



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

REVISTA Ingeniería

Four-monthly Scientific Journal

2023

Volume 28 - Issue Suppl - ISSN 0121-750X E-ISSN 23448393

REVISTA Ingeniería

Vol. 28 · Issue Suppl · Year 2023 · ISSN 0121-750X · E-ISSN 2344-8393

Four-monthly Scientific Journal



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Carrera 7 No. 40-53
Edificio Administrativo
Piso 7 - Facultad de Ingeniería
Bogotá, Colombia
Teléfono: + 57 (1) 323 93 00 ext. 2413
Correo revista:
revista.ing@udistrital.edu.co

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving>

Focus and Scope

The journal *Ingeniería* is a scientific publication that deals with the fields of Engineering and Technology, according to the OCDE's classification of scientific areas. It is published every four months by Universidad Distrital Francisco José de Caldas, and its main goal is to disseminate and discuss advances in research and development in the different areas of Engineering and Technology via original and previously unpublished with local and international scope. The Journal's intended audience is the academic community, researchers, graduates, productive sectors, and the general public interested in all the disciplines of Engineering.

Editors

Editor-in-chief

Oscar Danilo Montoya Giraldo, PhD.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Associate Editor

Nelson Leonardo Díaz, PhD.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Scientific and editorial committee

PhD. Alonso Salvador Sanchez
Universidad de Alcalá
España

PhD. Arul Rajagopalan
Vellore Institute of Technology
Chennai, India.

PhD. Carlos Andrés Peña
Institute for Information and
Communication Technologies -
HEIG-VD, Suiza.

PhD. Federico Martin Serra
Universidad Nacional de San Luis
Argentina

PhD. Iván Santelices Malfanti
Universidad del Bío-Bío
Chile

PhD. Jesús de la Casa Hdez
Universidad de Jaén
España

PhD. José Marcio Luna
Perelman School of Medicine
University of Pennsylvania
Estados Unidos

PhD. Josep M. Guerrero
Aalborg University
Dinamarca

PhD. Nelson L. Díaz
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas
Colombia

PhD. Sarah Greenfield
Centre for Computational
Intelligence De Montfort Interdisciplinary
England

Directives

Giovanny Tarazona Bermúdez, PhD.
Rector

Ángela Parrado Rosselli, PhD.
Director CIDC-Centro de Investigación y Desarrollo Científico

Luz Esperanza Bohórquez, PhD.
Dean Faculty of Engineering

Technical Committee

Ingri Gisela Camacho, BSc.
Editorial Manager

Pablo Estrada Suarez, MSc.
Spanish Proofreader

José Daniel Gutiérrez Mendoza
English Proofreader

Julian Arcila-Forero, MSc.
Layout Artist IAT_EX

Open Access Policy

Ingeniería provides free access to its content. This free access is granted under the principle of making available freely the research to the public, which encourages a greater exchange of global knowledge.

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

You are free to:

- Share — copy and redistribute the material in any medium or format
- Adapt — remix, transform, and build upon the material

Article Processing Charge

No publication costs are charged to the authors or their institutions, nor is any payment made to expert peer reviewers or associated or adjunct editors. *Ingeniería* is funded by Universidad Distrital Francisco José de Caldas, its Department of Engineering, and its Central Research Office.

Indexed



Peer-reviewers in this issue

Abu Bakar Asmidar
Universiti Tenaga Nasional, Malasia

Alisson Carraro Borges
Universidade Federal de Vicosa, Brazil

César Orlando Díaz Benito
Universidad ECCI, Colombia

Frederico Schardong
Universidade Federal de Santa Catarina, Brazil

Holman Diego Bolívar Barón
Universidad Católica de Colombia, Colombia

Juan Gabriel Rueda-Bayona
Universidad del Valle, Colombia

Olga Lucia Ramos Sandoval
Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

Patricia Torres-Lozada
Universidad del Valle, Colombia

Tomás Jesús Madera Santana
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Mexico

Waldo Ojeda-Bustamante
Mexican College of Irrigation Engineers (COMIIE)

Adela Tatiana Rodríguez Chaparro
Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

Armando Roman-Flores
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Mexico

Frank Ballesteros
Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

Fredys Simanca
Universidad Libre, Colombia

Jorge A. Solsona
Universidad Nacional Del sur (UNS)-CONICET, Argentina

Marco Aurélio Stumpf González
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brazil

Pablo Rubén Fillotrani
Universidad Nacional del Sur: Bahía Blanca, Argentina

Pedro J. Zarco-Periñán
Universidad de Sevilla, Spain

Yeudy F. Vargas-Alzate
Universitat Politècnica de Catalunya, Spain

Xavier Font
Universitat Autònoma de Barcelona, Spain

Table of contents

Editorial

Some Data Regarding Scientific Research from Universidad Distrital Francisco José de Caldas in the Scopus Database in 2023

Oscar Danilo Montoya

Industrial Engineering

Development of a Technical Assistance Guide Model for Instituto Colombiano de Bienestar Familiar

Paula A. Castro O., Joan P. Cruz G., Ivonne A. Castiblanco J.

Literature Review with Bibliometric Analysis of the Hospital Supply Chain

Erika Tