarlabioquimica.files.wordpress.com/2016/01/s26-srbq-fad910_serjio_tobon-_3_.pdf). ↑Ver página 164
- [Tobón *et al.*, 2015] Tobón, S., Cardona, S., Vélez Ramos, J. y López Loya, J. (2015). Proyectos formativos y desarrollo del talento humano para la sociedad del conocimiento. *Acción Pedagógica*, 24(1), 20-31. ↑Ver página 164
- [Tobón *et al.*, 2016] Tobón, S., Guzmán, C. E., Hernández, J. S. y Cardona, S. (2016). Sociedad del conocimiento: estudio documental desde una perspectiva humanista y compleja. *Revista Paradigma*, 36(2), 1-23. ↑Ver página 165
- [Tobón *et al.*, 2015] Tobón, S., Guzmán, C. E., Silvano Hernández, J. y Cardona, S. (2015). Sociedad del conocimiento: Estudio documental desde una perspectiva humanista y compleja. *Paradigma*, 36(2), 7-36. ↑Ver página 164
- [Villardón-Gallego, 2015] Villardon-Gallego, L. (2015). *Competencias genéricas en educación superior. Metodologías específicas para su desarrollo*. Narcea. ↑Ver página 162
- [Villodres Mateo, 2010] Villodres Mateo, L. (2010). Origen y desarrollo de las competencias básicas en educación primaria. *Revista Digital para Profesionales de la Enseñanza*, 1(7), 1-17. <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd6989.pdf>. ↑Ver página 154, 155
- [Viloria Cedeño, 2016] Viloria Cedeño, N. E. (2016). *Metodología para investigaciones aplicadas con enfoque transdisciplinario: sociales y tecnológicas*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. ↑Ver página 150
- [Waltman *et al.*, 2010] Waltman, L., Van Eck, N. J. y Noyons, E. C. M. (2010). A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. *Journal of Informetrics*, 4(4), 629-635. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.07.002>. ↑Ver página 144
- [Zamora Sáenz, 2020] Zamora Sáenz, I. (2020). Una aproximación a la ciudadanía digital en México: acceso, habilidades y participación política. *Cuadernos de Investigación*, 1(72), 27. <http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/handle/123456789/5094>. ↑Ver página 165



## Artificial Intelligence and Computer-Supported Collaborative Learning in Programming: A Systematic Mapping Study

### Inteligencia artificial y aprendizaje colaborativo asistido por computadora en la programación: un estudio de mapeo sistemático

Carlos Giovanni Hidalgo-Suárez <sup>1</sup>, Víctor Andrés Bucheli-Guerrero <sup>2</sup>, Hugo Armando Ordóñez-Eraso <sup>3</sup>

Fecha de Recepción: 20 de febrero de 2022

Fecha de Aceptación: 26 de septiembre de 2022

**Cómo citar:** Hidalgo., C.G. Bucheli-Guerrero., V.A. y Ordóñez-Eraso., H.A. (2023). Artificial Intelligence and Computer-Supported Collaborative Learning in Programming: A Systematic Mapping Study. *Tecnura*, 27(75), 175-206. <https://doi.org/10.14483/22487638.19637>

### Abstract

**Objective:** The Computer-Supported Collaborative Learning (CSCL) approach integrates artificial intelligence (AI) to enhance the learning process through collaboration and information and communication technologies (ICTs). In this sense, innovative and effective strategies could be designed for learning computer programming. This paper presents a systematic mapping study from 2009 to 2021, which shows how the integration of CSCL and AI supports the learning process in programming courses.

**Methodology:** This study was conducted by reviewing data from different bibliographic sources such as Scopus, Web of Science (WoS), ScienceDirect, and repositories of the GitHub platform. It employs a quantitative methodological approach, where the results are represented through technological maps that show the following aspects: i) the programming languages used for CSCL and AI software development; ii) CSCL software technology and the evolution of AI; and iii) the ACM classifications, research topics, artificial intelligence techniques, and CSCL strategies.

**Results:** The results of this research help to understand the benefits and challenges of using the CSCL and AI approach for learning computer programming, identifying some strategies and tools to improve the process in programming courses (e.g., the implementation of the CSCL approach strategies used to form groups, others to evaluate, and others to provide feedback); as well as to control the process and measure student results, using virtual judges for automatic code evaluation, profile identification, code analysis, teacher simulation, active learning activities, and interactive environments, among others. However, for each process, there are still open research questions.

**Conclusions:** This work discusses the integration of CSCL and AI to enhance learning in programming courses and how it supports students' education process. No model integrates the CSCL approach with AI techniques, which allows implementing learning activities and, at the same time, observing and analyzing the evolution of the system and how its users

<sup>1</sup>Systems engineer, Master of Engineering, PhD student. Assistant professor at Universidad del Valle, Cali, Colombia. Email: [carlos.hidalgo@correounivalle.edu.co](mailto:carlos.hidalgo@correounivalle.edu.co)

<sup>2</sup>Systems engineer, master's degree in Engineering and Computing, PhD in engineering. Full professor at Universidad del Valle, Cali, Colombia. Email: [victor.bucheli@correounivalle.edu.co](mailto:victor.bucheli@correounivalle.edu.co)

<sup>3</sup>Systems engineer, master's degree in Engineering and Computing, PhD in Engineering. Full professor at Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. Email: [hugoordonez@unicauca.edu.co](mailto:hugoordonez@unicauca.edu.co)

(students) improve their learning skills with regard to programming. In addition, the different tools found in this paper could be explored by professors and institutions, or new technologies could be developed from them.

**Keywords:** artificial intelligence, computer programming, computer-supported collaborative learning, learning computer programming

---

## Resumen

**Objetivo:** El enfoque de aprendizaje colaborativo asistido por computadora (CSCL) integra la inteligencia artificial (IA) para mejorar el proceso de aprendizaje a través de la colaboración y las tecnologías de la información y la comunicación (TICs). En este sentido, se podrían diseñar estrategias innovadoras y efectivas para el aprendizaje de la programación de computadoras. Este artículo presenta un estudio sistemático de mapeo de los años 2009 a 2021, el cual muestra cómo la integración del CSCL y la IA apoya el proceso de aprendizaje en cursos de programación.

**Metodología:** Este estudio se realizó mediante una revisión de datos proveniente de distintas fuentes bibliográficas como Scopus, Web of Science (WoS), ScienceDirect y repositorios de la plataforma GitHub. El trabajo emplea un enfoque metodológico cuantitativo, en el cual los resultados se representan a través de mapas tecnológicos que muestran los siguientes aspectos: i) los lenguajes de programación utilizados para el desarrollo de software de CSCL e IA; ii) la tecnología de software CSCL y la evolución de la IA; y iii) las clasificaciones, los temas de investigación, las técnicas de inteligencia artificial y las estrategias de CSCL de la ACM.

**Resultados:** Los resultados de esta investigación ayudan a entender los beneficios y retos de usar el enfoque de CSCL e IA para el aprendizaje de la programación de computadoras, identificando algunas estrategias y herramientas para mejorar el proceso en cursos de programación (*e.g.*, La implementación de estrategias del enfoque CSCL utilizadas para formar grupos, de otras para evaluar y de otras para brindar retroalimentación); así como para monitorear el proceso y medir los resultados de los estudiantes utilizando jueces virtuales para la evaluación automática del código, identificación de perfiles, análisis de código, simulación de profesores, actividades de aprendizaje activo y entornos interactivos, entre otros. Sin embargo, aún hay preguntas investigación por resolver para cada proceso.

**Conclusiones:** Este trabajo discute la integración del CSCL y la IA para mejorar el aprendizaje en cursos de programación y cómo esta apoya el proceso educativo de los estudiantes. Ningún modelo integra el enfoque CSCL con técnicas de IA, lo cual permite implementar actividades de aprendizaje y, al mismo tiempo, observar y analizar la evolución del sistema y de la manera en que sus usuarios (estudiantes) mejoran sus habilidades de aprendizaje con respecto a la programación. Adicionalmente, las diferentes herramientas encontradas en este artículo podrían ser exploradas por profesores e instituciones, o podrían desarrollarse nuevas tecnologías a partir de ellas.

**Palabras clave:** inteligencia artificial, programación de computadoras, aprendizaje colaborativo asistido por computadora, aprendizaje de programación

---

## Table of contents

	Page
<a href="#">Introduction</a>	177
<a href="#">Methodology</a>	178
<a href="#">Construction of technological maps</a> . . . . .	183

<b>Results</b>	<b>184</b>
Technological map of programming languages . . . . .	184
Evolution timeline . . . . .	186
Technological map according to the ACM Computing Classification System (CCS) . . . . .	190
Classification of strategies according to CSCL processes and types of software . . . . .	190
<b>Conclusions</b>	<b>195</b>
<b>References</b>	<b>196</b>

## INTRODUCTION

In Computer Science (CS), programming courses have a higher attrition rate compared with other courses (Figueiredo & García-Peñalvo, 2018, Munson & Zitovsky, 2018, Zingaro *et al.*, 2018). The use of collaborative approaches in programming courses has shown satisfactory results by providing skills, aptitudes, and good practices, among other benefits (Suárez *et al.*, 2021). The Computer Supported Collaborative Learning (CSCL) approach integrates artificial intelligence (AI) to improve the learning process through collaboration and information and communication technology (ICT) (Kozma, 2000, Loizzo & Ertmer, 2016, Docq & Daele, 2001, Solarte-Pabón & Machuca-Villegas, 2019, Thomas *et al.*, 2002). According to Magnisalis *et al.*, 2011, the CSCL approach is based on the following processes: a) Group Formation (GF support): forming student groups to obtain the best results from collaboration; b) Learning Domain (LD support): evaluating student learning activities with the help computers; c) Path of Interaction (PI support): the student receives comments on learning outcomes. The literature shows some projects that integrate CSCL processes with artificial intelligence (AI) techniques, such as Machine Learning to automatically identify groups of students according to their profiles or natural language processing for the automatic assessment of code (Casamayor *et al.*, 2009, Costaguta & de los Angeles Menini, 2014, Black & Wiliam, 1998, Varier *et al.*, 2017).

However, in the literature, there is no state-of-the-art technique that shows how the integration of CSCL and AI impacts and improves the learning process in programming courses. This paper presents a systematic mapping study based on tech mining (Mohammadi, 2012), which was conducted by reviewing data from scientific documents such as journals and conference proceedings from Scopus, WoS, and ScienceDirect, in addition to data extraction and analysis from repositories in the GitHub platform. The final corpus contains 316 records: 90 papers and 226 repositories. This, with the aim to understand the evolution of programming languages, technologies, tools, and strategies based on CSCL and AI to support teaching in programming courses.

This paper has three sections. The first section presents the methodology in three parts related to the elaboration of the mapping study: research questions and expected results, data protocol, and the construction of technological map visualizations. The second section shows the expected results,

classified into four aspects: the commonly used programming languages in the development of technologies and learning tools based on CSCL and AI; the timeline of the evolution of projects, tools, and technologies; the strategies for CSCL processes based on AI; and the classification of the reference corpus according to the ACM Computing Classification System (CCS) (ACM, n.d.). Finally, based on the results, the third section discusses and concludes what is needed to improve the learning process in programming courses.

## METHODOLOGY

This section details the process carried out to elaborate the mapping study of the learning programming process as supported by CSCL and AI. It includes the sources of information, the search functions, and the selection criteria used to construct the final reference corpus and the procedures for analysis and technological mapping.

This mapping study is based on tech mining, which aims to generate practical intelligence using analytical and visualization applications for data analysis (Choi *et al.*, 2012, Mohammadi, 2012, Barab *et al.*, 1997, Antonenko *et al.*, 2012). Thus, future technologies and innovations can be anticipated, ensuring long-term competitiveness and supporting decision-making processes (Jonassen, 2012, Capelo & Dias, 2009, Fadde, 2009).

This systematic review aims to find the technological wave and cutting-edge research of CSCL and AI in the programming learning process by solving four questions of interest, as shown in Table 1.

**Table 1.** Research questions

ID	Research questions
1	What programming languages are the most used for software development based on CSCL and AI?
2	What is the timeline of projects, tools, and technologies based on CSCL and AI?
3	How are strategies classified according to CSCL processes and software types?
4	How does the integration of CSCL and AI improve the learning process in programming courses?

**Source:** Authors

### Protocol data

**Selection of data sources.** Two sources of information were used to cover research and technological information, where the following was considered: i) documents from journals and conferences published on the Internet, books, and websites from reliable sources; and ii) data from the GitHub soft-

ware repositories, which is the most popular open-source code platform among developers. GitHub contains information on more than 3,5 million software developers and more than 23 million repositories since 2008 (GitHub, 2018).

**Search and data filters.** Table 2 shows ten search functions specific to the Scopus, ScienceDirect, Web of Science (WoS), and GitHub data sources. The search functions included keywords taken from experts in this field, as well as from researchers and programming professors. In addition, the Table shows how many documents were obtained for each data source and the total records per query.

**Table 2.** Search functions, data source, and total records per query

ID	Queries	Source	Total records
1	("cscl AND ("programming course OR introduction to programming courses"))	Scopus	23
2	("cscl" AND "programming course") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, ENGI"))	Scopus	16
3	("learning to programming")) AND (cscl) AND(programmingcourse)AND (LIMIT-TO(SUBJAREA," COMP"))	Scopus	20
4	("cscl" AND "programming course")) AND (groups) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, SSOCI"))	ScienceDirect	13
5	((("cscl" AND "programming course") AND assessment))	ScienceDirect	13
6	TS=(learning programming AND cscl)	Web of Science	11
7	TI=(programming course) AND TS = computer supported collaborative learning	Web of Science	26
8	(platforms to learn to program+cscl)	GitHub	93
9	(programming course+artificial intelligence+cscl)	GitHub	145
10	(platforms to programming course+cscl)	GitHub	39

**Source:** Authors

The above queries resulted in 122 papers and 277 repositories, out of which 83 pieces of data were excluded based on four criteria such as research or project, incomplete information, missing name

of publication, conference or journal, low number of citations, stars, copies, and forks. A PRISMA diagram showing the search and filters is shown in Figure 1. After filtering the information, the final corpus contained 316 records: 90 papers and 226 repositories. Table 3 shows the records filtered by each data source.

**Table 3.** Final corpus of references to carry out the mapping study

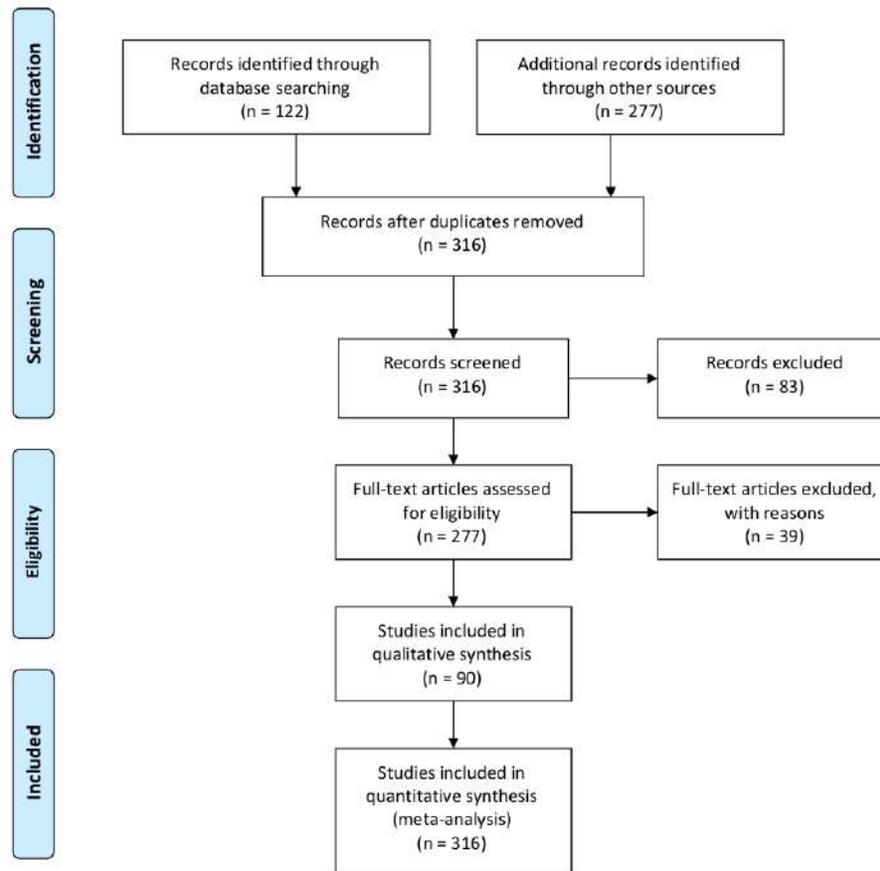
Equation ID	Source	Excluded	Final score	Total records
1	Scopus	4	19	48
2	Scopus	3	13	
3	Scopus	4	16	
4	ScienceDirect	6	7	17
5	ScienceDirect	1	10	
6	Web of Science	10	16	25
7	Web of Science	2	9	
8	GitHub	14	79	224
9	GitHub	20	125	
10	GitHub	19	20	

**Source:** Authors

As seen in Figure 1, the implementation of PRIMA is divided into four sections, as follows:

- *Identification:* this allows to identify how many records have been obtained from the queries of the different data sources.
- *Screening:* all the information is collected, forming a data corpus.
- *Eligibility:* according to the exclusion criteria mentioned above, the data are filtered to obtain a final corpus. In this section, the records that are not qualitative are also identified.
- *The item included:* a dataset with structured information is obtained which can be processed for analysis.

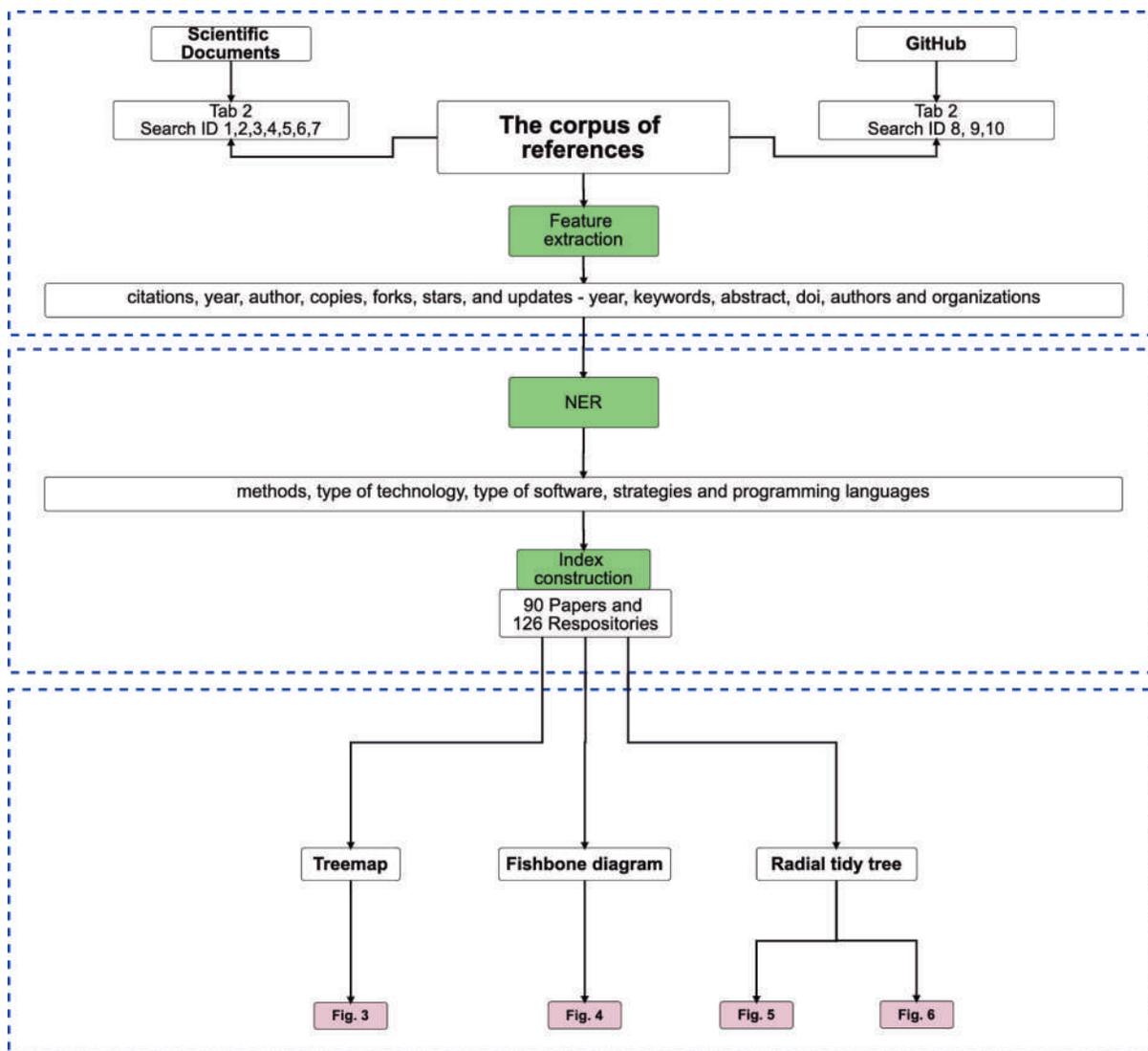
**Technological maps and visualizations.** The systematic review of the mapping was supported by technical maps generated semi-automatically through tools and computational techniques. Technological maps were constructed based on information from the reference corpus. The systematic mapping study is represented by four technological maps that are displayed using the following visualizations: treemap (Google Inc, n.d.), Radial Tidy Tree (vega, n.d.), and fishbone (D3, n.d.).



**Figure 1.** Flow diagram for a review of CSCL and AI in programming learning through repositories and scientific documents

**Source:** Authors.

Figure 2 shows the workflow of this study, which involved three processes. The first one, the corpus of references, contains information from repositories and scientific documents. On the one hand, the features of the repositories were extracted: citations, year, author, copies, forks, stars, and updates. On the other hand, the features of the scientific documents were extracted: year, keywords, abstract, DOI, authors, and organizations. In the second process, the extracted features were processed by a NER (name entity recognition), a technique of natural language processing (NLP) that extracts specific entities from the text (*e.g.*, cities, names, and others). NER-Spacy (Vasiliev, 2020) was used to extract the following features from the text fields of the corpus of references: methods, type of technology, type of software, strategies, and programming languages. The index construction task aimed to divide and organize the reference corpus information by years, types of software, and software categories. The third process involved constructing technological maps using three types of visualizations: treemap, radial tidy, and fishbone. The treemap is used to display large amounts



**Figure 2.** Workflow for the construction of technological maps from the reference corpus

**Source:** Authors.

of hierarchically structured (tree structured) data. The space in the visualization is divided into rectangles that are sized and sorted by a quantitative variable. The levels in the hierarchy are displayed as rectangles that contain other rectangles. Each set of rectangles on the same level in the hierarchy represents a column or an expression in a data table. Each individual rectangle at a level in the hierarchy represents a category in a column. The radial tidy tree is a node link tree diagram of classes in a package hierarchy, positioned in polar coordinates using Vega's tree transform. Adjusting the parameters shows layouts suitable for general trees or cluster dendrograms. Fishbone is a representation tool for categorizing the potential causes of a problem or evolution of a problem in order to identify

its root causes. Typically used to identify progress analysis, a fishbone diagram combines the practice of organization charts with a mind map template.

### Construction of technological maps

The technological map of programming languages represents the most used programming languages and the development trends in technologies for learning programming. This technological map was constructed by means of the cooccurrence process, in which the repositories that belong to the same programming language are grouped. In the process, the TAGs or labels of the NER are included in a vector. The set of vectors constitutes a matrix of programming language cooccurrences. Thus, if the label contains information about the programming language, a value of 1 is assigned to the vector; otherwise, it is 0. The cooccurrence matrix is transformed into a square matrix, and it becomes the input of the treemap. Each rectangle that represents a programming language consists of rectangles that represent repositories. The largest rectangle at the top left corner represents the most important programming language, and the smallest rectangle at the bottom right corner represents the least important one. The orange tone represents a repository in the upper hierarchy, while a green tone represents a repository in the lower hierarchy, based on the most cited, copied, and cloned studies, as well as on forks.

The evolution timeline depicts the technological evolution of the subject under study. It presents the dynamics of the most relevant projects, of the type of technologies, and of the programming languages used in each period. To summarize, the map shows the evolution of the technologies for learning programming in one decade. The technological map is elaborated by performing the following tasks:

- a) The reference corpus is organized by the number of stars, cites, and forks in the repositories, as well as by the number of citations in the papers. To this effect, the fishbone presents the most relevant projects over time.
- b) The reference corpus is grouped using a data ontology that contains categories and subcategories of the Computing Classification System (CCS) ([ACM, n.d.](#)). The fishbone shows the type of technologies extracted from the CCS.
- c) The cooccurrence of the programming languages is determined. For each year, the languages are grouped into three categories: more relevant, relevant, and less relevant. The relevance is associated with the number of repositories that use a programming language for a given year.
- d) Finally, the extracted information is manually organized into the fishbone.

As for the technological map according to the Computing Classification System (CCS), the reference corpus was grouped using a data ontology of the Association for Computing Machinery ([ACM, n.d.](#)). The cooccurrence was determined in order to identify which repository or paper belonged to

a category of the CCS. A vector represents one reference, in which each category or subcategory appears or not. Thus, the set of vectors constitutes a matrix of CSS cooccurrences, where, if the reference contains information about the category or subcategory, a value of 1 is assigned to the vector; otherwise, it is 0. The cooccurrence matrix is transformed into a square matrix, and it becomes the input of the radial tidy tree graph. Thus, the references are shown by CCS categories and subcategories.

For the technological map of AI-based CSCL strategies, the reference corpus was grouped by CSCL strategies, methods, or algorithms. In addition, it was determined whether the reference was related to artificial intelligence. While elaborating this technological map, the references of the corpus were classified according to the following criteria:

- a) Is the reference a strategy, a method, or an algorithm?
- b) Does the strategy, method, or algorithm refer more than four times to the same paper or repository?
- c) Is the strategy, method, or algorithm based on CSCL and AI?

If a reference meets the three criteria, it is stored in a segment of a vector. Then, its cooccurrence is determined. Thus, the vector is represented as a coincidence matrix, which is then transformed into a square matrix, which will in turn be the input for the radial tidy tree graph.

## RESULTS

This study found the most used programming languages in the development of technologies and learning tools based on CSCL and AI (Figure 3), and it aided in the elaboration of a timeline of the evolution of the projects, the types of technologies used, and the most relevant programming languages from 2009 to 2019 (Figure 4). It also classified the information according to the categories and subcategories of the ACM Computing Classification System (CCS) (Figure 5), as well as the strategies based on CSCL processes and AI techniques (Figure 6).

### Technological map of programming languages

The review and analysis of the programming languages used in the development of tools based on CSCL and AI in programming courses aided that of the technological trends and specifications of the new technologies. From 2007 to 2021, 31 programming languages were used to develop 226 software projects to support the programming learning process. The most used languages were Python with 15,6 %, JavaScript with 15,0 %, and Java with 12,1 %. Other programming languages complete the remaining 53 %, such as Jupyter Notebook, R, C++, Matlab, Objective-C, and Rust, among others.

In the development and research carried out to improve the learning of programming, there are issues related to the correct identification of the programming paradigm. Through a review of historical projects, these paradigms could be identified and grouped in order to provide a correct approach for new projects in this regard. In this review, the programming languages were classified by paradigm: 56 % belong to the object-oriented paradigm, 27 % to the functional paradigm, 9 % to the logical paradigm, and 8 % to the imperative paradigm. It is important to mention that, out of the 31 languages, 19,35 % are multi-paradigm, such as Python, JavaScript, C++, Jupyter Notebook, Objective-c, and Rust (Figure 3).



**Figure 3.** Programming languages used in the development of technologies based on CSCL and AI for improving the learning process in programming courses

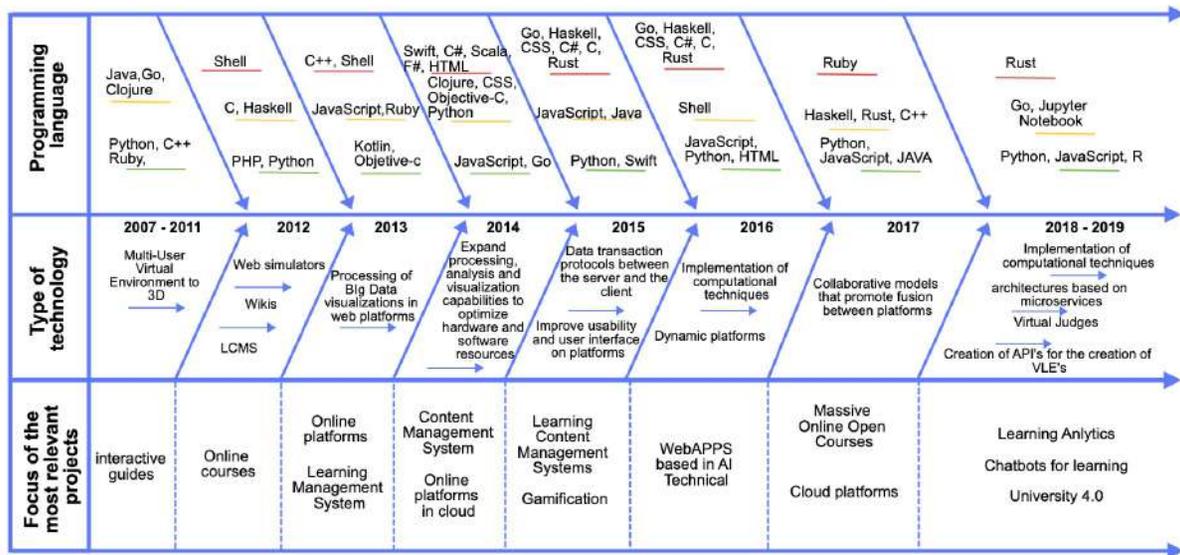
**Source:** Authors.

In the repositories, it was found that there is affinity between programming languages for a specific development. For Python, JavaScript, and Java, most of the projects found are focused on online learning platforms (nsoojin, n.d., Leocardoso94, n.d., Haghghatlari *et al.*, 2020) and standalone platforms such as EVEA (vieiraeduardos, n.d.), Muse (sainuguri, n.d.), and Classroom (Karanval, n.d.). R and C++ complement each other in data processing and low-level programming tasks, where the software exchanges information directly with the hardware. Other languages such as Objective-C, Matlab, and Julia are integrated with Jupyter Notebook and design languages such as CSS in order to process large amounts of data and build interactive visualizations. Languages such as Python are combined with R and Java and used for technical implementations such as machine learning, natural language processing, and deep learning. JavaScript, R, and C++ are integrated to build projects that implement techniques based on neural networks, knowledge discovery in databases, and data mining.

The languages were grouped according to the computational tasks in which they are most used. That is to say, in data processing: R, Python, Node, and Java; for scaling applications: R, C++, Ruby, and Python; for data visualization: JavaScript and Python with HTML and CSS; for multiple processes (threads): Python, Ruby, and Node; and for adaptive and responsive tasks: JavaScript and Python.

### Evolution timeline

The technological evolution of programming learning from 2009 to 2021 was studied in the corpus of repositories. For each year, the most relevant repositories, programming languages, and technologies were identified. Figure 4 describes the projects over one decade. In the first years, the projects were related to online platforms, online courses, content management systems, web apps for learning, and massive online open courses (MOOC). In the last years, the projects focused on cloud platforms and intelligent learning management systems.



**Figure 4.** Evolution of the best projects, types of technologies, and most relevant programming languages for improving the learning process in programming courses

Source: Authors.

From 2009 to 2011, there were web application developments based on the client server architecture, where processes are executed on the machine and displayed in the web browser. The programming languages used to process data in the backend were C ++ and Ruby; to display in the frontend, Python, JavaScript, Java, Go, and Clojure were used. The most relevant projects involve interactive guides that use multi-user interaction and basic 3D environments to learn a programming language, such as ruby-kickstart (Cheek, 2019), go-book (Yuuta, 2019), html5-gamebook (Williams et al., 2002),

and the Stanford Machine Learning Course ([Pathrabe et al., 2019](#)). Interactive guides are resources designed to reinforce student learning in a virtual environment through audio and video. Some of the strategies used were the intelligent tutoring system ([Triantafillou et al., 2002](#)) and the rule-based system ([Magnisalis et al., 2011](#)).

In 2012, the improvements were made to interactive guides via games with 3D graphics, wikis, and learning assistants, where the interaction between teacher and student is supported by the computer. Programming languages such as PHP, Scala, C, and Haskell pioneered the development of platforms that support group learning in UML (unified modeling language) design problems such as jgltut ([integeruser, n.d.](#)), ElixirSchool ([philss, n.d.](#)), and ZeroBraneEduPack ([pkulchenko, n.d.](#)). These types of platforms are considered to be the basis of current projects such as Repl.it, Pastebin, and CodePen ([Lafleur, 2017](#)). On the other hand, the Learning Content Management System (LCMS) appears in Moodle ([Moodle, n.d.](#)), Chamilo ([chamilo, n.d.](#)), and Evolcampus ([S.L., n.d.](#)), which supports user management and is designed to provide educators, administrators, and learners with a single robust, secure, and integrated system to create personalized learning environments. The term *e-learning* became popular with virtual teaching methodologies. Some of the CSCL strategies created are adaptive hypermedia systems (AHS) ([Yang & Luo, 2007](#)) and e-learning systems ([Debdi et al., 2015](#)).

The high-performance computing processes used in online learning platforms forces companies and developers to build new architectures that allow optimizing resources. In 2013, exploration began on frameworks such as CakePHP ([PHP5.3, n.d.](#)), Kotlin ([Kotlin, n.d.](#)), and Django ([django, n.d.](#)) using the MVC model (model view template). This model allows improving the speed of platforms. The first platforms to integrate this model were Minerva ([dmlc, 2019](#)), LetsCode ([Drupal, 2014](#)), and Modern-JOGL ([jvm, n.d.](#)). These platforms support programming courses through the teaching of block programming. Moreover, new libraries were created to visualize large amounts of data as the first steps in the use of artificial intelligence techniques such as Machine Learning were taken ([Pea et al., 1999](#)).

In 2014, the common use of the Python and JavaScript frameworks significantly improved the development of analysis tools, source code tests, tools with visualizations that allow interpreting data, and integration with visualization libraries such as bootstrap, jQuery, and CSS styles. 2014 was characterized by the development of platforms for video conferences and augmented reality projects such as [tparisi, 2012](#) and ([Edgarjcfn, 2014](#)). Similar projects have been developed in academies and are currently integrated into Google, Coursera, and Platzi ([Coursera, 2014](#)). In this vein, some CSCL strategies include JigSaw learning ([Gutwin et al., 2013](#), [Magnisalis et al., 2011](#)) and *Predict student behavior* ([Desmarais & Baker, 2012](#)).

Between 2015 and 2016, educational platforms aided by audio and video were developed under the concept of gamification (*i.e.*, platforms that support learning through games which foster soft skills and knowledge management). The methods used in the teaching tools allow achieving goals by means of collaboration. The main developments were based on languages such as Python, Swift, JavaScript, and Java. The platforms that stand out are Free Code Camp ([Porrás et al., 2007](#)), Class-

roomWiki ([Khandaker, 2010](#)), and JavaStud ([yrojha4ever, 2015](#)). Other platforms, such as tpot ([EpistasisLab, n.d.](#)) and Dex ([johnlee175,](#) ), use machine learning to improve students' writing style in a programming language. For these years, different uses of the strategies were reported: the Coalition Formation Algorithm ([Yang & Luo, 2007](#)) and the Team Syntegrity Model (TSM) ([hnshhslsh, 2016](#)).

Between 2017 and 2018, it became necessary for the platforms developed in different programming languages to run in any software and hardware environment. JavaScript is a pioneer in the implementation of microservices (MS) architectures, using lightweight and portable containers for applications that work in any environment. The MS-based repositories reported for these years are Judge ([Aglío, 2016](#)), an online open-source judge API to compile and execute code with given test data; and judge ([hnshhslsh, 2016](#)), GreedExCol ([Debdi et al., 2015](#)), and uoj ([vfleaking, 2016](#)), which rely on containers with Moby technology (formerly Docker) to optimize data I/O processes. The CSCL strategies for this period were based on two processes: evaluation with *Adaptive hypermedia systems* (AHS) ([Triantafillou et al., 2002](#)) and feedback with *Predict student behavior* ([Desmarais & Baker, 2012](#)).

Finally, from 2019 to 2021, languages such as Python, Objective-C, and Java were updated to execute their processes under MS-based architectures through frameworks such as Angular 6, Swift 8, and Java 9. This change caused the development of learning platforms for programming to increase. However, in this context, each participant learns individually, and the professor does not have direct interaction with the students, which is why the learning approach is not appropriate in online platforms. The CSCL approach appears with platforms that integrate practice and theory for students and professors without having to be present in a classroom. This includes Sabo ([tokers, 2016](#)), Judge ([University, 2015](#)), and LeetCode ([wty21cn, 2016](#)) by Apple. Since 2018, platforms have focused on the specific processes of CSCL. For GF support, there are platforms such as: SunnyJudge ([yudazilian, 2017](#)) and timus ([Soh et al., 2005](#)): for LD support: INGINIOUS ([luvoain, n.d.](#)), UNcode ([Restrepo-Calle et al., 2018](#)), SunnyJudge (0xyd), and Trakla ([trakla, n.d.](#)); and, for PI support: PutongOJ and collaborative-online-judge ([cqlzx, 2017](#)). Currently, languages such as Python support CSCL processes through computational AI techniques based on prediction ([Camisole, 046](#)), deep learning (Rank-Face) ([Entropy-xy, 2017](#)), and classification (Sun-Judge) ([yudazilian, 2017](#)). These projects, rather than being judges of a code, are able to evaluate the code of an application to know if it is optimal.

By reviewing the most relevant projects within the timeline, the projects based on CSCL and AI to improve the learning process in programming courses were identified. According to GitHub, these projects are in six software categories: software methodologies, compilation errors, software design, help with the style of the source code, artificial intelligence platforms, and virtual judges. Table 4 shows the most important projects of this review, grouped by the categories of the GitHub software, computational techniques, and CSCL processes. The relevance of a project in GitHub depends on the number of stars, copies, contributors, and forks.

Below are some works found in the review of the GitHub repositories. These projects apply some strategies based on CSCL (Table 4).

**Table 4.** Most important projects between 2009 to 2021 grouped by the categories of the GitHub software, computational techniques, and CSCL processes

Project	Categories	ML	DL	NLP	DV	DM	CSCL process
ElixirSchool	LMS					X	GF
Minerva	Software methodologies	X			X	X	GF
CodeBuddies	Compilation errors				X	X	LD
GreedExCol	Software design	X	X		X		LD
ClassroomWiki	AI platform			X	X		GF
I-MINDS	Virtual judge	X			X	X	PI
UNCode INGInious	Virtual judge	X			X	X	PI

**Source:** Auhors.

*ElixirSchool* ([philss, n.d.](#)) is the premier destination for people looking to learn and master the Elixir programming language. This platform aims for people with little knowledge to join people with a lot of experience. They have an algorithm that identifies which people should work in teams according to their abilities.

Minerva ([dmlc, 2019](#)) forecasts code and, based on this, it plans codes to keep students at an optimal level. To maintain this manually can take a long time and be surprisingly complex, so Minerva makes people with an optimal level periodically review their codes.

*CodeBuddies* ([codebuddies, n.d.](#)): community-organized hangouts for learning programming together.

*GreedExCol* ([Debdi et al., 2015](#)): a CSCL system designed to support collaboration in experimental optimality results for greedy algorithms. GreedExCol supports the discussion between the members of a small group of up to four students. The methodology for working with GreedExCol is as follows: first, each student performs their individual work (experimental research); then, the results obtained by each one are shared and discussed, so that they can propose the functions that are considered to be optimal.

*ClassroomWiki* ([Khandaker, 2010](#)): a collaborative web-based Wiki writing platform. For students, ClassroomWiki provides a web interface to write and review their group's Wiki, as well as and a thematic forum to discuss their ideas during collaboration. When students collaborate, ClassroomWiki tracks all student activities and builds detailed models of the students who present their contributions to their groups. ClassroomWiki is based on a multiagent framework that uses student models to

form groups of students and improve collaborative learning. Through CSCL processes, Classroom-Wiki supports the formation of active learning groups and rubrics.

*I-MINDS* (Soh *et al.*, 2008) is a software solution for the intelligent management of classrooms or virtual groups in order to support activities both in real-time and offline, facilitating group work, adapting to the needs and background of individual users, and assisting moderation and group management. Its technology is based on intelligent software agents that autonomously interact on behalf of users. A useful tool to provide better support in CSCL processes, I-MINDS supports group formation and feedback. It does not have a code evaluator, but it does evaluate content.

*UNCode* (Restrepo-Calle *et al.*, 2018): this educational environment offers summative and formative comments by evaluating the functionality of computer programs. When faced with a programming problem, students must write a solution and validate it through the automatic grading tool of the educational environment. Summative feedback is offered through verdicts of the programs, which indicate whether the syntax, semantics, and efficiency of the program are correct or have some type of error. Based on these verdicts, a rating is assigned to the solutions proposed by the students. In addition, the environment also offers formative comments through different mechanisms that support the student in the improvement of the proposed programming solutions.

## Technological map according to the ACM Computing Classification System (CCS)

In the classification of the corpus of references, three results were found. First, according to the categories and subcategories of the CCS (Figure 5), 20 % of the repositories and papers focus on collaborative learning with multiple agents based on cooperative methods, virtual education, and virtual classes. 16 % focus on data analysis through tools, social software, and network analysis. 15,3 % are e-learning and b-learning systems. For the remaining percentage, the projects are divided into the formation of groups, roles, and wikis. Second, in the analysis of projects and documents based on CSCL processes with artificial intelligence support, 15 % are data mining, 12 % involve natural language processing, 20 % use neural networks, and 7 % use predictive and statistical methods. Third, the references were classified as follows: 23 % are academic courses, 12 % are Application Programming Interfaces (APIs), 9 % are software platforms, 13 % are learning games, and 36 % are platforms and learning tools.

## Classification of strategies according to CSCL processes and types of software

10 strategies based on CSCL and AI were found. Each of the strategies has a specific purpose within GF, LD, and PI support. Figure 6 shows the grouping between the corpus of references and the strategies found. Each strategy is detailed below:

- i) **VALCAM algorithm.** This algorithm makes use of a virtual currency (V) in the following manner. The system agent works as the provider and accountant of the virtual currency. Every time



- the user agents form a coalition and perform the required task, their individual and group performances are evaluated by the system and group agents, respectively. After the evaluation, the system agent rewards each user agent's individual performance, while each group agent rewards each user agent's performance as a group member (Soh *et al.*, 2006a, Soh *et al.*, 2008).
- ii) **JigSaw learning.** The JigSaw technique is a method for organizing classroom activities that makes students dependent on each other to succeed. It breaks classes into groups and breaks assignments into pieces that the group assembles to complete (a jigsaw puzzle) (Gutwin *et al.*, 2013, Magnisalis *et al.*, 2011).
  - iii) **Adaptive educational system (AES).** An AES is mainly a system that aims to adapt some of its key functional characteristics (for example, content presentation and/or navigation support) to the learner's needs and preferences. Thus, an adaptive system operates differently for different learners, considering information accumulated in individual or group learner models (Debdi *et al.*, 2015, Triantafillou *et al.*, 2002).
  - iv) **Intelligent tutoring system (ITS).** It aims to provide learner tailored support during the problem-solving process, as a human tutor would do. To achieve this, ITS designers apply techniques from the broader field of Artificial Intelligence (AI) and implement extensive modeling of the problem-solving process in the specific domain of application (Triantafillou *et al.*, 2002).
  - v) **Adaptive hypermedia systems (AHS).** It builds a user model of the goals, preferences, and knowledge of the individual user, and it uses this model to adapt the content of pages and the links between them to his/her needs. The variables that user models include can be classified as *user-dependent*, which includes those directly related to the user and define him/her as an individual, and as *user-independent*, which affect the user indirectly and are mainly related to the context of a user's work with a hypermedia application (Yang & Luo, 2007).
  - vi) **Rule-based system.** It uses the Constraint-Based Modeling (CBM) approach (i.e., it represents the domain knowledge as a set of constraints and a rule-based system) and offers adaptive/intelligent support by providing learners with hints during individual and group problem-solving processes, as well as feedback on peer interaction based on individual student contributions. Results show that CBM is an effective technique for both modeling and supporting students in developing collaboration skills (the participants acquired both declarative knowledge about good collaboration and did collaborate more effectively) (Magnisalis *et al.*, 2011).
  - vii) **Coalition Formation Algorithm.** In the initial state, all agents are mutually independent and not cooperative. Hereafter, as the agents acquire unceasingly more knowledge from the system and the environment, every agent may form some coalition on the basis of certain principles by consulting and comparing. Each coalition is considered as an independent entirety. All members in the coalition cooperate fully, so the coalition will be allowed to draw support from

the abilities and resources of other members to complete tasks more efficiently than a single agent (Yang & Luo, 2007).

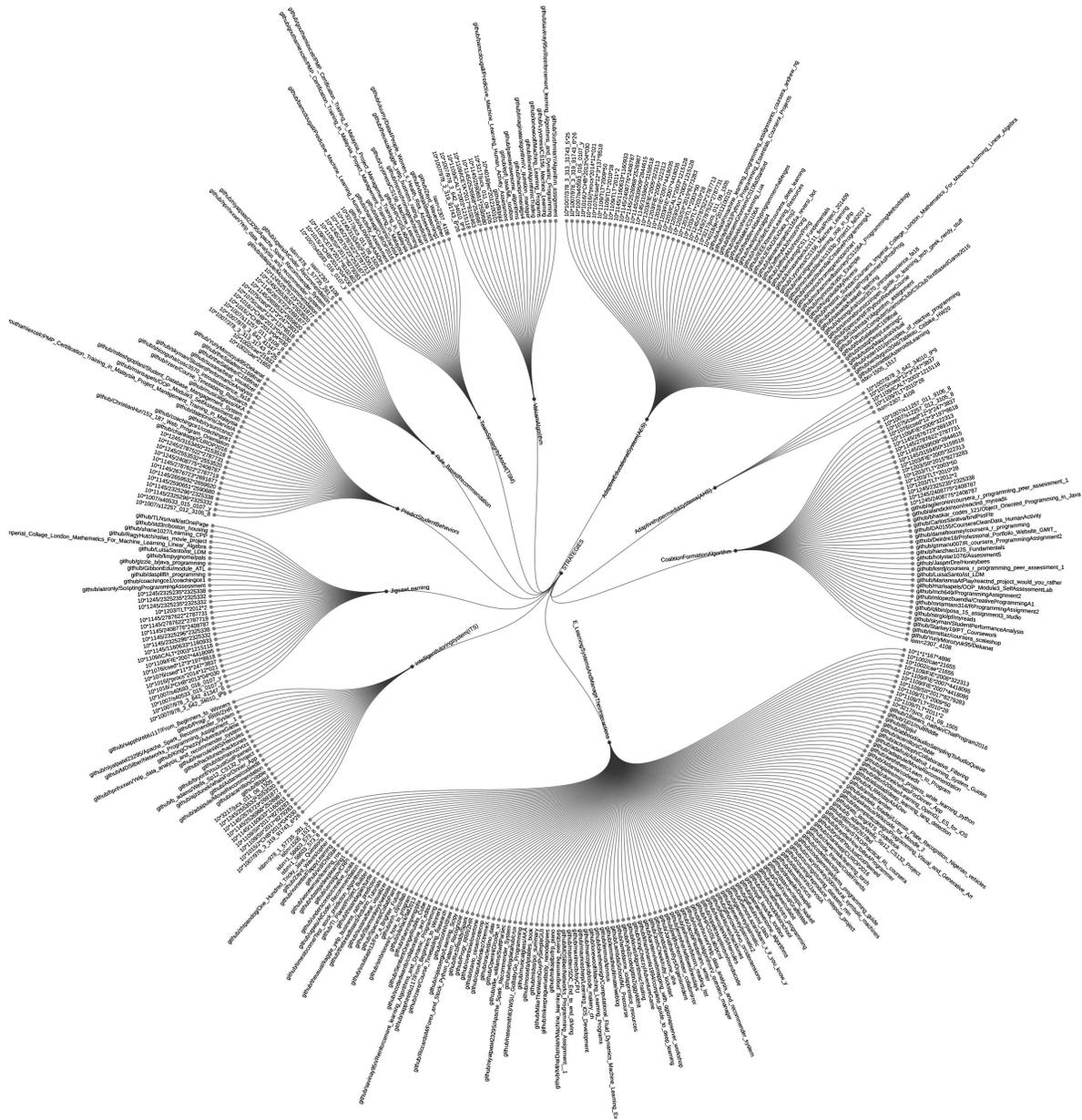
- viii) **E-learning systems.** E-learning can be thought of as the learning process created by interaction with digitally delivered content, services, and support. It involves the intensive use of information and communication technologies (ICTs) to serve, facilitate, and revolutionize the learning process (Debdi *et al.*, 2015).
- ix) **Predict student behavior.** A prediction model whose main objectives are automatically predicting students' performance and helping to measure and improve their goals (Abdulwahhab & Abdulwahab, 2017, Qiu *et al.*, 2016).
- x) **Team Syntegrity Model (TSM)** is a new process developed by Stafford Beer to allow groups to work together in a democratic, nonhierarchical fashion in order to capture their best thinking. It is a particularly appropriate process to use when groups are characterized by high levels of diversity (Asproth *et al.*, 2011, Leonard, 2011).

Table 5 groups each strategy according to the type of implementation (manual or technological), the specific process of the CSCL to which it points, and the number of papers that explain its documentation or implementation.

**Table 5.** Final corpus of references to carry out the mapping study

Strategy	CSCL process	Tools found
Valcam algorithm	GF	8
Predict student behavior	GF	12
Team syntegrity model	GF	9
JigSaw learning	LD	14
Adaptive education system	LD	18
Intelligent tutoring system	LD	19
Adaptive hypermedia system	LD	5
Rule-based system	PI	15
Coalition formation algorithm	PI	18
E-learning systems	PI	15

Source: Authors.



**Figure 6.** The corpus of references classified by AI-based CSCL strategies  
**Source:** Authors.

\*

## CONCLUSIONS

Based on the technological mining methodology, a reference corpus was constructed with 316 documents and repositories from 2009 to 2019. In the corpus analysis, this study obtained relevant information on how the integration of CSCL and AI improves the process of learning programming through four technological maps that show the programming languages and paradigms for software development, the evolution of the tools that support programming learning, and the classification of the corpus according to CCS categories, subcategories, and strategies based on CSCL and AI. In addition, the proposed methodology can support other research works in the construction of the state of the art. However, it is necessary to improve the process of semiautomatic construction of technological maps, as well as to implement new techniques for data extraction, storage, and analysis.

The results of this research help to understand the benefits and challenges of using the CSCL and AI approach in the programming learning process. Some strategies and tools have been identified, indicating that there are multiple and varied ways to implement this approach, such as the implementation of CSCL strategies used to form groups, to evaluate, and to provide feedback, as well as the use of AI computational techniques to control the process and measure student results using virtual judges for automatic code assessment, profile identification, code analysis, teacher simulation, active learning activities, and interactive environments, among others. However, there are still open research questions.

Regarding the GF support process, strategies are currently being implemented to group students by numerical categories, abilities and skills, student profile, and weighted maxima and minima. Moreover, these strategies have been supported by AI to automatically identify and group using Machine Learning methods (Thomas *et al.*, 2002, Bennedsen *et al.*, 2008, Wiggins *et al.*, 2015, Soh *et al.*, 2006a, Soh *et al.*, 2006b, Costa *et al.*, 2017) and probability and statistical methods (Salcedo & Idrobo, 2011, Hazzan *et al.*, 2003). However, this study did not find a CSCL strategy or AI-supported tool that groups computer programming students. Thus, the following question arises: How should CSCL and AI strategies be implemented to form groups in programming courses?

As for the LD support process, automatic code assessment appears in the form of virtual judges that are used in programming competitions, encouraging their integration into academic programming courses. However, virtual judges implemented as a method of teaching programming are not enough to foster logic and abstraction skills. Therefore, different learning platforms have appeared, such as I-MIND (Khandaker, 2010), UNCode (Restrepo-Calle *et al.*, 2018), and INGInious (luvoain, n.d.), among others, which allow automatically assessing code, controlling the learning process, and obtaining an analysis of the results. However, this tool falls short in the evaluation of syntactic and semantic code, code style, multiparadigm compilers, and plagiarism identification. In this paper, some strategies supported by AI which could improve the code assessment process, but there are still questions to be answered: What would be the best method for automatic code assessment? How can

students achieve programming proficiency through automatic code assessment?

In the case of PI support, programming content feedback is a difficult question to answer, since each student has a different programming style, but there are currently tools such as GreedEx-Col (Debdi *et al.*, 2015) and ClassroomWiki (Khandaker, 2010), and I-MINDS (Soh *et al.*, 2008) which identify the syntactic structure tree of a programming language in order to compare it with the student's code. This form of feedback has proven to work well. However, when evaluating by competencies or with a numerical system, this feedback is not so effective, as it needs to be more precise. AI and the CSCL could improve this process, helping to solve questions such as: How does AI improve the process of providing feedback from the source code? How could CSCL strategies be implemented in programming learning tools?

In the development and documentation of tools that support the learning of programming, there is still work to be done. On the one hand, there are no tools that implement all CSCL processes. With respect to the use of AI techniques, out of the tools found, 7% implement AI techniques, but only 1% is documented. On the other hand, there is no model that integrates the CSCL approach with AI techniques, thus allowing to implement learning activities and to observe and analyze the evolution of the system and how its users (students) improve their skills. In addition, the different tools found in this paper could be explored by professors and institutions, or new technologies could be developed from them.

In further studies, new alternatives will be explored to improve the process of learning programming, including aspects related to the implementation of tools, statistical methods, and learning analyses based on CSCL and AI that enrich and allow monitoring students' training process, improving good programming practices, soft skills, and fostering greater collaboration and individual and group abstraction.

## REFERENCES

- [Abirami & Kiruthiga, 2018] Abirami, A. M., & Kiruthiga, P. (2018). Collaborative learning tools for data structures. *Journal of Engineering Education Transformations*, 31(3), 79-83. <https://doi.org/10.16920/jeet/2018/v31i3/120763> ↑Ver página
- [Abdulwahhab & Abdulwahab, 2017] Abdulwahhab, R. S., & Abdulwahab, S. S. (2017). *Integrating learning analytics to predict student performance behavior* [Conference presentation]. 2017 6th International Conference on Information and Communication Technology and Accessibility (ICTA), Muscat (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICTA.2017.8336060> ↑Ver página 193
- [ACM, n.d.] ACM (n.d.). *CCS 2012*. <https://dl.acm.org/ccs/ccs.cfm> ↑Ver página 178, 183
- [Aglío, 2016] Aglio (2016). *Judge0 ap*. <https://api.judge0.com/> ↑Ver página 188

- [Agredo-Delgado *et al.*, 2018] Agredo-Delgado, V., Ruiz, P. H., Collazos, C. A., Alghazzawi, D. M., & Fardoun, H. M. (2018). Towards a framework definition to increase collaboration and achieve group cognition. In P. Zaphiris & A. Ioannou (Eds.), *Learning and Collaboration Technologies: Design, Development, and Technological Innovation* (pp. 337-349). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91743-6\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91743-6_26) ↑Ver página
- [Antonenko *et al.*, 2012] Antonenko, P. D., Toy, S., & Niederhauser, D. S. (2012). Using cluster analysis for data mining in educational technology research. *Educational Technology Research and Development*, 60(3), 383-398. <https://doi.org/10.1007/s11423-012-9235-8> ↑Ver página 178
- [Asproth *et al.*, 2011] Asproth, V., Nyström, C. A., Olsson, H., & Oberg, L.-M. (2011). Team syntegrity in a triple loop learning model for course development. *Issues in Information Science and Information Technology*, 8, 1-11. <https://doi.org/10.28945/1400> ↑Ver página 193
- [Bandrowski *et al.*, 2016] Bandrowski, A., Brush, M., Grethe, J. S., Haendel, M. A., Kennedy, D. N., Hill, S., Hof, P. R., Martone, M. E., Pol, M., Tan, S. C., Washington, N., Zudilova-Seinstra, E., & Vasilevsky, N. (2016). The resource identification initiative: A cultural shift in publishing. *Journal of Comparative Neurology*, 524(1), 8-22. <https://doi.org/10.1002/cne.23913> ↑Ver página
- [Barab *et al.*, 1997] Barab, S. A., Bowdish, B. E., & Lawless, K. A. (1997). Hypermedia navigation: Profiles of hypermedia users. *Educational Technology Research and Development*, 45(3), 23-41. <https://doi.org/10.1007/BF02299727> ↑Ver página 178
- [Bennedsen *et al.*, 2008] Bennedsen, J., Caspersen, M. E., & Kolling, M. (Eds.) (2008). *Reflections on the teaching of programming*. Springer. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-77934-6> ↑Ver página 195
- [Bevan *et al.*, 2002] Bevan, J., Werner, L., & McDowell, C. (2002). Guidelines for the use of pair programming in a freshman programming class. In IEEE (Eds.), *Proceedings of the 15th Conference on Software Engineering Education and Training (CSEE&T 2002)* (pp. 100-107). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CSEE.2002.995202> ↑Ver página
- [Black & Wiliam, 1998] Black, P., & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *International Journal of Phyto remediation*, 21(1), 7-74. <https://doi.org/10.1080/0969595980050102> ↑Ver página 177
- [Blank *et al.*, 2012] Blank, D., Kay, J. S., Marshall, J. B., O'Hara, K., & Russo, M. (2012). Calico: A multi-programming-language, multi-context framework designed for computer science education. In ACM (Eds.), *Proceedings of the 43rd ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 63-68). <https://doi.org/10.1145/2157136.2157158> ↑Ver página

- [Bratitsis & Demetriadis, 2012] Bratitsis, T., & Demetriadis, S. (2012). Perspectives on tools for computer-supported collaborative learning. *International Journal of e-Collaboration*, 8(4), 73653. <https://doi.org/10.4018/jec.2012100101> ↑Ver página
- [Bravo *et al.*, 2005] Bravo, C., Marcelino, M. J., Gomes, A., Esteves, M., & Mendes, A. J. (2005). Integrating educational tools for collaborative. *Journal of Universal Computer Science*, 11(9), 1505-1517. <https://lib.jucs.org/article/28475/> ↑Ver página
- [Burch, 2009] Burch, C. (2009). Jigsaw, a programming environment for java in CS1. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 24(5), 37-43. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1516595.1516604> ↑Ver página
- [Capelo & Dias, 2009] Capelo, C., & Dias, J. F. (2009). A feedback learning and mental models perspective on strategic decision making. *Educational Technology Research and Development*, 57(5), 629-644. <https://doi.org/10.1007/s11423-009-9123-z> ↑Ver página 178
- [Casamayor *et al.*, 2009] Casamayor, A., Amandi, A., & Campo, M. (2009). Intelligent assistance for teachers in collaborative e-learning environments. *Computers and Education*, 53(4), 1147-1154. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.05.025> ↑Ver página 177
- [chamilo, n.d.] chamilo (n.d.). *chamilo-lms: Chamilo is a learning management system focused on ease of use and accessibility*. <https://github.com/chamilo/chamilo-lms> ↑Ver página 187
- [Cheek, 2019] Cheek, J. (2019). *JoshCheek/ruby-kickstart*. <https://github.com/JoshCheek/ruby-kickstart> ↑Ver página 186
- [Choi *et al.*, 2012] Choi, S., Park, H., Kang, D., Lee, J. Y., & Kim, K. (2012). An SAO-based text mining approach to building a technology tree for technology planning. *Expert Systems with Applications*, 39(13), 11443-11455. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.04.014> ↑Ver página 178
- [codebuddies, n.d.] codebuddies (n.d.). *codebuddies/codebuddies: CodeBuddies.org: Community-organized hangouts for learning programming together – community-built using Meteor*[S]. <https://github.com/codebuddies/> ↑Ver página 189
- [Costa *et al.*, 2017] Costa, E. B., Fonseca, B., Santana, M. A., de Araújo, F. F., & Rego, J. (2017). Evaluating the effectiveness of educational data mining techniques for early prediction of students' academic failure in introductory programming courses. *Computers in Human Behavior*, 73(C), 247-256. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.047> ↑Ver página 195
- [Costaguta & de los Angeles Menini, 2014] Costaguta, R., & de los Angeles Menini, M. (2014). An assistant agent for group formation in CSCL based on student learning styles. In ACM (Eds.), *EATIS '14: Proceedings of the 7th Euro American Conference on Telematics and Information Systems* (art. 24). ACM. <https://doi.org/10.1145/2590651.2590674> ↑Ver página 177

- [Coursera, 2014] Coursera (2014). *An introduction to interactive programming in Python (part 1)*. <https://www.coursera.org/learn/interactive-python-1> ↑Ver página 187
- [cqlzx, 2017] cqlzx (2017). *Collaborative online judge*. <https://github.com/cqlzx/collaborative-online-judge> ↑Ver página 188
- [D3, n.d.] D3 (n.d.). *d3 fishbone*. <http://bl.ocks.org/bollwyvl/9239214> ↑Ver página 180
- [Damasevicius, 2009] Damasevicius, R. (2009). Analysis of academic results for informatics course improvement using association rule mining. In G. A Papadopoulos, W. Wojtkowski, G. Wojtkowski, S. Wrycza, & J. Zupancic (Eds.), *Information Systems Development* (pp. 357–363). Springer. [https://doi.org/10.1007/b137171\\_37](https://doi.org/10.1007/b137171_37) ↑Ver página
- [Debdi et al., 2015] Debdi, O., Paredes-Velasco, M., & Velázquez-Iturbide, J. A. (2015). GreedExCol, A CSCL tool for experimenting with greedy algorithms. *Computer Applications in Engineering Education*, 23(5), 790-804. <https://doi.org/10.1002/cae.21655> ↑Ver página 187, 188, 189, 192, 193, 196
- [Desmarais & Baker, 2012] Desmarais, M. C., & Baker, R. S. (2012). A review of recent advances in learner and skill modeling in intelligent learning environments. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 22, 9-38. <https://doi.org/10.1007/s11257-011-9106-8> ↑Ver página 187, 188
- [django, n.d.] django (n.d.). *The Web framework for perfectionists with deadlines*. <https://www.djangoproject.com/> ↑Ver página 187
- [dmlc, 2019] dmlc (2019, November). *minerva*. *Distributed (Deep) Machine Learning Community*. <https://github.com/dmlc/minerva> ↑Ver página 187, 189
- [Docq & Daele, 2001] Docq, F., & Daele, A. (2001). *Uses of ICT tools for CSCL: How do students make as their's own the designed environment?* <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:75948> ↑Ver página 177
- [Drupal, 2014] Drupal (2014). *letscode*. <http://www.letscode.com/> ↑Ver página 187
- [Echeverría et al., 2017] Echeverría, L., Cobos, R., Machuca, L., & Claros, I. (2017). Using collaborative learning scenarios to teach programming to non-CS majors. *Computer Applications in Engineering Education*, 25(5), 719-731. <https://doi.org/10.1002/cae.21832> ↑Ver página
- [Edgarjcfn, 2014] Edgarjcfn (2014). *Weblet importer*. <http://edgarjcfn.github.io/pylearn/#level01> ↑Ver página 187
- [Entropy-xcy, 2017] Entropy-xcy. (2017). *Rankface*. <https://github.com/Entropy-xcy/RankFace> ↑Ver página 188

- [EpistasisLab, n.d.] EpistasisLab (n.d.). *tpot: A Python automated Machine Learning tool that optimizes machine learning pipelines using genetic programming*. <https://github.com/EpistasisLab/tpot> ↑Ver página 188
- [Fadde, 2009] Fadde, P. J. (2009). Instructional design for advanced learners: Training recognition skills to hasten expertise. *Educational Technology Research and Development*, 57(3), 359-376. <https://doi.org/10.1007/s11423-007-9046-5> ↑Ver página 178
- [Figueiredo & García-Peñalvo, 2018] Figueiredo, J., & García-Peñalvo, F. J. (2018). Building skills in introductory programming. In F. J. García-Peñalvo (Ed.) *Proceedings of the Sixth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality – TEEM'18* (pp. 46-50). ACM. <https://doi.org/10.1145/3284179.3284190> ↑Ver página 177
- [GitHub, 2018] GitHub (2018). *GitHub Octoverse*. <https://octoverse.github.com/> ↑Ver página 179
- [Google Inc, n.d.] Google Inc. (n.d.). Treemaps | Charts. Retrieved 2019-10-17, from <https://developers.google.com/chart/interactive/docs/gallery/treemap> ↑Ver página 180
- [Gutwin et al., 2013] Gutwin, C., Ochoa, S. F., Vassileva, J., & Inoue, T. (Eds.). (2013). *Collaboration and technology* (vol. 8224). Springer. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-63874-4> ↑Ver página 187, 192
- [Haghighatlari et al., 2020] Haghighatlari, M., Vishwakarma, G., Altarawy, D., Subramanian, R., Kota, B. U., Sonpal, A., & Hachmann, J. (2020). ChemML: A machine learning and informatics program package for the analysis, mining, and modeling of chemical and materials data. *WIREs, Computational Molecular Science*, 10(4), e1458. <https://doi.org/10.1002/wcms.1458> ↑Ver página 185
- [Hazzan et al., 2003] Hazzan, O., & Dubinsky, Y. (2003). Teaching a software development methodology: The case of extreme programming. In IEEE (Eds.), *Proceedings 16th Conference on Software Engineering Education and Training, 2003. (CSEE&T 2003)* (pp. 176-184). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CSEE.2003.1191375> ↑Ver página 195
- [hnshhslsh, 2016] hnshhslsh (2016). *virtual-judge*. <https://github.com/hnshhslsh/virtual-judge> ↑Ver página 188
- [integeruser, n.d.] integeruser (n.d.). *jglut: Learning modern 3D graphics programming with LWJGL 3 and JOML*. <https://github.com/integeruser/jglut> ↑Ver página 187
- [johnlee175, ] johnlee175 (n.d.). *dex*. <https://github.com/johnlee175/dex> ↑Ver página 188

- [Jonassen, 2012] Jonassen, D. H. (2012). Designing for decision making. *Educational Technology Research and Development*, 60(2), 341-359. <https://doi.org/10.1007/s11423-011-9230-5> ↑Ver página 178
- [jvm, n.d.] jvm (n.d.). *modern-jogl-examples*. <https://github.com/jvm-graphics-labs/modern-jogl-examples> ↑Ver página 187
- [Karanval, n.d.] Karanval (n.d.). *EVEA: Virtual environment for teaching and learning*. <https://github.com/Karanval/EVEA> ↑Ver página 185
- [Khandaker, 2006] Khandaker, N., Soh, L.-K., & Jiang, H. (2006). *Student learning and team formation in a structured CACL environment*. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.130.2501&rep=rep1&type=pdf> ↑Ver página 188, 189, 195, 196
- [Khandaker, 2010] Khandaker, N., & Soh, L.-K. (2010). ClassroomWiki: A collaborative Wiki for instructional use with multiagent group formation. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 3(3), 190-202. <https://doi.org/10.1109/TLT.2009.50> ↑Ver página 188, 189, 195, 196
- [Kotlin, n.d.] Kotlin (n.d.). *Kotlin programming language*. <https://kotlinlang.org/> ↑Ver página 187
- [Kozma, 2000] Kozma, R. (2000). Reflections on the state of educational technology research and development. *Educational Technology Research and Development*, 48(1), 5-15. <https://doi.org/10.1007/BF02313481> ↑Ver página 177
- [Lafleur, 2017] Lafleur, J. (2017). *How to share code and make it shine*. codeburst. <https://codeburst.io/how-to-share-code-and-make-it-shine-f5ffcea1794f> ↑Ver página 187
- [Leocardoso94, n.d.] Leocardoso94 (n.d.). *Free-Courses: A collection of free courses about programming*. <https://github.com/Leocardoso94/Free-Courses> ↑Ver página 185
- [Leonard, 2011] Leonard, A. (2011). Team synteegrity: A new methodology for group work. *European Management Journal*, 14(4), 407-413. [https://doi.org/10.1016/0263-2373\(96\)00028-X](https://doi.org/10.1016/0263-2373(96)00028-X) ↑Ver página 193
- [Loizzo & Ertmer, 2016] Loizzo, J., & Ertmer, P. A. (2016). MOOCocracy: The learning culture of massive open online courses. *Educational Technology Research and Development*, 64(6), 1013-1032. <https://doi.org/10.1007/s11423-016-9444-7> ↑Ver página 177
- [luvoain, n.d.] luvoain (n.d.). *Installation and deployment — INGINIOUS 0.5.dev0 documentation*. [https://docs.inginius.org/en/v0.5/install\\_doc/installation.html](https://docs.inginius.org/en/v0.5/install_doc/installation.html) ↑Ver página 188, 195

- [Magnisalis *et al.*, 2011] Magnisalis, I., Demetriadis, S., & Karakostas, A. (2011). Adaptive and intelligent systems for collaborative learning support: A review of the field. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 4(1), 5-20. <https://doi.org/10.1109/TLT.2011.2> ↑Ver página 177, 187, 192
- [Mansilla *et al.*, 2014] Mansilla, P. S., Costaguta, R., & Schiaffino, S. (2014). Multi agent model for skills training of CSCL e-tutors. In ACM (Eds.), *EATIS '14: Proceedings of the 7th Euro American Conference on Telematics and Information Systems* (art. 30). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2590651.2590680> ↑Ver página
- [Mohammadi, 2012] Mohammadi, E. (2012). Knowledge mapping of the Iranian nanoscience and technology: A text mining approach. *Scientometrics*, 92(3), 593-608. <https://doi.org/10.1007/s11192-012-0644-6> ↑Ver página 177, 178
- [Moodle, n.d.] Moodle (n.d.). Moodle - Open-source learning platform. <https://moodle.org/?lang=es> ↑Ver página 187
- [Munson & Zitovsky, 2018] Munson, J. P., & Zitovsky, J. P. (2018). Models for early identification of struggling novice programmers. In ACM (Eds.), *SIGCSE '18: Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 699-704). ACM. <https://doi.org/10.1145/3159450.3159476> ↑Ver página 177
- [nsoojin, n.d.] nsoojin (n.d.). *coursera-ml-py: Python programming assignments for Machine Learning by Prof. Andrew Ng in Coursera*. <https://github.com/nsoojin/coursera-ml-py> ↑Ver página 185
- [Pathrabe *et al.*, 2019] Pathrabe, U. A. (2019). *UtkarshPathrabe / Machine-Learning-Stanford-University-Coursera*. <https://github.com/UtkarshPathrabe/Machine-Learning-Stanford-University-Coursera> ↑Ver página 187
- [Pea *et al.*, 1999] Pea, R. D., Tinker, R., Linn, M., Means, B., Bransford, J., Roschelle, J., Hsi, S., Brophy, S., & Songer, N. (1999). Toward a learning technologies knowledge network. *Educational Technology Research and Development*, 47(2), 19-38. <https://doi.org/10.1007/BF02299463> ↑Ver página 187
- [philss, n.d.] philss (n.d.). *Elixir School*. <https://elixirschool.com/es/> ↑Ver página 187, 189
- [PHP5.3, n.d.] PHP5.3 (n.d.). *CakePHP – Build fast, grow solid – PHP Framework – Home*. <https://cakephp.org/> ↑Ver página 187
- [pkulchenko, n.d.] pkulchenko (n.d.). *ZeroBraneEduPack: A collection of simple lessons, scripts, and demos in Lua, suitable for learning programming concepts*. <https://github.com/pkulchenko/ZeroBraneEduPack> ↑Ver página 187

- [Porras *et al.*, 2007] Porras, J., Heikkinen, K., & Ikonen, J. (2007). Code camp: A setting for collaborative learning of programming. *Advanced Technology for Learning*, 4(1), 43-52. <https://doi.org/10.2316/Journal.208.2007.1.208-0906> ↑Ver página 187
- [Qiu *et al.*, 2016] Qiu, J., Tang, J., Liu, T. X., Gong, J., Zhang, C., Zhang, Q., & Xue, Y. (2016). Modeling and predicting learning behavior in MOOCs. In ACM (Eds.), *WSDM '16: Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Web Search and Data Mining* (pp. 93-102). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2835776.2835842> ↑Ver página 193
- [Rahwan, 2007] Rahwan, T. (2007). *Algorithms for coalition formation in multi-agent systems* [Unpublished doctoral dissertation, University of Southampton]. ↑Ver página
- [Restrepo-Calle *et al.*, 2018] Restrepo-Calle, F., Ramírez-Echeverry, J. J., & González, F. A. (2018, July 2-4). *UNCODE: Interactive system for learning and automatic evaluation of computer programming skills* [Conference presentation]. 10th International Conference on Education and New Learning Technologies, Palma, Spain. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2018.1632> ↑Ver página 188, 190, 195
- [sainuguri, n.d.] sainuguri (n.d.). *Muse*. <https://github.com/sainuguri/Muse> ↑Ver página 185
- [Salcedo & Idrobo, 2011] Salcedo, S. L., & Idrobo, A. M. O. (2011, October 12-15). *New tools and methodologies for programming languages learning using the scribbler robot and Alice* [Conference presentation]. 2011 Frontiers in Education Conference (FIE), Rapid City, SD, USA. <https://doi.org/10.1109/FIE.2011.6142923> ↑Ver página 195
- [Soh *et al.*, 2005] Soh, L.-K., Khandaker, N., Liu, X., & Jiang, H. (2005). Computer-supported structured cooperative learning. In C.-K. Looi, D. Jonassen, & M. Ikeda (Eds.), *Proceedings of the 2005 conference on Towards Sustainable and Scalable Educational Innovations Informed by the Learning Sciences: Sharing Good Practices of Research, Experimentation and Innovation* (pp. 428-435). ACM. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1563334.1563390> ↑Ver página 188
- [Soh *et al.*, 2006a] Soh, L.-K., Khandaker, N., Liu, X., & Jiang, H. (2006a). A computer-supported cooperative learning system with multiagent intelligence. In ACM (Eds.), *AAMAS '06: Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems* (pp. 1556-1563). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1160633.1160933> ↑Ver página 192, 195
- [Soh *et al.*, 2006b] Soh, L.-K., Khandaker, N., Liu, X., & Jiang, H. (2006b). Multiagent coalition formation for computer-supported cooperative learning. *IAAI'06: Proceedings of the 18th conference on Innovative applications of artificial intelligence*, 2, 1844-1851. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1597122.1597146> ↑Ver página 195

- [Soh *et al.*, 2008] Soh, L.-K., Khandaker, N., Liu, X., & Jiang, H. (2008). I-MINDS: A multiagent system for intelligent computer-supported collaborative learning and classroom management. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 18(2), 119-151. <http://digitalcommons.unl.edu/csearticles/61> ↑Ver página 190, 192, 196
- [Solarte-Pabón & Machuca-Villegas, 2019] Solarte-Pabón, O., & Machuca-Villegas, L. (2019). Fostering motivation and improving student performance in an introductory programming course: An integrated teaching approach. *Revista EIA*, 16(31), 65. <https://doi.org/10.24050/reia.v16i31.1230> ↑Ver página 177
- [Suárez *et al.*, 2021] Suárez, C. G. H., Guerrero, V. A. B., Calle, F. R., & Osorio, F. A. G. (2021). Estrategia de enseñanza basada en la colaboración y la evaluación automática de código fuente en un curso de programación CS1. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 9(1), 50-60. <https://doi.org/10.17081/invinno.9.1.4185> ↑Ver página 177
- [Thomas *et al.*, 2002] Thomas, L., Ratcliffe, M., Woodbury, J., & Jarman, E. (2002). Learning styles and performance in the introductory programming sequence. *ACM SIGCSE Bulletin*, 34(1), 33-37. <https://doi.org/10.1145/563517.563352> ↑Ver página 177, 195
- [tokers, 2016] tokers (2016). SABO. <https://github.com/tokers/sabo> ↑Ver página 188
- [tparisi, 2012] tparisi (2012). WebVR. <https://github.com/tparisi/WebVR> ↑Ver página 187
- [trakla, n.d.] trakla (n.d.). WWW-TRAKLA. <http://www.cs.hut.fi/tred/WWW-TRAKLA/WWW-TRAKLA.html> ↑Ver página 188
- [Triantafillou *et al.*, 2002] Triantafillou, E., Pomportsis, A., & Georgiadou, E. (2002). AES-CS: Adaptive educational system based on cognitive styles. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=5E362A162F2DFC505C4EB10D5E600A54?doi=10.1.1.2.5116&rep=rep1&type=pdf> ↑Ver página 187, 188, 192
- [University, 2015] University of Quebec (2015). Onlinejudge. <https://onlinejudge.org/> ↑Ver página 188
- [van Gorp, J., & Grissom, 2001] van Gorp, J., & Grissom, S. (2001). An empirical evaluation of using constructive classroom activities to teach introductory programming. *Computer Science Education*, 11(3), 247-260. <https://doi.org/10.1076/csed.11.3.247.3837> ↑Ver página
- [Varier *et al.*, 2017] Varier, D., Dumke, E. K., Abrams, L. M., Conklin, S. B., Barnes, J. S., & Hoover, N. R. (2017). Potential of one-to-one technologies in the classroom: Teachers and students weigh in. *Educational Technology Research and Development*, 65(4), 967-992. <https://doi.org/10.1007/s11423-017-9509-2> ↑Ver página 177

- [Vasiliev, 2020] Vasiliev, Y. (2020). *Natural language processing with Python and spaCy: A practical introduction*. No Starch Press. <https://www.overdrive.com/search?q=F7C72EAA-7BBD-4B45-8957-9B44182DF5B0> ↑Ver página 181
- [vega, n.d.] vega (n.d.). *Radial Tree Layout example*. <https://vega.github.io/vega/examples/radial-tree-layout/> ↑Ver página 180
- [Vesin et al., 2011] Vesin, B., Ivanović, M., Klašnja-Milićević, A., & Budimac, Z. (2011, October 14-16). *Rule-based reasoning for altering pattern navigation in programming tutoring system* [Conference presentation]. 15th International Conference on System Theory, Control and Computing, Sinaia, Romania. ↑Ver página
- [vfleaking, 2016] vfleaking (2016). *Uoj (universal online judge)*. <https://github.com/vfleaking/uoj> ↑Ver página 188
- [vieiraeduardos, n.d.] vieiraeduardos (n.d.). *Classroom: Virtual learning environment*. <https://github.com/vieiraeduardos/classroom> ↑Ver página 185
- [Weber & Brusilovsky, 2001] Weber, G., & Brusilovsky, P. (2001). Elm-art: An adaptive versatile system for web-based instruction. *International Journal of Artificial Intelligence in Education (IJAIED)*, 12, 351-384. <https://sites.pitt.edu/~peterb/papers/JAIEDFinal.pdf> ↑Ver página
- [Wiggins et al., 2015] Wiggins, J. B., Boyer, K. E., Baikadi, A., Ezen-Can, A., Grafsgaard, J. F., Ha, E. Y., Lester, J. C., Mitchell, C. M., & Wiebe, E. N. (2015). JavaTutor. In ACM (Eds.), *SIGCSE '15: Proceedings of the 46th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (p. 599). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2676723.2691877> ↑Ver página 195
- [Williams, 2019] Williams, J. (2019). *html5-game-book*. <https://github.com/jwill/html5-game-book> ↑Ver página 186
- [Williams et al., 2002] Williams, L., Wiebe, E., Yang, K., Ferzli, M., & Miller, C. (2002). In support of pair programming in the introductory computer science course. *Computer Science Education*, 12(3), 197-212. <https://doi.org/10.1076/csed.12.3.197.8618> ↑Ver página 186
- [Yang & Luo, 2007] Yang, J., & Luo, Z. (2007). Coalition formation mechanism in multi-agent systems based on genetic algorithms. *Applied Soft Computing Journal*, 7(2), 561-568. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2006.04.004> ↑Ver página 187, 188, 192, 193
- [Yannibelli & Amandi, 2012] Yannibelli, V., & Amandi, A. (2012). A memetic algorithm for collaborative learning team formation in the context of software engineering courses. In F. Cipolla-Ficarra, K. Veltman, D. Verber, M. Cipolla-Ficarra, & Florian Kammüller (Eds.), *Advances in New Technologies, Interactive Interfaces and Communicability* (pp. 92-103). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-34010-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-34010-9_9) ↑Ver página

- [yrojha4ever, 2015] yrojha4ever (2015). *JavaStud*. <https://github.com/yrojha4ever/JavaStud> ↑Ver página 188
- [yudazilian, 2017] yudazilian (2017). *Sunnyjudge*. <https://github.com/yudazilian/SunnyJudge> ↑Ver página 188
- [Yuuta, 2019] Yuuta (2019, October). *go-book*. <https://github.com/initpy/go-book> ↑Ver página 186
- [Zingaro *et al.*, 2018] Zingaro, D., Taylor, C., Porter, L., Clancy, M., Lee, C., Nam Liao, S., & Webb, K. C. (2018). Identifying student difficulties with basic data structures. In ACM (Eds.), *ICER '18: Proceedings of the 2018 ACM Conference on International Computing Education Research* (pp. 169-177). ACM. <https://doi.org/10.1145/3230977.3231005> ↑Ver página 177



## Evaluando los operadores logísticos. Retos y tendencias

### Evaluating third party logistics. Challenges and trends

Daniela Fernanda Sánchez Polanco <sup>1</sup>, María Alejandra Acevedo Cote <sup>2</sup>, Javier Arturo Orjuela Castro <sup>3</sup>

Fecha de Recepción: 20 de febrero de 2022

Fecha de Aceptación: 26 de septiembre de 2022

**Cómo citar:** Sánchez-Polanco., D.F. Acevedo-Cote., M.A. y Orjuela-Castro., J.A. (2023). Evaluando los operadores logísticos. Retos y tendencias. *Tecnura*, 27(75), 207-237. <https://doi.org/10.14483/22487638.17624>

## Resumen

**Objetivo:** Establecer el estado del arte mediante una revisión de la literatura de las investigaciones teóricas y empíricas, realizadas en las últimas décadas en el ámbito de operadores logísticos.

**Metodología:** Se realizó una revisión sistemática de la literatura en las bases de datos *Web of Science*, *Science Direct*, *Springer Link*, *IEEE*, *Google Académico* y de documentos de entidades que reportan aspectos de logística.

**Resultados:** Se identifican nuevos mecanismos de evaluación y selección, análisis comparativo del sector de operadores logísticos nacionales, con respecto al entorno internacional e identificación de posibles trabajos futuros.

**Conclusiones:** El quehacer de los operadores logísticos colombiano es un campo poco explorado, en cuanto a oportunidades operacionales, así como a las estrategias y metodologías empleadas para su gestión, tanto en condicionales normales como extraordinarias.

**Financiamiento:** Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

**Palabras clave:** operadores logísticos, gestión, selección, evaluación.

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería de Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, integrante de Grupo de Investigación en Cadenas de Abastecimiento, Logística y Trazabilidad GICALyT. Bogotá, Colombia. Email: [dfsanchezp@correo.udistrital.edu.co](mailto:dfsanchezp@correo.udistrital.edu.co)

<sup>2</sup>Estudiante de Ingeniería de Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, integrante de Grupo de Investigación en Cadenas de Abastecimiento, Logística y Trazabilidad GICALyT. Bogotá, Colombia. Email: [maacevedoc@correo.udistrital.edu.co](mailto:maacevedoc@correo.udistrital.edu.co)

<sup>3</sup>Doctor en Ingeniería Industria y Organizaciones, Universidad Nacional de Colombia; magíster en Investigación de Operaciones y Estadística, Universidad Tecnológica de Pereira; especialista en Ingeniería de Producción e Ingeniero Industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; ingeniero de Alimentos, Fundación Universidad Incca de Colombia. Docente de tiempo completo Universidad Distrital Francisco José de Caldas, adscrito a la Facultad de Ingeniería, director de Grupo de Investigación en Cadenas de Abastecimiento, Logística y Trazabilidad GICALyT. Bogotá, Colombia. Email: [jorjuela@udistrital.edu.co](mailto:jorjuela@udistrital.edu.co)

## Abstract

**Objective:** Establish the state of the art through a literature review of theoretical and empirical research conducted in the last decades in the field of logistics operators.

**Methodology:** A systematic review of the literature was carried out in the Web of Science, Science Direct, Springer Link, IEEE and Google academic databases, and of documents from entities that report on logistics aspects.

**Results:** New evaluation and selection mechanisms are identified, as well as a comparative analysis of the national logistics operators sector with respect to the international environment and identification of possible future work.

**Conclusions:** The work of Colombian logistics operators is a little explored field, in terms of operational opportunities, as well as the strategies and methodologies used for their management in both normal and extraordinary conditions. *Financing:* Francisco José de Caldas District University

**Keywords:** Third Party Logistics, Management, Selection, Evaluation.

---

## Tabla de contenidos

	<b>Pág</b>
<b>Introducción</b>	<b>208</b>
<b>Metodología</b>	<b>209</b>
<b>Análisis de resultados de la revisión de la literatura</b>	<b>209</b>
Operadores logísticos . . . . .	211
Tipologías de operadores logísticos . . . . .	213
Gestión de los operadores logísticos . . . . .	216
<b>Selección de los operadores logísticos</b>	<b>217</b>
Evaluación de operadores logísticos . . . . .	218
Importancia de subcontratar operadores logísticos . . . . .	221
Comparación de operadores logísticos . . . . .	223
<b>Conclusiones</b>	<b>224</b>
<b>Trabajos futuros</b>	<b>225</b>
<b>Referencias</b>	<b>225</b>

## INTRODUCCIÓN

Desde los años ochenta se ha visto el proceso de tercerización logística, siendo los operadores logísticos los principales prestadores de este servicio. Con el paso de los años y la aparición de nuevas tendencias de globalización a nivel comercial y tecnológico, sus servicios especializados han requerido una evolución constante. Con el propósito de establecer la dinámica de los operadores logísticos,

en este artículo se realiza una revisión sistemática de la literatura que permite evidenciar los distintos desarrollos, cambios, retos y tendencias, en particular la situación de Colombia con respecto al mundo. El artículo responde a la necesidad de establecer un concepto de los operadores logísticos actuales, una taxonomía de los tipos de operadores, su evolución y gestión, así como la comparación entre los diferentes operadores en América, incluyendo Colombia, Asia, Oceanía y Europa, lo que permite identificar trabajos futuros. El texto se encuentra organizado en seis secciones: a) introducción; b) metodología; c) concepto de operador logístico, tipologías, gestión, métodos de selección y evaluación, importancia de la subcontratación, comparación a escala internacional; d) conclusiones; e) trabajos futuros, y f) referencias.

## METODOLOGÍA

Con el fin de establecer el estado del arte, se empleó la metodología propuesta por [Rincón Ballesteros et al. \(2017\)](#), la revisión sistemática de la literatura comenzó al plantear preguntas orientadoras, seguido del protocolo y estrategia de búsqueda, revisión y criterios de selección, extracción de datos, síntesis de datos e informe, las cuales se sintetizarán en la tabla 1.

Se plantearon las siguientes preguntas orientadoras: ¿Qué estrategias de gestión han sido desarrolladas en el ámbito internacional, para los operadores?, ¿son los operadores importantes en las actividades logísticas de una organización?, ¿cómo se lleva a cabo el proceso de selección y evaluación de los operadores logísticos?

Luego se realizó una búsqueda exhaustiva en las bases de datos *Web of Science*, *Science Direct*, *Springer Link*, *IEEE* y *Google Académico*, por medio de las ecuaciones de búsqueda *third party logistic*, *3pl* y *4pl*; para el caso de la búsqueda de publicaciones de habla hispana, fueron empleados los términos operadores logísticos, *3pl* y *4pl*, de lo que se obtuvo un total de 116 artículos, de los cuales 85 se encontraron en inglés y 31 en español, estos se discriminaron como se presenta en la etapa de revisión y criterios de selección de la tabla 1.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE LA LITERATURA

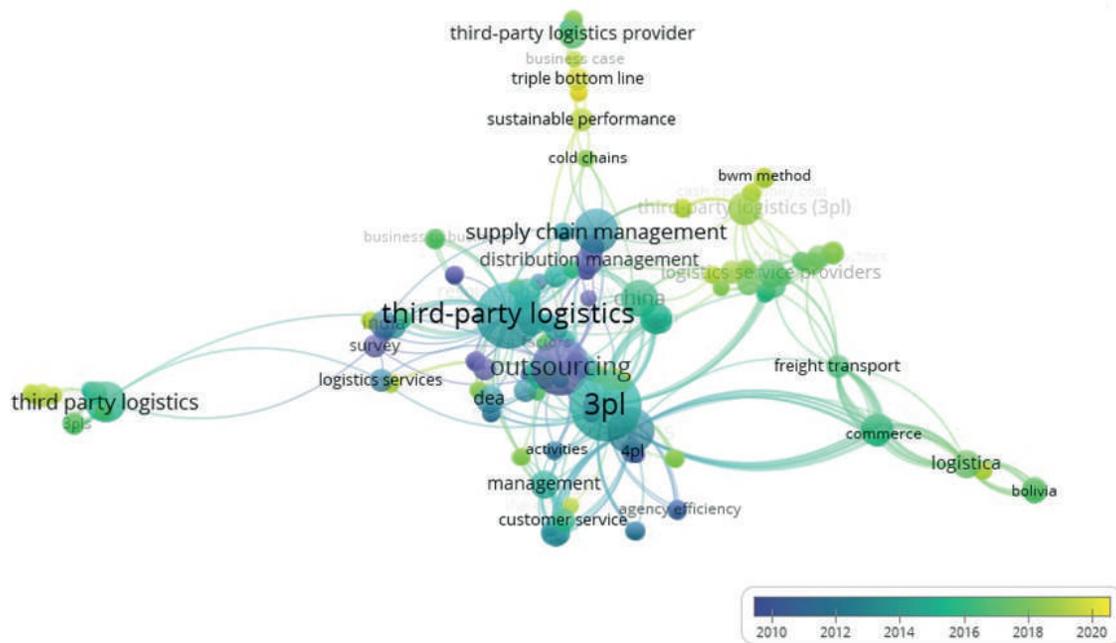
Desde la revisión sistemática de la literatura se identificaron las palabras clave de los artículos a través de la herramienta *VOSviewer*, que permite construir redes bibliométricas. El mayor número de publicaciones proviene de China, con un total de 15 artículos; seguido por Reino Unido con 9 publicaciones, Turquía e India con 6 cada uno; y se evidencia un bajo desarrollo de investigación en este tema en países como Costa Rica, Francia, Italia, entre otros, que cuentan con muy pocas publicaciones al respecto. Se observa un incremento en número de publicaciones en los años 2017, 2018 y 2019, con 12, 10 y 11 artículos, la mayor cantidad de artículos revisados se encontraban en *Science Direct*, *Web of Science* y *Springer Link*, con 27, 25 y 15, respectivamente.

**Tabla 1.** Pasos secuencia de la revisión de la literatura

Etapas	Actividades	Resultado
<b>Protocolo y estrategia de búsqueda</b>	Búsqueda en las bases de datos <i>Web of Science, Science Direct, Springer Link, IEEE y Google Académico.</i>	Se encontraron (120) artículos, de los cuales se descartan (54) de acuerdo con los términos de exclusión. Siendo así, (66) artículos viables, los cuales fueron publicados entre los años (1999 a 2020), el (53,44 %) fueron publicados en los años 2015 y 2019, lo cual evidencia la relevancia y actualidad del tema
	La búsqueda se realizó en inglés con los términos de búsqueda: <i>third party logistic, 3pl, 4pl</i> y en español con los términos de búsqueda: operadores logísticos, <i>3pl y 4pl.</i>	
	Para el diseño del marco conceptual se utilizan los artículos teóricos encontrados y artículos empíricos destacados por el número de citas.	
	Se establecen cinco subtemas específicos sobre operadores logísticos para ser unificados, respecto al entorno internacional: gestión, tipología, importancia, procesos de selección y evaluación.	
	Tabulación en hoja de cálculo, empleada para la categorización de los artículos y análisis de información.	
	Búsqueda de la aplicación de los operadores y su comparación, respecto a Colombia y otros países.	
<b>Revisión y criterios de selección</b>	Criterios de selección: artículos de revisión teórica y empíricos seleccionados por cantidad de citas y contenido de palabras claves en el título, no se excluyen artículos con respecto a su país y año de publicación para evitar sesgos en la información. Se excluyen artículos relacionados con estudios químicos, medicina, psicología e e-commerce, así como los de poco aporte en la temática.	De los (120) artículos seleccionados, (64) son empíricos y (56) teóricos
	Selección de cada uno de los artículos, considerando su procedencia (revista) y disponibilidad.	
	Lectura general de cada artículo con propósitos de identificación de temática trabajada, si es teórico (basado en teorías) o empírico (con un estudio aplicado), se descartan los que no cumplen con los criterios de selección.	
<b>Extracción de datos</b>	Diligenciamiento de la lista de referencia para los 120 artículos, con datos como: objetivo, procedencia, problema, metodología, resultados, aportes y cantidad de citas.	Revisión de (66) documentos, para el marco conceptual.
	Se extrae la información relevante referente a los cinco subtemas establecidos: gestión, tipología, importancia, procesos de selección y evaluación.	
	Revisión de los artículos y análisis a través de formatos establecidos.	
<b>Síntesis de datos e informe</b>	Se examinó cada uno de los aportes de los autores en los subtemas definidos	Producción de un marco conceptual y teórico relacionado con operadores logísticos.
	Se realizó un compendio de la información asociada a los cinco subtemas establecidos para operadores logísticos.	
	Desarrollo de cuadros comparativos para el estado de la información de operadores logísticos en el entorno internacional.	

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

Los resultados muestran una formación de 23 clústeres, entre los cuales se evidencia que en 2010 los temas tratados fueron *outsourcing* (con una frecuencia de 12). A mediados de 2013 empezó a verse una evolución abarcando temas como *3pl* (con una frecuencia de 18), *4pl* (con una frecuencia de 2), y *logistics service providers* (con una frecuencia de 3). En 2016 se inició el análisis de la cadena desde perspectivas ambientales, y se encontraron términos como *green supply chain*. Así mismo, se dio un paso al estudio de algunas metodologías a través de los años, siendo esta la brecha de conocimiento entre 2019 y 2020, con palabras como *3pl provider selection*, *data mining*, *decision making*, *evaluation criteria*, *Topsis*, *Fuzzy*, *AHP (analytic hierarchy process)*, entre otros. De igual forma, en la sostenibilidad como método base para la gestión se hallaron palabras clave como: *sustainable performance*, *sustainable supply chain management* y *sustainability*, como se ilustra en la figura 1. Estos son los temas relacionados en este artículo, con los cuales se aporta al conocimiento de dichas brechas.



**Figura 1.** Redes bibliométricas en VOSviewer, según año de publicación y palabras claves revisadas para operadores logísticos

## Operadores logísticos

Como una forma de disminuir costos y tiempos asociados, se externalizan operaciones logísticas de la cadena de suministro (CS), lo que deriva en el surgimiento de empresas como los operadores logísticos (OL). Estos se enfrentan a dinámicas que permiten abarcar mayor cantidad de operaciones de forma estratégica, táctica y operativa. Existe un incremento en publicaciones asociadas a este tema; sin embargo, se encuentra un sinnúmero de conceptos sobre OL, como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Concepto de operador logístico

<p>“La logística de terceros es una relación entre un remitente y un tercero que, en comparación con los servicios básicos, tiene ofertas más personalizadas, abarca un número más amplio de funciones de servicio y se caracteriza por una mayor duración en la relación mutuamente beneficiosa” (Wang <i>et al.</i>, 2019).</p>
<p>“La logística de terceros implica el uso de compañías externas para realizar funciones logísticas que tradicionalmente se han realizado dentro de una organización. Las funciones realizadas por el tercero pueden abarcar todo el proceso logístico o actividades seleccionadas dentro de ese proceso” (Gürcan <i>et al.</i>, 2016).</p>
<p>“Un operador logístico es una empresa especializada en organizar, gestionar y controlar las operaciones logísticas que precisan sus clientes en el desarrollo de su actividad empresarial, responde directamente ante su cliente por los bienes y servicios acordados” (Orjuela-Castro <i>et al.</i> (2005), Ministerio de Fomento, 2013, Grondys <i>et al.</i>, 2014, González y Bacca, 2014).</p>
<p>“Los operadores logísticos son un aliado estratégico para las empresas, ya que diseñan y desarrollan los procesos de una o varias etapas de la CS con una infraestructura física y tecnológica; tienen la capacidad de ofrecer servicios como: transporte, almacenamiento, agenciamiento aduanero, planificación de la distribución física internacional (DFI), administración de la carga, consolidación de cargas, administración de inventarios, preparación de pedidos, picking, packing, embalaje, etiquetado y facturación, entre otros” (Ministerio de Fomento, 2013).</p>
<p>“El OL como empresa especializada, desarrolla dos o más actividades de la logística para un tercero, en procesos de aprovisionamiento y distribución física, integra sus servicios con el cliente mediante una relación estable y de mutua confianza. Recibe, almacena y/o transporta el producto pero que no adquiere la titularidad del mismo” (González y Bacca, 2014). “Es una empresa dedicada a prestar servicios integrales de logística en la CS. Muchos de ellos se encargan de la totalidad de la logística en las empresas con las que contratan, mientras otros ofrecen sus servicios por unidades de negocio” (Tezuka, 2011).</p>
<p>“Un OL es la empresa que lleva a cabo la planificación, implantación y control eficiente del flujo físico a través de la CS, así como todos los servicios e información asociados a este, desde el punto de origen hasta el de consumo, con el objeto de satisfacer los requerimientos del cliente” (Novaes y Detoni, 2013, Ministerio de Fomento, 2013, Selviaridis y Spring, 2007, Grondys <i>et al.</i>, 2014).</p>
<p>“Un OL es un proveedor de servicios especializados en gestionar y ejecutar todas las actividades logísticas o parte de ellas, en las distintas fases de la CS de sus clientes. Con ello agrega valor a los productos de éstos y además puede prestar servicios simultáneos en tres actividades logísticas básicas: control de existencias, almacenamiento y gestión de transportes” (Novaes y Detoni, 2013, Grondys <i>et al.</i>, 2014).</p>
<p>“El OL constituye una figura capaz de prestar el servicio de transporte y otros de importante valor dentro de la CS, minimizando los costes totales al aprovechar las oportunidades que ofrecen los distintos modos, junto con las que aporta la ruptura de carga para dar valor añadido a la mercancía” (Fajardo González, 2017).</p>
<p>“Un OL es aquella empresa que por encargo de su cliente diseña los procesos de una o varias fases de su CS (aprovisionamiento, transporte, almacenaje y distribución), organiza, gestiona y controla dichas operaciones utilizando para ello infraestructuras físicas, tecnología y sistemas de información, independientemente de que presten o no los servicios con medios propios o subcontratados” (Vasiliauskas y Jakubauskas, 2007, Rajesh <i>et al.</i>, 2012).</p>
<p>“El OL es una organización del sector industrial que realiza actividades complementarias como distribución, almacenamiento y transporte tanto de materias primas como de producto terminado, y su participación es cada vez más frecuente en el manejo de medicamentos, donde eventualmente pudiera verse afectada la calidad del producto” (Jiang <i>et al.</i>, 2016).</p>
<p>“Son aquellas empresas especializadas en el manejo de operaciones logísticas de sus clientes y que con las implementaciones de los modelos 1PL, 2PL, 3PL y 4PL han cubierto las necesidades que cada empresa tiene para su negocio y cliente final” (Gürbüz <i>et al.</i>, 2019).</p>

Al hacer la respectiva revisión de los conceptos expuestos por los diferentes autores en la tabla 2, se puede evidenciar que la mayoría de los autores abarcan un concepto general sobre la relación entre el OL y el cliente, así como los servicios que ofrecen, y algunos conceptos se centran en especificar las actividades y servicios que prestan de manera especializada. Así, Ruiz Moreno *et al.* (2015) Grondys *et al.*, 2014, y Fajardo González, 2017 afirman que los operadores logísticos aportan valor

añadido a los productos o cargas del cliente. Por otro lado, se puede observar que algunos autores tienen discrepancias al exponer que los OL se encargan de la totalidad de la logística y otros, de operaciones y procesos específicos dentro de una organización, para los cuales emplean medios propios o subcontratados.

Al examinar los conceptos planteados en publicaciones entre 1999 y 2019, se puede establecer que los OL son compañías especializadas que brindan la tercerización y desarrollan de forma estratégica, táctica u operativa las operaciones logísticas de la cadena de suministro de una organización, ya sea en su totalidad o fraccionada, con recursos propios o de la compañía contratista. Recientemente, algunos autores plantean conceptos más específicos, al definir los procesos como modos logísticos y los recursos como medios logísticos (Orjuela-Castro y Adarme-Jaimes, 2018). Por esto, se podría definir un OL como *una empresa que diseña, administra y desarrolla los modos logísticos con medios propios, subcontratados o de la empresa que los contrata, en parte o en toda la cadena de suministro de diversos sectores de la economía.*

### Tipologías de operadores logísticos

Con la llegada de la globalización a los distintos países, se ha traspasado fronteras comerciales de formas inimaginables, lo que ha dado paso a tratados entre naciones de todos los continentes. Allí, los proveedores de logística se han visto obligados a evolucionar de la mano con la industria, para satisfacer las necesidades en cadenas de suministro a nivel nacional e internacional, es así como se han venido presentando cambios a lo largo de la historia desde sus inicios en los años 1960, como se puede observar en la tabla 3.

**Tabla 3.** Evolución de los operadores logísticos

Década	Evolución de los operadores logísticos
1960	Surge el <i>outsourcing</i> como un recurso que aporta beneficios y balance entre el servicio/costo de operaciones tales como el transporte (Grondys et al., 2014).
1970-1980	Se da especial interés al proceso de compras y manejo de materiales al inicio de la cadena productiva, La calidad empieza a ser parte importante del servicio, por lo que el ordenamiento de pedidos implica más precisión y exactitud para satisfacer al cliente final, hecho al que deben dar respuesta los operadores (González y Bacca, 2014).
1990	Aparece el 3PL, el cual intensifica su práctica a través de las alianzas logísticas dadas como respuesta a la globalización (Grondys et al., 2014).
2000	Toman fuerza la figura de los 4PL, cuyo rol es el manejo de la CS a través de la oferta de servicios logísticos integrados (González y Bacca, 2014).
2010	Se desarrolla el concepto de 5PL, como una respuesta a la evolución tecnológica, los cuales se caracterizan por administrar la cadena de suministro de inicio a fin, es decir de forma integral, por medio del uso de tecnologías de la información (Rojas et al., 2017).

A partir de la tabla 3, se puede observar los eventos que han ido marcando la evolución de los OL a través de los años, iniciando en 1960, cuando surge el primer acercamiento al desarrollo de actividades como *outsourcing*; posteriormente, entre 1970 y 1980 se observa una mayor especialización y detalle en las operaciones de las que se harán cargo dichas empresas, y finalmente, las necesidades dadas entre las décadas de 1990, 2000 y 2010 hacen que se creen los conceptos de 3PL, 4PL, 5PL, respectivamente, como se conocen en la actualidad.

La evolución de los mercados, la economía de libre mercado y los tratados de libre comercio generaron que los operadores logísticos se especializaran ante las variadas necesidades de sus clientes, apareciendo distintos tipos de proveedores como:

- *First-party logistics (1PL)*. Son aquellos proveedores que ofrecen únicamente el servicio de transporte de mercancías a las organizaciones (Rojas *et al.*, 2017).
- *Second-party logistics (2PL)*. Son operadores que ofrecen el transporte y almacenamiento de mercancía, lo que lo hace un servicio añadido que impacta positivamente el proceso administrativo del flujo de materiales (Granillo-Macías *et al.*, 2019). Además, busca generar una ventaja competitiva al brindar agilidad en los procesos logísticos del cliente de forma dinámica (Rojas *et al.*, 2017).
- *Third-party logistics (3PL)*. Se considera que un 3PL es aquella empresa que provee a sus clientes servicios logísticos subcontratados o tercerizados, para una parte o la totalidad de la CS. Los 3PL, por lo general, se especializan en operaciones integradas de almacenamiento y transporte, servicios que pueden ser diseñados y personalizados según las necesidades de los clientes, basados en condiciones de mercado como la demanda de sus productos (Grondys *et al.*, 2014). El 3PL oferta múltiples servicios, en lugar de solo funciones de transporte o almacenamiento aisladas. Los acuerdos contemporáneos de 3PL se basan en relaciones contractuales formales (tanto a corto como a largo plazo) en lugar de prestación de servicios logísticos (González y Bacca, 2014). Son un “modelo de servicio logístico en el cual los clientes confían en la provisión de un servicio holístico dedicado a designar operaciones de sistema” (Xiao *et al.*, 2018, p. 72); actúan bajo *logística de contrato*; realizan total y parcialmente las actividades logísticas de las empresas propietarias de la carga a cambio de una compensación. Los 3PL brindan servicios de logística integrados, personalizados y profesionales y además proporcionan funciones adicionales de gestión de información en compras, selección de mensajería, consultoría comercial, reposición de existencias, reempaque y etiquetado de mercancías o agencia de carga (Xiao *et al.*, 2018). Los 3PL tienen servicios logísticos integrados (o multimodales), por contrato y de consultoría (Tezuka, 2011). Algunos definen los 3PL como empresas que realizan las diversas actividades logísticas de un cliente, ya sea total o parcialmente. Estas funciones pueden incluir actividades tradicionales como transporte, almacenamiento, embalaje, etc., pero también pueden incluir algunas convencionales como despacho de aduanas, facturación, así como

seguimiento y localización (Rojas *et al.*, 2017). Otros definen el 3PL como una empresa que simplemente brinda servicios de transporte y depósito por una tarifa (Xiao *et al.*, 2018). Los 3PL y la *logística de contratos* generalmente significan lo mismo. Implica el uso de compañías externas para realizar funciones logísticas que se han realizado en la organización. Aquellas ejecutadas por proveedores de servicios logísticos de terceros pueden abarcar todo el proceso logístico o seleccionar actividades en ese proceso (Ruiz Moreno *et al.* (2015)).

- *Fourth-party logistics (4PL)*. Se definen como un proveedor de servicios a la CS que participa más bien en la coordinación de la esta, que en los servicios operativos (González y Bacca, 2014); así mismo, como un integrador de la CS que reúne y gestiona los recursos, las capacidades y la tecnología de los actores para ofrecer una solución integral (Novaes y Detoni, 2013). El 4PL evalúa cómo una empresa usa su CS, capacidades de diseño, planificación y soluciones de tecnologías de la información (TI), y actúa como un enlace entre el cliente y los proveedores. Igualmente, crea redes horizontales para tener acceso a recursos y capacidades complementarias (Selviaridis y Spring, 2007).
- *Fifth-party logistics (5PL)*. Son considerados la actual evolución de los 4PL, ya que se han dado como una respuesta ante nuevas afectaciones a las operaciones logísticas, asociadas al medio ambiente, seguridad y energía (Rojas *et al.*, 2017). Se hace cargo de la CS completa de una compañía; es decir, desde la adquisición de la materia prima hasta la comercialización de los productos en los distintos puntos (Fajardo González, 2017). Abarca las actividades de flujo y transformación de bienes en la red logística, a partir de una medida común de desempeño colaborativo para lograr una relación de beneficio mutuo (Vasiliauskas y Jakubauskas, 2007).

Orjuela-Castro *et al.* (2005) establecen una tipología para los OL, dependiendo si la logística es dedicada o compartida, si prestan el servicio en la empresa o fuera de ella, con recursos propios o externos, si es generalista o especializado, si prestan el servicio a un sector en particular o a todos, y si suministran un servicio particular o varios de forma integral.

En resumen, se puede establecer que los operadores logísticos han evolucionado del llamado 1PL que presta un servicio logístico —como transporte o almacenamiento—, a los 2PL que integran la prestación de varios servicios. Luego aparecen los 3PL que brindan prestación de servicios logísticos en toda la CS o en parte de ellas, inclusive ofrecen el diseño y/o administración de los procesos logísticos de aprovisionamiento, almacenamiento, inventarios o distribución, con recursos de la empresa atendida o propios; estos recursos pueden ser infraestructuras, equipos de transporte, sistemas de información. Por su parte, los 4PL ya son empresas que prestan servicios de manera más estratégica, que inclusive ofrecen la gestión de la toda CS. Los 5PL ya es un concepto más reciente que incluye medidas de desempeño, más allá de los costos, como aspectos ambientales y sociales. Podría decirse que ofrece servicios para cadenas sostenibles (Bernal *et al.*, 2020).

## Gestión de los operadores logísticos

Históricamente la utilización de indicadores como mecanismo de gestión de una organización ha mostrado buenos resultados. Sin embargo, se ha quedado corta en la toma de decisiones eficientes en un entorno altamente variable y competitivo, como en el que se deben desenvolver los OL. Por esta razón se ha hecho preciso investigar y dar propuesta de métricas no financieras enfocadas en niveles de crecimiento y procesos internos, disminuyendo así la incertidumbre dada ante la toma de decisiones administrativas.

En ese sentido, se han realizado varios intentos con el fin de establecer una taxonomía de los indicadores de la logística en la cadena de suministro. [Ruiz Moreno et al. \(2015\)](#) plantean como medidas de desempeño para la CS agroindustrial la eficiencia, flexibilidad, capacidad de respuesta y calidad de los alimentos, respecto al desempeño logístico, los clasifica en los relacionados con los modos (aprovisionamiento, inventarios, distribución) y con los medios (sistemas de información y trazabilidad, embalaje, almacenes, transporte e infraestructura). En lo que respecta medidas de costos para la logística de la cadena, [Orjuela-Castro et al. \(2017\)](#) agregan a la taxonomía planteada anteriormente por [Ruiz Moreno et al. \(2015\)](#) otras medidas de desempeño. Respecto a la CS, añaden la efectividad, rentabilidad y confiabilidad; por otra parte, plantean cómo existen diferentes metodologías para medir el costo. Reportan los costos basados en actividades, costo total de la propiedad, costeo de la CS, costo objetivo, SCOR y los métodos tradicionales.

Esta revisión de la literatura ha permitido identificar el desarrollo de otras métricas como el *balanced scorecard* (BSC) o mando integral y el *dynamic balanced scorecard* (DBSC). Son sistemas de medición de desempeño y gestión que asisten a las organizaciones, de manera general, en la transformación de su visión y estrategia; aportan a los procesos internos y los resultados externos, así como, al desempeño estratégico. Se enfocan tanto en resultados financieros como en los recursos humanos, con el fin de garantizar mejores resultados a largo plazo. Su aplicación en 3PL recopila datos cualitativos y cuantitativos de forma detallada de los ejecutivos y gerentes, así establece el marco de aplicación y los respectivos niveles de adopción en la organización a través de los métodos Qsort y Delphi ([Rajesh et al., 2012](#), [Hawari y Tahar, 2015](#)).

Otros métodos aplicados a 3PL son la minería de datos y redes neuronales, utilizados en la predicción de comportamientos asociados al análisis a gran escala de variables relacionadas con la obtención de ingresos de la organización, cantidad facturada, costo estimado del proceso, tipo de daño, causa del daño, y la cantidad de parámetros. Esto facilita la toma de decisiones financieras al unir parámetros cualitativos y el conocimiento del operario ([Gürbüz et al., 2019](#)).

Recientemente en la división del gasto, las partes interesadas pueden pagarle al 3PL una parte de su costo logístico a cambio de un incremento en el nivel de servicio. Siendo necesarias las siguientes condiciones para su aplicación: los eslabones de la cadena deben tener la capacidad de observar que el proveedor realmente realizó la actividad costeadada, verificar su esfuerzo y evaluar beneficios para los integrantes de la CS ([Jiang et al., 2016](#)).

La sostenibilidad, como variable de análisis en la toma de decisiones desde el marco ambiental, ha sido uno de los temas con mayor fuerza en los últimos años. Para mejorar el desempeño ambiental de los OL, se han desarrollado cuatro líneas de iniciativa ecológicas: a) iniciativas verdes administrativas (establecimiento de objetivos de sostenibilidad, comités para esfuerzos de sostenibilidad); b) iniciativas analíticas ecológicas (evaluación comparativa de la huella de carbono, listas de verificación medioambientales, *software* de evaluación medioambiental); c) iniciativas ecológicas relacionadas con el transporte (combustibles alternativos, compra de vehículos más eficientes en combustible, reducir el consumo de combustible), y d) otras iniciativas ecológicas (paneles solares en almacenes, reciclaje de suministros de oficina y embalajes) (Centobelli *et al.*, 2017).

Otro aspecto que ha tomado fuerza en las empresas de logística de terceros (3PL) es el de servicios financieros, como el financiamiento de pequeñas empresas y protección de crédito comercial para ayudar en la mejora del capital de trabajo, o un sistema de servicios financieros al sector industrial. Esto proporciona soluciones de *logística* y *finanzas* que incluyen factorización comercial, financiamiento de pedidos, arrendamiento financiero y financiamiento de almacenes. Un nuevo campo de gestión entre operaciones logísticas y gestión financiera, que permiten reconocer las restricciones de un minorista ante un proveedor que le exige un gran capital, para lo cual se propone el financiamiento de órdenes de compra y al comprador (Wang *et al.*, 2019).

Se muestra un avance en la definición de los indicadores para medir el desempeño de los OL, y se destaca la importancia de diferenciarlos en aquellos asociados a la gestión de la cadena de suministro de los de logística, en este último campo, se han realizado propuesta de medir el desempeño, frente a los medios y modos de logística. También aparecen nuevos campos de acción, que se demanda de los OL, como son acciones encaminadas a la sostenibilidad, en particular sobre aspectos ambientales que se deben tener en cuenta para las operaciones logísticas. Otro campo reciente es la prestación de servicios financieros a actores de la CS (Becerra Fernández y Herrera Ramírez, 2018), lo cual debe trascender la financiación de las compras, a otro tipo de servicios asociados a la gestión de efectivo. En particular en los países en vía de desarrollo y, específicamente, en algunos sectores como alimentos, es común el uso de efectivo en los procesos de compra y ventas, por lo que se hace necesario, que los OL brinden el servicio de recepción de pagos de mercancías a los pequeños comerciantes y productores.

## SELECCIÓN DE LOS OPERADORES LOGÍSTICOS

La alta demanda de externalización de servicios logísticos de la CS destaca la creciente necesidad de una correcta selección de proveedores logísticos en función de su forma de trabajo y tipo de industria. Por esta razón se investigan y desarrollan distintas categorías metodológicas que propician la integración de criterios de selección más relevantes y técnicas de modelación. En este sentido se analizaron publicaciones al respecto, en el periodo 2011- 2019, lo que permitió identificar categorías, métodos y criterios asociados a selección de OL. El *multiple-criteria decision making* (MCDM) propor-

ciona un marco efectivo para la comparación de proveedores basado en la evaluación de múltiples criterios de conflicto (Bulgurcu y Nakiboglu, 2018). Existen varias técnicas empleadas para la solución de dichos problemas, el más destacado de ellos es el proceso de análisis jerárquico (AHP) (Hernández *et al.*, 2017), seguido de programación matemática, proceso de red analítica (ANP) (Gürcan *et al.*, 2016), modelo estructural interpretativo (ISM), técnica para la orden preferida por similitud con la solución ideal (Topsis) (Jovčić *et al.*, 2019), opción de criterios múltiples solución de compromiso (VIKOR), teoría de conjuntos difusos (FST), teoría de utilidad y despliegue de la función de calidad (QFD) (Aguzzoul, 2014).

Así mismo, el énfasis estadístico ha sido altamente explorado en la literatura asiática como opción para la selección de un proveedor de terceros; entre estos, el más empleado ha sido el método de correlación, el cual hace referencia al análisis de datos recopilados provenientes a estudios empíricos; seguido por un análisis de conglomerados, logit regresión como logit binario y logit multinomial (MNL) (Aguzzoul, 2014).

Otra técnica de modelación destacada es la inteligencia artificial; la cual busca incorporar factores cualitativos con la experiencia y la obtención de resultados de mayor confiabilidad. Algunos métodos relevantes en este campo son: basado en casos de razonamiento/razonamiento basado en reglas (CBR/RBR); método de inferencia, redes neuronales artificiales (ANN); el método Delphi, y la minería de datos (Aguzzoul, 2014).

Por otro lado, se encontró que la programación matemática forma parte de las categorías utilizadas durante la selección de logística tercerizada, al proporcionar resultados óptimos a través del modelamiento matemático; emplea una función objetivo sujeta a un grupo de restricciones. Entre estas se han identificado una gran variedad de métodos: programación dinámica (DP), programación lineal/no lineal (LP/NLP), programación de enteros mixtos (MIP), programación multiobjetivo (MOP) (Aguzzoul, 2014) y análisis de envoltura de datos (DEA) (Maamar y Shen, 2002).

Finalmente, se observó que los métodos híbridos se han abierto paso en este campo; funcionan como una propuesta de vinculación que potencializa los beneficios de los distintos métodos, brindando solución a problemas altamente variables, es así como se ha logrado aproximaciones entre métodos como: AHP/DEA, AHP/MIP, ISM/ANP, *data mining*/CBR, Topsis difuso (Singh *et al.*, 2018), AHP difuso, CBR/NLP, lógica difusa (Melo Rodríguez y Cortés Guerrero, 2016), entre otros (Aguzzoul, 2014).

En la tabla 4, se observan las respectivas categorías asociadas a la modelación de selección de proveedores logísticos, los métodos que la componen y sus respectivos criterios.

## Evaluación de operadores logísticos

El proceso evaluativo de un operador logístico suele ser una actividad de gran importancia para sus clientes, debido a que es un mecanismo sencillo para el desempeño, control y verificación de los recursos estratégicos en la CS. Al igual que el proceso de selección, vincula la modelación matemática

**Tabla 4.** Modelos empleados para la selección de un operador logístico

Categoría	Método	Criterios
MCDM	AHP, programación matemática, ANP, ISM, TOPSIS, VIKOR, DEMATEL, ELECTRE, FST, QFD.	Costo, relación y atención, servicios, calidad, información, equipos, flexibilidad, entrega, posición financiera, ubicación, reputación e innovación.
Enfoques estadísticos	Método de correlación, análisis de conglomerados, Logit regresión, Logit binario y Logit multinomial.	Rendimiento confiabilidad, precio, interacción con el cliente, recuperación del servicio al cliente, capacidad, innovación y profesionalismo.
Inteligencia artificial	CBR, RBR, método de inferencia, ANN, método Delphi y minería de datos.	Red logística, energía de transporte, fuente de almacenamiento, organización asignación, calidad del servicio, poder financiero, sistema de información y servicios de valor agregado.
Programación matemática	DP, LP, NLP, MIP, MOP, DEA.	Recursos físicos, financieros, activos fijos netos, sueldos y salarios, operativos, gastos, pasivos corrientes e ingreso operativo.
Métodos híbridos	AHP/DEA, AHP/MIP, ISM/ANP, data mining/CBR, TOPSIS difuso, AHP difuso, CBR/NLP, entre otros.	Precio, experiencia en industria similar, calidad de servicio, ubicación, cuota de mercado, equipo logístico, capacidad, mejora útil, servicios de valor agregado y ajuste cultural.

como instrumento para hacer más eficiente dicho proceso. Se emplea el análisis de envoltura de datos (DEA) como herramienta para evaluar la eficiencia de un grupo de terceros (3PL) en operaciones logísticas de almacén. Debido a que al ser una técnica de programación lineal utilizada para evaluar la eficiencia en la toma de decisiones (DMU), donde están involucradas múltiples entradas y salidas. Los datos de entrada son: espacio de almacén, inversión en tecnología, horas laborales, equipos, y las variables de salida: volumen de envío, ordenes de pedidos y utilización del espacio. Genera contribuciones a la eficiencia en cada uno de estos almacenes y en la utilidad (Hamdan y Rogers, 2008).

Otro método empleado que permite convertir las opiniones gerenciales en cifras, para el análisis de dependencia entre los factores, es el proceso analítico en red (ANP), por sus características únicas en el análisis de la interdependencia de criterios como la reducción de costos, tiempo de espera, reducción y satisfacción del cliente, considerados objetivos de rendimiento operativo en los proveedores de terceros. Esto proporciona un enfoque más preciso para el modelando del complejo entorno de decisión/evaluación. Ya que emplea mediciones de escala de razón basadas en pares comparaciones sin imponer una estricta estructura jerárquica como en el análisis jerárquico de decisión (AHP), y modela un problema de decisión usando un enfoque de sistemas con retroalimentación (Kayakutlu y Buyukozkan, 2011).

Del mismo modo se observó que se ha implementado dichas metodologías de evaluación, en entornos donde la inclusión de las preocupaciones sociales en las operaciones sostenibles, plantea una mayor conciencia de las partes interesadas, con respecto no solo a *dónde* están los productos fabricados y entregados, sino también en el *cómo* y *en qué condiciones* se producen y entregan; adoptando para ello un modelo de AHP difuso, en el cual se traduzca las expresiones verbales de los evaluadores a números de criterios cualitativos, en el que se tiene en cuenta el servicio personalizado, los derechos humanos y la participación (Jung, 2017).

De igual forma, “la vista basada en recursos (RBV) de la empresa, ha sido empleada como una herramienta que estudia las empresas en términos de sus recursos, y no en términos de sus productos” (Shou *et al.*, 2017). En los últimos años, el RBV se ha empleado en logística relacionada para evaluar la contribución de las actividades logísticas en el desempeño de la empresa; lo que indica que las empresas con un alto nivel de respuesta al cliente y capacidades de innovación obtienen el más alto nivel de rendimiento general del servicio, a través del enlace estratégico de los recursos relacionales como impacto crítico en las ventajas competitivas de la empresa (Shou *et al.*, 2017).

En cuanto a los enfoques estadísticos, se ha encontrado que el análisis de conglomerados se utilizó para distinguir los 3PL en términos de prestación de servicios y agrupar a los proveedores de logística en cuanto al servicio de provisión. Así mismo, se ha empleado un análisis de varianza unidireccional (Anova) para probar si existen diferencias significativas en el funcionamiento de 3PL a nivel del desempeño nacional y financiero.

De igual modo, se recurrió al análisis de regresión simple para evaluar la relación entre desempeño operativo y desempeño financiero para proveedores de 3PL. Así como una combinación de análisis de regresión simple y múltiple, para determinar si el rendimiento operativo cumple un papel intermedio entre las capacidades del servicio correspondiente a las prioridades clave de los clientes y al rendimiento financiero de los proveedores de 3PL (Liu y Lyons, 2011).

Otro método de desarrollo para la evaluación del desempeño es el de números aproximados del intervalo, el cual se caracteriza por realizar aritmética específica en operaciones que divergen de las que tratan con números aproximados típicos. Las operaciones aritméticas entre dos números aproximados de intervalos (IRN) abarcan la aplicación de incertidumbres incluidas en el análisis de datos, reducen inversiones y costos para mejorar la calidad del servicio, rompen barreras geográficas ante el aumento de la flexibilidad en las fluctuantes demandas de los clientes (Pamucar *et al.*, 2019).

Por otra parte, el transporte de mercancías peligrosas y sus posibles consecuencias ha generado interés por los efectos de estos materiales sobre el medio ambiente y las personas, así como los posibles accidentes que puedan tener los OL al realizar dichas operaciones. Por esta razón, han sido evaluados en este ámbito por medio del método SWARA Rough (análisis de proporción de evaluación de peso por pasos), lo que demuestra la importancia de esta área, mediante el desarrollo de un enfoque integrado novedoso basado en los criterios de importancia a través de WASPAS en bruto (suma agregada ponderada de evaluación del producto); de esta manera se logra un consenso preciso en la toma de decisiones grupales (Sremac *et al.*, 2018).

Finalmente, en los últimos años se ha logrado apreciar cómo el modelo Kano introdujo una nueva forma de satisfacción del cliente que puede diferenciar entre tres tipos de necesidades que un producto puede cumplir e influir, pues consiste en requisitos clave no lineales que están relacionados con un rango de atributos de servicio.

En otras palabras, el modelo de Kano clasifica características cualitativas de un producto o servicio en tres categorías principales de requisitos: lo imprescindible, unidimensional y atractivo. Así es posible evaluar los OL y mejorar los factores clave relacionados con proveedores de 3PL que afectan la satisfacción de sus clientes y la cultura de su empresa; creando una ventaja competitiva al diferenciar y diversificar sus servicios (Asian *et al.*, 2019).

En la tabla 5, se observan las respectivas categorías asociadas a la modelación del proceso evaluativo de proveedores logísticos y sus respectivos métodos.

**Tabla 5.** Modelos empleados para la evaluación de operadores logísticos

Categoría	Método
MCDM	AHP, ANP, SWARA, WASPAS.
Enfoques estadísticos	ANOVA, análisis de conglomerados, regresión simple y múltiple, IRN.
Programación matemática	DMU, DEA.
Métodos híbridos	AHP difuso, modelo KANO/QFD (despliegue de la función de calidad), entre otros.
Teoría de dirección	RBV.

## Importancia de subcontratar operadores logísticos

El incremento de la comercialización internacional generó una tendencia por externalizar actividades logísticas, en búsqueda de eficiencia y mayor satisfacción del cliente. Allí, los proveedores de logística de terceros cumplen un papel clave en la CS, dados los efectos positivos que se evidencian en la literatura asociada al tema de la utilización y vinculación. La decisión de externalizar las actividades logísticas depende de varias variables, que se refieren tanto a consideraciones internas como externas. En la literatura se identificaron variables como: la centralidad de la función logística, el riesgo y control, compensaciones de costo/servicio, tecnologías de la información y la relación prestador de servicio/cliente.

Así mismo, se discuten cuatro categorías de condiciones favorables para la subcontratación relacionadas con la viabilidad económica, problemas de mercado, disponibilidad de personal/equipo y grado de dependencia del proveedor (Selviaridis y Spring, 2007). En publicaciones anteriores a 2005 se menciona que optar por externalizar sus operaciones logísticas a través de OL trae consigo, entre otros, estos beneficios: los acuerdos con terceros permiten aumentar la cobertura del mercado, mejorar el nivel de servicio o aumentar la flexibilidad hacia el cambio, son más formales y vinculantes

que las asociaciones, los servicios se adaptan mucho más a los requisitos de un cliente específico, los acuerdos de servicios integrados son los medios más amplios de cooperación de obligaciones mutuas (Skjoett-Larsen, 2000). En las publicaciones entre los años 2007 y 2018 se encontraron las siguientes ventajas:

- Alta capacidad de coordinación, lo que permite buscar socios confiables o subcontratistas, que gestionen eficientemente el flujo de bienes. Al subcontratar actividades logísticas, las empresas pueden ahorrar en inversiones de capital y, por tanto, reducir riesgos financieros, inversión en activos logísticos como centros de distribución física o redes de información (Vasiliauskas y Jakubauskas, 2007).
- Pueden atender a múltiples clientes, utilizar mejor capacidad y distribución de costos logísticos. La subcontratación logística ofrece ventajas relacionadas con los costos, la reducción de inversión de activos (convirtiendo el costo fijo en variable), mantenimiento de mano de obra y equipos (Selviaridis y Spring, 2007).
- A nivel operativo por reducción en los niveles de inventario, tiempos de ciclo de pedidos, plazos de entrega y mejora en el servicio al cliente. El proveedor de logística de terceros puede proporcionar: a) flexibilidad, b) entrega a tiempo y descarga, y c) menor costo unitario de entrega (Yeung, 2006).
- La asociación efectiva con los terceros muestra resultados positivos en el desempeño al permitir la integración de sistemas de información y gestión (Jayaram y Tan, 2010).
- Permiten a las organizaciones centrarse en la competencia central y explotar la experiencia de logística externa, al obtener acceso a redes de distribución internacional (Selviaridis *et al.*, 2008).
- Si la cooperación se realiza sin interferencias, aumenta la calidad de los productos y servicios ofrecidos, acorta la duración del proceso de producción, aumenta la efectividad de las soluciones aplicadas, maximizando la satisfacción de los clientes a costos aceptables (Grondys *et al.*, 2014). El uso de los servicios de logística tercerizada ayuda a identificar posibles direcciones de mejora del servicio (Batarliene y Jarašuniene, 2017). La vinculación con un proveedor de logística de terceros da como resultado un acceso al mercado más efectivo y nuevas habilidades de adquisición a nivel tecnológico (Navicelli y De Carlo, 2018).

Como se puede observar, antes de 2005 eran pocas las ventajas mencionadas con respecto a la vinculación de un operador logístico en la CS; sin embargo, al presentarse un incremento en la comercialización internacional, como consecuencia de la globalización mundial, estos fueron aumentando al ingresar en el mercado internacional y sus exigencias.

## Comparación de operadores logísticos

Los distintos contextos económicos hacen que los comportamientos del mercado de OL sean diversos, tanto en aspectos económicos como de demanda y desarrollo operacional. De las distintas publicaciones examinadas en la revisión a la literatura, se evidenciaron diferencias en elementos como: razones de subcontratación, principales actividades subcontratadas, mercado atendido, satisfacción de los servicios, factores que influyen en el éxito, rendimiento, impacto de las empresas 3PL e índice de desempeño logístico de 2018. Las publicaciones dadas entre los años 2010 y 2019 muestran una gran influencia por parte de distintos países en el continente americano, Asia y Oceanía, de los cuales se recopiló información asociada a estos ítems en países como: Estados Unidos, Emiratos Árabes Unidos, India, República Checa, China, Tailandia, Australia, Singapur y Colombia, debido a que grandes potencias mundiales como Estados Unidos y China implementan en sus actividades logísticas la tercerización de operaciones, y los demás países han mostrado incremento relevante de participación e influencia en dicho aspecto; en los anexos 1, 2 y 3 se observan los países agrupados según el continente al que pertenecen.

Al examinar la literatura y los resultados plasmados en los anexos, se puede inferir que la reducción de costos es la principal razón por la cual las empresas acuden a la subcontratación, de la misma forma se encuentra que el servicio de transporte, almacenamiento y embalaje son las tres principales actividades subcontratadas. En cuanto al mercado atendido se observa que las empresas de productos químicos, electrónicos y farmacéuticos son las que más emplean OL para el desarrollo de sus actividades. Se tiene que gran parte de los clientes están satisfechos con los servicios ofrecidos por los operadores, con lo que se logran valores superiores al 70 % en la mayoría de países analizados. La principal razón de éxito que identifican las empresas que subcontratan a OL es la disminución de costos y la flexibilidad que aportan, lo cual les permite innovar y dar una mejor respuesta al mercado. Aspecto que se evidencia en el desempeño e impacto de las empresas 3PL, al mejorar procesos como el sistema de gestión de envíos y transporte, con la implementación de tecnologías de la información y desarrollo de las capacidades profesionales del personal contratado.

En Colombia, al analizar la conducta del mercado, las organizaciones en esta área, el incremento de tratados de libre comercio y la situación nacional a través de publicaciones de los años 2017 y 2018, se observa el incremento de tercerización de servicios logísticos, principalmente para el manejo del transporte, almacenamiento y acondicionamiento de carga (Fajardo González, 2017). Sin embargo, en el país es reducida la cantidad de organizaciones que funcionen bajo el verdadero concepto de operador logístico 3PL, pues no se ocupan de manera integral de todas las operaciones a lo largo de la cadena de suministro (Rojas *et al.*, 2017). Se evidencia poca existencia de OL integrales en el manejo de la cadena de frío para productos alimenticios, por lo cual se debería considerar este campo como una oportunidad de negocio (Rojas *et al.*, 2017).

Por otro lado, en cuanto al mercado atendido, se observa gran diferencia con respecto al ámbito internacional, ya que, en el sector básico, quienes realizan actividades asociadas a la agricultura,

minería, ganadería e hidrocarburos son los principales demandantes de servicios de los OL en Colombia, seguido por el sector de la manufactura (Fajardo González, 2017).

En consecuencia, ha dado paso a los proveedores de logística de terceros internacionales que buscan abarcar el mercado asociado a la carga internacional.

Para 2018, el perfil del consumidor logístico en Colombia (Mantilla, 2018) presentaba falencias en la tercerización de actividades; no obstante, los empresarios líderes son conscientes sobre la necesidad de generar mecanismos y/o estrategias, que les permitan ser competentes en la era digital, sin dejar de lado la disminución de costos (Mantilla, 2018). Existen insuficiencias en tecnologías de información, manejo del *e-commerce* y herramientas de análisis de *big data*, que permitan hacer una gestión eficiente de los procesos y recursos de la CS. Mantilla, 2018 desmintió que los costos sean la mayor preocupación de las empresas, ya que puede que estos se tengan dentro de los objetivos de los líderes logísticos; no obstante, mantener relaciones duraderas y estables en el tiempo es la prioridad de las compañías, evidenciando que realmente estas consideran la creación de alianzas estratégicas con proveedores de logística que les ayuden a cumplir sus objetivos (flexibilidad, rapidez y servicio), de forma integral (Mantilla, 2018).

El índice de desempeño logístico calculado por el Banco Mundial permite percibir con claridad el avance continental dado en operaciones de tercerización; este muestra valores superiores para el caso de Europa en comparación con los de América. Colombia registra el menor puntaje entre los países analizados en América, lo que hace necesario un fortalecimiento en la industria, una mayor diversificación entre los servicios logísticos ofrecidos que se vean reflejados en futuros resultados del índice. Ante esto, Pérez y Narváez, 2019 mencionan que a pesar de que el país ha presentado avances en profesionalización, sostenibilidad, comunicaciones, impacto de los operadores, normas, entre otros aspectos, todavía enfrenta retos como consecuencia de las distintas condiciones climáticas, topografía, situación política y social que lamentablemente impacta las acciones en pro de un mejor desarrollo de las actividades logísticas de la CS.

## CONCLUSIONES

Algunas estrategias de gestión en el ámbito internacional están enfocadas en el avance en la definición de los indicadores para medir el desempeño de los operadores logísticos (OL), desde la medición en los medios y modos de logística, así como en nuevos campos de acción, entre ellos la sostenibilidad, en particular sobre aspectos ambientales. Otro campo reciente es la prestación de servicios financieros a actores de la CS, lo cual debe traducirse en la financiación de las compras, a otro tipo de servicios asociados a la gestión de efectivo.

Por otra parte, como se observa, antes eran pocas las ventajas mencionadas con respecto a la vinculación de un OL en la cadena de suministro (CS); sin embargo, al presentarse un incremento en el comercio internacional, estos fueron aumentando, llegando a identificar que algunos aspectos im-

portantes son la alta capacidad de coordinación y de atender a múltiples clientes, lograr la reducción en los niveles de inventario y la asociación efectiva con los terceros.

Los OL, al ser organizaciones especializadas, necesitan de un proceso de selección que se ajuste a la operación que prestarán, razón por la cual se han incrementado los modelos matemáticos, procesos cualitativos y cuantitativos, para la selección –el AHP es uno de los más destacados–.

El proceso evaluativo de un operador logístico se ha visto fuertemente afectado por la integración de criterios asociados a la huella ambiental que puedan generar sus operaciones y recursos, al momento de prestar los servicios logísticos. Así mismo, se presenta un incremento en la utilización de metodologías de modelación matemática que contemplen la variabilidad de la realidad en la cadena de suministro.

En cuanto a la subcontratación de un operador logístico, a pesar de existir diferencias con respecto a los servicios especializados que ofrecen en la CS de los distintos sectores, todos muestran uniformidad respecto a elementos como costo, flexibilidad, satisfacción del cliente y competitividad.

En comparación con el ámbito internacional, en cuanto a los nuevos métodos de selección y evaluación empleados, Colombia es el país con menor implementación de estos, además de presentar falencias en la apertura de servicios que permitan mayor integración entre usuario y proveedor logístico, como es el caso de los servicios financieros. Son pocas las tecnologías de la información, tecnologías y sostenibilidad ambiental asociadas a las actividades desarrolladas por parte de los operadores nacionales, lo que afecta fuertemente la competitividad tanto a nivel digital como internacional.

## TRABAJOS FUTUROS

Se requiere la integración de tecnologías de información en actividades relacionadas a la gestión de datos, provisión de servicios, almacenamiento, entre otros.

Así mismo, la especialización en nuevas áreas de servicio asociadas a la logística, como el financiero, para lograr una mayor vinculación con actividades de la cadena de suministros en grandes industrias, y minoristas.

Igualmente, el desarrollo de estrategias operativas sostenibles y medioambientales, consideradas como factor estratégico en las operaciones logísticas.

Se hace necesaria la vinculación de nuevos métodos matemáticos para la evaluación y selección de los operadores logísticos desarrollados a nivel internacional.

## REFERENCIAS

[Aguezoul, 2014] Aguezoul, A. (2014). Third-party logistics selection problem: A literature review on criteria and methods. *Omega*, 49, 69-78. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.05.009> ↑Ver página 218

- [Ashok y Rajesh, 2019] Ashok, R. y Rajesh, R. (2019). Insight of third-party logistics market in India and UAE. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(1), 4861-4870. <https://doi.org/10.35940/ijeat.A1763.109119> ↑Ver página
- [Asian *et al.*, 2019] Asian, S., Pool, J. K., Nazarpour, A. y Tabaeian, R. A. (2019). On the importance of service performance and customer satisfaction in third-party logistics selection: An application of Kano model. *Benchmarking*, 26(5), 1550-1564. <https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2018-0121> ↑Ver página 221
- [Banco Mundial] Banco Mundial. (s. f.). *Índice de desempeño logístico: Total (De 1 = Bajo a 5 = Alto)* [En línea]. <https://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.OVRL.XQ> ↑Ver página
- [Batarliene y Jarašuniene, 2017] Batarliene, N. y Jarašuniene, A. (2017). 3PL service improvement opportunities in transport companies. *Procedia Engineering*, 187, 67-76. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.351> ↑Ver página 222
- [Becerra Fernández y Herrera Ramírez, 2018] Becerra Fernández, M. y Herrera Ramírez, M. M. (2018). Operational planning capacities associated with profitability of service companies. A system dynamics approach. *Tecnura*, 22, 32-43. <https://doi.org/10.14483/22487638.9169> ↑Ver página 217
- [Bernal *et al.*, 2020] Bernal, J., Gamboa, P., Moreno Mantilla, C. E. y Orjuela Castro, J. A. (2020). Sustainable supply chain: Concepts, models and trends. *Ingeniería*, 25, 1-17. [10.14483/23448393.16926](https://doi.org/10.14483/23448393.16926) ↑Ver página 215
- [Bulgurcu y Nakiboglu, 2018] Bulgurcu, B. y Nakiboglu, G. (2018). An extent analysis of 3PL provider selection criteria: A case on turkey cement sector. *Cogent Business and Management*, 5(1), 1-17. <https://doi.org/10.1080/23311975.2018.1469183> ↑Ver página 218
- [Centobelli *et al.*, 2017] Centobelli, P., Cerchione, R. y Esposito, E. (2017). Environmental sustainability in the service industry of transportation and logistics service providers: Systematic literature review and research directions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 53, 454-470. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.032> ↑Ver página 217
- [Delen *et al.*, 2016] Delen, G. P. A. J., Peters, R. J., Verhoef, C. y Van Vlijmen, S. F. M. (2016). Lessons from Dutch IT-outsourcing success and failure. *Science of Computer Programming*, 130, 37-68. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2016.04.001> ↑Ver página
- [Delen *et al.*, 2019] Delen, G. P. A. J., Peters, R. J., Verhoef, C. y Van Vlijmen, S. F. M. (2019). Foundations for measuring IT-outsourcing success and failure. *Journal of Systems and Software*, 156, 113-125. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.06.074> ↑Ver página

- [Fajardo González, 2017] Fajardo González, H. M. (2017). *Análisis del sector de operadores logísticos en Colombia, para la creación de un modelo de selección de servicios logísticos utilizando la metodología AHP* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia. ↑Ver página 212, 215, 223, 224
- [Ganga Contreras y Toro Reinoso, 2008] Ganga Contreras, F. y Toro Reinoso, I. (2008). Externalización de funciones: algunas reflexiones teóricas. *Estudios Gerenciales*, 24(107), 107-135. [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(08\)70039-1](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(08)70039-1) ↑Ver página
- [Ganga Contreras et al., 2010] Ganga Contreras, F., Toro Reinoso, I. y Sanhueza Burgos, H. (2010). La tercerización de funciones en la División El Teniente, de Codelco Chile. *Estudios Gerenciales*, 26(116), 143-168. [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(10\)70127-3](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(10)70127-3) ↑Ver página
- [González y Bacca, 2014] González, A. F. y Bacca, A. P. (2014). *Operadores logísticos de clase mundial: marcha por un camino de excelencia* [Tesis de especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio institucional de la Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12556> ↑Ver página 212, 213, 214, 215
- [Gonzalez y Bernal Payares, 2015] Gonzalez, O. y Bernal Payares, E. A. (2015). Panamá como centro logístico multimodal de las Américas en un mundo globalizado. *Aglala*, 66(1), 121-141. <https://doi.org/10.22519/22157360.723> ↑Ver página
- [Granillo-Macías et al., 2019] Granillo-Macías, R., Gonzales-Hernández, I. J. y Santana-Robles, F. (2019). Operadores logísticos. *Ingenio y Conciencia: Boletín Científico de la Escuela Superior de CD. Sahagún*, 11(11), 44-48. <https://doi.org/10.29057/ess.v6i11.3740> ↑Ver página 214
- [Grondys et al., 2014] Grondys, K., Lovasova, R., Stelmaszczyk, A. y Janik, W. (2014). Importance of logistics operators in international market. *Advanced Logistic Systems*, 8(1), 41-46. ↑Ver página 212, 213, 214, 222
- [Gürbüz et al., 2019] Gürbüz, F., Eski, İ., Denizhan, B. y Dağlı, C. (2019). Prediction of damage parameters of a 3PL company via data mining and neural networks. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(3), 1437-1449. <https://doi.org/10.1007/s10845-017-1337-z> ↑Ver página 212, 216
- [Gürcan et al., 2016] Gürcan, Ö. F., Yazıcı, İ., Beyca, Ö. F., Arslan, Ç. Y. y Eldemir, F. (2016). Third party logistics (3PL) provider selection with AHP application. *Procedia. Social and Behavioral Sciences*, 235, 226-234. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.11.018> ↑Ver página 212, 218
- [Hamdan y Rogers, 2008] Hamdan, A. y Rogers, K. J. (2008). Evaluating the efficiency of 3PL logistics operations. *International Journal of Production Economics*, 113(1), 235-244. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.05.019> ↑Ver página 219

- [Hawari y Tahar, 2015] Hawari, N. N. y Tahar, R. M. (2015). Microworlds of the dynamic balanced scorecard for university (DBSC-UNI). *AIP Conference Proceedings*, 1691(1). <https://doi.org/10.1063/1.4937028>. ↑Ver página 216
- [Hernández *et al.*, 2017] Hernández Santibáñez, M. I., Giraldo Correa, L. F., Gaviria Ramírez, L. A., Wilches David, Á. M. y Osorio Gómez, J. C. (2017). Priorización de despachos con AHP difuso y Topsis. *Tecnura*, 21(52), 102-110. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.2.a08> ↑Ver página 218
- [Jayaram y Tan, 2010] Jayaram, J. y Tan, K. Ch. (2010). Supply chain integration with third-party logistics providers. *International Journal of Production Economics*, 125(2), 262-271. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.02.014> ↑Ver página 222
- [Jiang *et al.*, 2016] Jiang, L., Wang, Y. y Liu, D. (2016). Logistics cost sharing in supply chains involving a third-party logistics provider. *Central European Journal of Operations Research*, 24(1), 207-230. <https://doi.org/10.1007/s10100-014-0348-5> ↑Ver página 212, 216
- [Jovčić *et al.*, 2019] Jovčić, S., Pruša, P., Dobrodolac, M. y Švadlenka, L. (2019). A proposal for a decision-making tool in third-party logistics (3PL) provider selection based on multi-criteria analysis and the fuzzy approach. *Sustainability*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/su11154236> ↑Ver página 218
- [Jung, 2017] Jung, H. (2017). Evaluation of third party logistics providers considering social sustainability. *Sustainability*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/su9050777> ↑Ver página 220
- [Kayakutlu y Buyukozkan, 2011] Kayakutlu, G. y Buyukozkan, G. (2011). Assessing performance factors for a 3PL in a value chain. *International Journal of Production Economics*, 131(2), 441-452. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.12.019> ↑Ver página 219
- [Klapalová, 2012] Klapalová, A. (2012). Reverse logistics and 3PL in the Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 60(7), 163-170. <https://doi.org/10.11118/actaun201260070163> ↑Ver página
- [Liu y Lyons, 2011] Liu, Ch. L. y Lyons, A. C. (2011). An analysis of third-party logistics performance and service provision. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(4), 547-570. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2010.11.012> ↑Ver página 220
- [Luis, 2017] Luis, C. (2017). *Logística de distribución de válvulas, bridas y tubos metálicos entre España y Chile* [Tesis de grado]. Repositorio Universidad de Cantabria. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/12741> ↑Ver página
- [Maamar y Shen, 2002] Maamar, Z. y Shen, W. (2002). Introduction. *Communications of the ACM*, 45(11), 25-26. <https://doi.org/10.1145/581571.581588> ↑Ver página 218

- [Mantilla, 2018] Mantilla, D. F. (2018). *Perfil del consumidor logístico en Colombia*. Transportadora Comercial Colombia. ↑Ver página 224
- [Melo Rodríguez y Cortés Guerrero, 2016] Melo Rodríguez, J. A. y Cortés Guerrero, C. A. (2016). Análisis de vulnerabilidad de sistemas de potencia incluyendo incertidumbre en las variables con lógica difusa tipo 2. *Tecnura*, 20(49), 100-119. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.3.a07> ↑Ver página 218
- [Ministerio de Fomento, 2013] Ministerio de Fomento (2013). *Estrategia logística de España*. ↑Ver página 212
- [Mitra, 2010] Mitra, S. (2010). A comparative study of North American and Indian third-party logistics (3PL) service providers. En *2010 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering, ICCAE 2010*, 5, 247-250. 10.1109/ICCAE.2010.5451460 <https://doi.org/10.1109/ICCAE.2010.5451460> ↑Ver página
- [Navicelli y De Carlo, 2018] Navicelli, A. y De Carlo, F. (2018). Third-party logistics as a competitive advantage in utilities spare parts management. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 600-605. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.384> ↑Ver página 222
- [Novaes y Detoni, 2013] Novaes, A. G. N. y Detoni, M. M. L. (2013). *ASP: The four party counterparts in the evolving logistics industry*. Springer Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-35585-6>. ↑Ver página 212, 215
- [Orjuela-Castro y Adarme-Jaimes, 2018] Orjuela-Castro, J. y Adarme-Jaimes, W. (2018). Evaluating the supply chain design of fresh food on food security and logistics. En J. C. Figueroa-García, E. R. López-Santana y J. I. Rodríguez-Molano (eds.), *Applied computer sciences in engineering* (pp. 257-269). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00350-0\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00350-0_22) ↑Ver página 213
- [Orjuela-Castro et al. (2005)] Orjuela-Castro, J. A., Castro Ocampo, O. F. y Suspes Bulla, E. A. (2005). Operadores y plataformas logísticas. *Tecnura*, 8(16), 115-127. 10.14483/22487638.6249 ↑Ver página 212, 215
- [Orjuela-Castro et al. (2017)] Orjuela-Castro, J. A., Suárez-Camelo, N. y Chinchilla-Ospina, Y I. (2017). Costos logísticos y metodologías para el costeo en cadenas de suministro: una revisión de la literatura. *Cuadernos de Contabilidad*, 17(44), 377-420. 10.11144/javeriana.cc17-44.clmc <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cc17-44.clmc> ↑Ver página 216
- [Pamucar et al., 2019] Pamucar, D., Chatterjee, K. y Zavadskas, E. K. (2019). Assessment of third-party logistics provider using multi-criteria decision-making approach based on interval rough numbers. *Computers and Industrial Engineering*, 127, 383-3407. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.023> ↑Ver página 220

- [Pérez y Narváez, 2019] Pérez, S. M. y Narváez, K. M. (2019). *Retos de la logística en Colombia* [Tesis de pregrado]. Repositorio Unicatólica. ↑Ver página 224
- [Rajesh *et al.*, 2012] Rajesh, R., Pugazhendhi, S., Ganesh, K., Ducq, Y. y Lenny Koh, S. C. (2012). Generic balanced scorecard framework for third party logistics service provider. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 269-282. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.01.040> ↑Ver página 212, 216
- [Rincón Ballesteros *et al.* (2017)] Rincón Ballesteros, D. L., Fonseca Ramírez, J. E. y Orjuela-Castro, J. A. (2017). Hacia un marco conceptual común sobre trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos. *Ingeniería*, 22(2), 161-189. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2017.2.a01> ↑Ver página 209, 210
- [Rodríguez, 2013] Rodríguez, J. M. (2013). *Competencia por la carga contenerizada en el mercado portuario de Panamá: 1990-2008* [Tesis de grado]. Universidad de Alcalá. ↑Ver página
- [Rojas *et al.*, 2017] Rojas, D. A., Cardozo, L. M. y Chyngate, M. A. (2017). *Evolución de los operadores logísticos en Colombia*. Universidad Piloto de Colombia. ↑Ver página 213, 214, 215, 223
- [Ruiz Moreno *et al.* (2015)] Ruiz Moreno, A. F., Caicedo Otavo, A. L. y Orjuela Castro, J. A. (2015). Integración externa en las cadenas de suministro agroindustriales: una revisión al estado del arte. *Ingeniería*, 20(2), 167-188. <https://doi.org/10.14483/23448393.8278> ↑Ver página 212, 215, 216
- [Selviaridis y Spring, 2007] Selviaridis, K. y Spring, M. (2007). Third party logistics: A literature review and research agenda. *The International Journal of Logistics Management*, 18(1), 125-150. <https://doi.org/10.1108/09574090710748207> ↑Ver página 212, 215, 221, 222
- [Selviaridis *et al.*, 2008] Selviaridis, K., Spring, M., Profillidis, V. y Botzoris, G. (2008). Benefits, risks, selection criteria and success factors for third-party logistics services. *Maritime Economics and Logistics*, 10(4), 380-392. 10.1057/mel.2008.12 <https://doi.org/10.1057/mel.2008.12> ↑Ver página 222
- [Setthakaset y Basnet, 2005] Setthakaset, P. y Basnet, Ch. (2005). Third party logistics in Thailand-from the users' perspective. En H. Kotzab, S. Seuring, M. Müller y G. Reiner (eds.), *Research methodologies in supply chain management* (pp. 203-218). Physica-Verlag HD. [https://doi.org/10.1007/3-7908-1636-1\\_14](https://doi.org/10.1007/3-7908-1636-1_14) [https://doi.org/10.1007/3-7908-1636-1\\_14](https://doi.org/10.1007/3-7908-1636-1_14) ↑Ver página
- [Shou *et al.*, 2017] Shou, Y., Shao, J. y Chen, A. (2017). Relational resources and performance of Chinese third-party logistics providers. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(9), 864-883. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-09-2016-0271> ↑Ver página 220

- [Singh *et al.*, 2018] Singh, R. K., Gunasekaran, A. y Kumar, P. (2018). Third party logistics (3PL) selection for cold chain management: A fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS approach. *Annals of Operations Research*, 267(1-2), 531-553. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2591-3> ↑Ver página 218
- [Skjoett-Larsen, 2000] Skjoett-Larsen, T. (2000). Third party logistics - from an interorganizational point of view. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 30(2), 112-127. <https://doi.org/10.1108/09600030010318838> ↑Ver página 222
- [Sohal y Rahman, 2013] Sohal, A. S. y Rahman, S. (2013). Use of third-party logistics services: An Asia-Pacific perspective. *International Series in Operations Research and Management Science*, 181, 45-67. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6132-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6132-7_3) ↑Ver página
- [Sremac *et al.*, 2018] Sremac, S., Stević, Ž., Pamučar, D., Arsić, M. y Matić, B. (2018). Evaluation of a third-party logistics (3PL) provider using a rough SWARA-WASPAS model based on a new rough Dombi aggregator. *Symmetry*, 10(8), 1-25. <https://doi.org/10.3390/sym10080305> ↑Ver página 220
- [Tacla y Botter, 2017] Tacla, D. y Botter, R. C. (2017). Land transportation assets' potential future trends and the third-party logistics providers in emerging markets, with a case study applied in Brazil. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 27(2), 208-224. 10.1504/IJLSM.2017.083817 <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2017.083817> ↑Ver página
- [Tan *et al.*, 2014] Tan, A. W. K., Yifei, Z., Zhang, D. y Hilmola, O. P. (2014). State of third party logistics providers in China. *Industrial Management and Data Systems*, 114(9), 1322-1343. <https://doi.org/10.1108/IMDS-06-2014-0179> ↑Ver página
- [Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología, 2018] Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología (UNICyT). (2018). *Actas del III Congreso Investigación, Desarrollo e Innovación de la Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología IDI- UNICyT 2018*. ↑Ver página
- [Tezuka, 2011] Tezuka, K. (2011). Rationale for utilizing 3PL in supply chain management: A shippers' economic perspective. *IATSS Research* 35(1), 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2011.07.001> ↑Ver página 212, 214
- [Van Schijndel y Dinwoodie, 2000] Van Schijndel, W. J. y Dinwoodie, J. (2000). Congestion and multimodal transport: A survey of cargo transport operators in the The Netherlands. *Transport Policy*, 7(4), 231-241. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(00\)00023-8](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(00)00023-8) ↑Ver página
- [Vasiliauskas y Jakubauskas, 2007] Vasiliauskas, A. V. y Jakubauskas, G. (2007). Principle and benefits of third party logistics approach when managing logistics supply chain. *Transport*, 22(2), 68-72. <https://doi.org/10.3846/16484142.2007.9638101> ↑Ver página 212, 215, 222

- [Wang *et al.*, 2019] Wang, F., Yang, X., Zhuo, X. y Xiong, M. (2019). Joint logistics and financial services by a 3PL firm: Effects of risk preference and demand volatility. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 130, 312-328. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.09.006> ↑Ver página 212, 217
- [Wanke, 2012] Wanke, P. F. (2012). Determinants of scale efficiency in the Brazilian 3PL industry: A 10-year analysis. *International Journal of Production Research*, 50(9), 2423-2438. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.581005> ↑Ver página
- [Xiao *et al.*, 2018] Xiao, J. H., Lee, S. J., Liu, B. L. y Liu, J. (eds.), *Contemporary logistics in China: Collaboration and reciprocation. Chapter 4: Third-party logistics development in China*. Springer. <http://www.springer.com/series/11028> ↑Ver página 214, 215
- [Yeung, 2006] Yeung, A. C. L. (2006). The impact of third-party logistics performance on the logistics and export performance of users: An empirical study. *Maritime Economics and Logistics*, 8(2), 121-139. <https://doi.org/10.1057/palgrave.mel.9100155> ↑Ver página 222



	América	Estados Unidos	Chile	Panamá
Razón de la subcontratación			Se ocupan del traslado de los bienes, organizan la cadena logística y aseguran la sincronización de sus entregas; brindan su servicio a varios clientes, por lo que pueden lograr importantes sinergias, reduciendo costos y mejorando servicios (Luis, 2017).	Menores costos en la entrega por unidad de producto, permite mejorar la eficiencia de operación de los mercados, ya produce menos trabas al intercambio comercial, mejora la competitividad de las exportaciones, pues se usan de óptima manera los modos de transporte (González y Bernal Payares, 2015).
Principales actividades subcontratadas			Ofrecen servicios de transporte, distribución, almacenaje y manipulación e incluso los relacionados con los trámites aduaneros (Luis, 2017).	Los procesos de recepción, importación, almacenamiento, selección, embalaje y despacho, incluyendo la gestión de inventarios, valor agregado (etiquetado, impresión de la leyenda “Prohibida su venta” y/o la impresión de registros sanitarios) (UNICYT, 2018).
Mercado atendido			Construcción, agrícola, público y minero (Ganga Contreras y Toro Reinoso, 2008).	Sector farmacéutico (UNICYT, 2018), centros aéreos, telecomunicaciones, transporte marítimo (Rodríguez, 2013).
Satisfacción de los servicios			Más de la mitad de las empresas han subcontratado al menos una de sus actividades. Dentro de todas las empresas, las que más externalizan servicios son las grandes, cuyo porcentaje llegó en 2004 a prácticamente 50 % (Ganga Contreras y Toro Reinoso, 2008).	El 62 % de las empresas encuestadas muestra estar “totalmente satisfechas” con los procesos subcontratados de órdenes o pedidos, mientras que el 38 % declara estar “muy satisfechas”. Los elementos más valorados en la gestión de inventarios son la exactitud, la visibilidad del inventario en línea y la clasificación del inventario de acuerdo con el servicio ofrecido (UNICYT, 2018).
Factores que influyen en el éxito		Las empresas norteamericanas consideraron la integración de cadenas de suministro e internacionalización de operaciones de importancia media, debido a que las empresas norteamericanas están más globalizadas y tienen más integración de las cadenas de suministro. La experiencia 3PL y las relaciones 3PL son muy importantes (Mitra, 2010).	Enfoque, velocidad, flexibilidad, eficiencia y acceso instantáneo a la información (Ganga Contreras y Toro Reinoso, 2008).	
Rendimiento		El enfoque en el cliente y el enfoque en la industria son importantes para las empresas estadounidenses, pero esto no garantizarían suficientes ingresos, beneficios y crecimiento al menos en el período inicial (Mitra, 2010).		Las revisiones mensuales y trimestrales permiten la elaboración de planes de acción para mejorar el desempeño del operador logístico y la planificación efectuada por la empresa (UNICYT, 2018).
Impacto de las empresas 3PL			Permite enfrentar las fluctuaciones del mercado (Ganga Contreras y Toro Reinoso, 2008). La externalización de actividades mejora la capacidad de flexibilidad y adaptabilidad de la organización, y con ello una mayor participación global en los mercados mundiales (Ganga Contreras <i>et al.</i> , 2010).	Los operadores logísticos disponen de acceso al uso del modo de transporte como el multimodal combinado (mar-mar), el multimodal mar-férreo, el multimodal mar-terrestre (camión), y por último, el transporte multimodal mar-aéreo (Rodríguez, 2013).
Índice de desempeño logístico: Total (De 1 = bajo a 5 = alto) año 2018		3,89 (Banco Mundial, s. f.).	3,32 (Banco Mundial, s. f.).	3,28 (Banco Mundial, s. f.).

	América	Brasil	Colombia
Razón de la subcontratación		La ola de <i>outsourcing</i> de servicios logísticos y la contratación de 3PL incluyen reducción de costos, mejora de niveles de servicio, mayor flexibilidad operativa y la capacidad mejorada para centrarse en el negocio principal (Wanke, 2012).	La decisión de las empresas en tercerizar algunos procesos para disminuir sus costos en aspectos como reducción de personal, evitar inversiones, incremento de la calidad, menores penalizaciones, menores rechazos y devoluciones, adicionalmente mejorar el nivel de servicio para poder concentrarse en su negocio (Fajardo González, 2017).
Principales actividades subcontratadas		Coordinación de la cadena de suministro en transporte y almacenamiento, mano de obra, seguimiento, KPI, seguros, programación de entregas y gestión de subcontratistas, información de entrega en tiempo real, WMS y TMS integrado con ERP y gestión de resultados financieros, optimización e innovación para los clientes finales e integran toda la cadena de suministro (Tacla y Botter, 2017).	Las principales actividades solicitadas como procesamiento de pedidos de clientes (10,7%), planeación y reposición de inventarios (9,6%), compras y manejo de proveedores (10,0%) han presentado un incremento. Del mismo modo, almacenamiento (28,1%), transporte y distribución (79,6%), logística de reversa (46,7%) han mostrado una disminución. Finalmente, el comercio exterior ha mantenido su demanda con un 54,8% (Fajardo González, 2017).
Mercado atendido		Las empresas del sector automotriz, electrodomésticos y el sector aeroespacial tienden a contratar 3PL integrados. Por el contrario, alimentos, bebidas y las empresas de combustibles, por ejemplo, suelen contratar 3PL con un enfoque menos intensivo en tecnología (Wanke, 2012).	Las operaciones logísticas atendidas por los operadores en Colombia se encuentran divididas de la siguiente forma: operación logística terrestre (37,1%), seguida de operación integral (18,9%), otros servicios (17,4%), comercio exterior (17%), marítima (puertos) (3,4%), almacenamiento (3,4%), zonas francas (1,5%), y aérea (1,1%), minería, agricultura, ganadería, hidrocarburos, con un 35%. Empresas industriales productoras de bienes (8%); distribución y comercialización de productos con un 5%; comunicaciones, ingeniería, banca, educación, etc., con 52% (Fajardo González, 2017).
Satisfacción de los servicios			Las empresas que contratan los servicios de un operador logístico le otorgan en promedio una calificación de 6,8 en una escala de 1 a 10, siendo 1 la más baja calificación y 10 la más alta. Las razones para este puntaje son principalmente incumplimiento en los tiempos de entrega, ausencia de tecnología para rastrear la carga desde su origen al destino, y fletes costosos. Sobre la utilización de las tecnologías de información y comunicación (TIC). En el campo de la logística en Colombia, se encuentra que aún falta aumentar el empleo de estos avances tecnológicos en las empresas (Fajardo González, 2017).
Factores que influyen en el éxito		Las herramientas TI como radio y satélite seguimiento (subcontratado), ERP, <i>just in time</i> , <i>milk run</i> y gestión intermodal tienen un mayor impacto en la eficiencia de escala para los 3PL brasileños. Además de la experiencia acumulada por operar durante más tiempo en el mercado, también la relación entre la empresa contratante y el 3PL una mejor adaptación de los recursos al cliente y sus exigencias (Wanke, 2012).	La tercerización de actividades logísticas ha permitido que las empresas respondan a la transformación del mercado, a través de la innovación. De igual forma, la trazabilidad de operaciones, optimización de procesos como despachos y almacenaje (WMS, TMS), sistemas de rastreo y optimizadores (Fajardo González, 2017).
Rendimiento		Hacen más confiable para la planificación de los recursos de transporte y almacenamiento de 3PL en relación con los inventarios de los clientes, por tanto, posibilita un mejor desempeño operativo (Wanke, 2012).	En promedio la efectividad logística de las empresas USL es de 6,8 y las PSL es 7,6 en una escala de 1 a 10, lo cual indica una percepción mayor de cumplimiento de sus procesos por parte de las empresas que tienen como su principal actividad operativa la logística (Fajardo González, 2017).
Impacto de las empresas 3PL		Los operadores logísticos disponen de acceso al uso del modo de transporte como el multimodal combinado (mar-mar), el multimodal mar-férreo, el multimodal mar-terrestre (camión), y por último, el transporte multimodal mar-aéreo (Rodríguez, 2013).	La subcontratación de los servicios ofrece a los clientes no solo la posibilidad de reducir costos, al convertir los fijos en variables, sino también de dedicarse por completo a la fabricación o venta de subproductos y así mejorar la calidad del servicio (Rojas <i>et al.</i> , 2017).
Índice de desempeño logístico: Total (De 1 = bajo a 5 = alto) año 2018		3,28 (Banco Mundial, s. f.).	2,94 (Banco Mundial, s. f.).

## Anexo 2. Cuadro comparativo de los operadores logísticos en Asia y Oceanía.

	Asia y Oceanía	Emiratos Árabes Unidos	India	China
Razón de la subcontratación		Reducción de costos logísticos, servicio al cliente mejorado, para procesar mejor sensibilidad, mejorar la capacidad del proceso y tiempo de ciclo y mejorar la conformidad calidad (Ashok y Rajesh, 2019).	Reducción de costos logísticos, centrarse en el núcleo de competencias, servicio al cliente mejorado, mejorar la capacidad del proceso y tiempo de ciclo y mejoras de productividad (Ashok y Rajesh, 2019).	
Principales actividades subcontratadas		El transporte de carga es la más importante función logística (80-90 %), seguida de transporte (60-70 %), almacenamiento (30-40 %) (Ashok y Rajesh, 2019).	Gestión de almacenes (84 %) seguido por transporte de camión completo (81 %), transporte de carga (75 %), despacho de aduana (69 %), multimodal y consultoría de servicios (69 %), consolidación de fletes (66 %), inversión logística (59 %) y operaciones <i>break bulk</i> (56 %) (Ashok y Rajesh, 2019).	La industria china se enfoca esencialmente en proporcionar Servicio tradicional como la gestión portuaria, el transporte, el inventario, El transporte por carretera de mercancías representa el 76 % de la carga total transportada internamente; El flete ferroviario representa el 11%; El transporte marítimo es fundamental, con carga transportada por vías navegables interiores que representa el 11 %. El transporte aéreo juega un papel mucho menor en el transporte (Tan <i>et al.</i> , 2014).
Mercado atendido		Productos químicos (83 %), electrónica (75 %), construcción y materiales de edificación (71 %), prendas de vestir y textiles (71 %), muebles (71 %), aceite y gas (71 %) y automóviles (67 %) son los más mercados importantes atendidos por empresas 3PL (Ashok y Rajesh, 2019).	Productos químicos (52 %), automotriz (50 %), y los productos farmacéuticos (50 %) equipos eléctricos (12 %), automotriz y química (11 %) automoción (27 %), ingeniería (23 %) y otros (21 %) son las industrias de mayor demanda atendidas en India (Ashok y Rajesh, 2019).	Los servicios 3PL han sido más amplios y profundamente utilizado para las industrias química, electrónica y farmacéutica que en el resto de las industrias manufactureras (Tan <i>et al.</i> , 2014).
Satisfacción de los servicios		El 76 % de los clientes estaban satisfechos y 10 % se mostraron muy satisfechos en 2019 (Ashok y Rajesh, 2019).	La mayoría de los clientes están satisfechos con los proveedores de servicios 3PL en la India. En un promedio del 70 % de los clientes estaban satisfechos con sus empresas 3PL y operaciones 3PL en India (Ashok y Rajesh, 2019).	El servicio desde la perspectiva de los clientes presenta algunas inconsistencias a nivel de puntualidad ordenada, rastreabilidad y seguridad (Tan <i>et al.</i> , 2014).
Factores que influyen en el éxito		Costo, tiempo de entrega/entrega actuación, compromiso estratégico con clientes, calidad de los servicios, actitud de relación con el cliente (Ashok y Rajesh, 2019).	Tiempo de entrega/entrega actuación, flexibilidad, actitud de relación con el cliente, compromiso estratégico con clientes, fiabilidad del proveedor 3PL (Ashok y Rajesh, 2019).	
Rendimiento		Los sistemas que muestran un mayor rendimiento son: sistema de gestión exportar importar, comunicación móvil, rastreo de envío, gestión de sistema transporte (planificación y programación), datos electrónicos de intercambio (EDI) (Ashok y Rajesh, 2019).	Los sistemas que muestran un mayor rendimiento son: rastreo de envío, sistema de gestión, exportar importar, gestión de sistema transporte (planificación y programación), sistema de gestión de pedido del cliente, sistema de distribución de almacén (Ashok y Rajesh, 2019).	
Impacto de las empresas 3PL		Los sistemas que más muestran impacto son: exactitud del pedido, entrega rápida, comunicación eficaz con los clientes, respuesta rápida a las consultas de los clientes, buen manejo de inventarios (Ashok y Rajesh, 2019).	Los sistemas que más muestran impacto son: respuesta rápida a las consultas de los clientes, comunicación eficaz con los clientes, seguimiento oportuno de las quejas de los clientes, exactitud del pedido, entrega confiable (Ashok y Rajesh, 2019).	La implementación de TI de alta tecnología puede influir positivamente en las empresas solo cuando coincide con todas las estrategias de las empresas 3PL. La mejora en la tecnología de TI utilizada no necesariamente mejora la posición competitiva de los proveedores 3PL en el mercado o beneficia los ingresos de los proveedores 3PL (Tan <i>et al.</i> , 2014).
Índice de desempeño logístico: Total (De 1 = bajo a 5 = alto) año 2018		3,96 (Banco Mundial, s. f.).	3,18 (Banco Mundial, s. f.).	3,61 (Banco Mundial, s. f.).

Asia y Oceanía	Tailandia	Australia y Singapur
Razón de la subcontratación	Obtener la ventaja competitiva, recibir un servicio personalizado, obtener el uso de tecnología sofisticada, usando la experiencia de un tercero, capacidad para concentrarse en sus actividades principales (Setthakaset y Basnet, 2005).	La reducción de costos se informó como la principal razón para subcontratar servicios logísticos en las naciones, la flexibilidad nacional es el segundo factor más importante en Australia y Singapur, el acceso a nuevas tecnologías, técnicas y experiencia ocupó el cuarto lugar entre las cuatro razones para <i>outsourcing</i> logístico (Sohal y Rahman, 2013).
Principales actividades subcontratadas	El transporte es la más frecuente actividad logística subcontratada con un 56,8 %. Esto fue seguido por embalaje (18,2 %) y operación de almacenamiento (11,4 %). Las funciones que son menos subcontratadas incluyen la gestión de inventarios, sistemas de información y otros servicios (como trámites aduaneros) (Setthakaset y Basnet, 2005).	Transporte y distribución; almacenamiento e inventario; sistema de información/tecnología. En estos países se subcontrata una amplia gama de servicios logísticos con gestión de flotas, consolidación de envíos, gestión de almacenes y pedidos, el cumplimiento es el servicio más popular subcontratado (Sohal y Rahman, 2013).
Mercado atendido		
Satisfacción de los servicios	Más del 80 % de los encuestados están de acuerdo en que los proveedores de 3PL son fáciles de comunicarse, hacen lo que dijeron que harían, y son flexibles. Muestra que los proveedores de 3PL tailandeses brindan un buen servicio calidad a las empresas usuarias. Sin embargo, el nivel de satisfacción con la tecnología de 3PL no fue muy alto (58 %) (Setthakaset y Basnet, 2005).	Los clientes generalmente están 'satisfechos' con los servicios de 3PL proveedores en Singapur. Alrededor del 85 % indicó que estaban satisfechos, mientras que la cifra fue algo menor para Australia (64 %). Las empresas australianas (18 %) estaban "muy satisfechas". Del mismo modo, el doble de empresas australianas (14 %) estaban "insatisfechas" con los servicios de los proveedores, en relación con su contraparte en Singapur (Sohal y Rahman, 2013).
Factores que influyen en el éxito		
Rendimiento		
Impacto de las empresas 3PL	El uso de 3PL permite mejores entregas y centrarse en su negocio principal, mejora su productividad y eficiencia, su servicio calidad, el acceso a tecnología actualizada y flexibilidad. Ayuda a reducir sus costos logísticos y mejora de la satisfacción del cliente y el desempeño logístico interno (Setthakaset y Basnet, 2005).	Entre el 70 % y el 90 % de las empresas reportaron impactos en costo de logística, satisfacción del cliente y en logística interna. En Singapur (81 %) informaron efectos sobre moral de los empleados (Sohal y Rahman, 2013).
Índice de desempeño logístico: Total (De 1 = bajo a 5 = alto) año 2018	3,41 (Banco Mundial, s. f.).	3,75-4,00 (Banco Mundial, s. f.).

### Anexo 3. Cuadro comparativo de los operadores logísticos en Europa

	Europa	Holanda	República Checa
Razón de la subcontratación	Reducción de costes a corto plazo o garantía de continuidad operativa, acceso al conocimiento y la experiencia del proveedor de servicios (Delen <i>et al.</i> , 2016).		
Principales actividades subcontratadas	Transporte de carga, almacenamiento, transbordo, logística de valor agregado (Van Schijndel y Dinwoodie 2000), tecnologías de la información (TI) (Delen <i>et al.</i> , 2016).	El transporte es subcontratado por 92,9 % de empresas de la industria química. La recogida es subcontratada por 33,3 % empresas de la industria de la ingeniería. La destrucción o restauración se subcontrata principalmente por empresas procesadoras de alimentos (66,7 %). El procesamiento de alimentos tiene la mayor proporción de empresas que subcontratan (33,3 %). La reventa de componentes/artículos/materiales/embalajes es subcontratado la mayoría de las veces por empresas de productos químicos de industria (42,9 %) (Klapalová, 2012).	La colección y selección/clasificación de la participación de empresas que proporcionar estas actividades es más alto con medio y grandes compañías. Por el contrario, la parte correspondiente a la actividad de reensamblaje es mayor con medianas y pequeñas empresas. Los sectores atendidos son la industria química, comercio y servicios, procesadora de alimentos, industria de la ingeniería (Klapalová, 2012).
Mercado atendido	Empresas públicas, de seguros, bancos (Delen <i>et al.</i> , 2016).		
Satisfacción de los servicios			
Factores que influyen en el éxito	Experiencia, comunicación con el cliente y gestión de la demanda (Delen <i>et al.</i> , 2016). La gran empatía del proveedor y los motivos estratégicos a largo plazo del proveedor son factores rígidos que ayudan en acuerdos exitosos (Delen <i>et al.</i> , 2019).		
Rendimiento			
Impacto de las empresas 3PL	Alto nivel de integración, ofreciendo un servicio puerta a puerta, comunicación de información, aplicación e integración de tecnología de la información avanzada permitiendo un flujo físico de mercancías eficiente y fiable (Van Schijndel y Dinwoodie 2000).		
Índice de desempeño logístico: Total (De 1 = bajo a 5 = alto) año 2018		4,02 (Banco Mundial, s. f.).	3,18 (Banco Mundial, s. f.).

## 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>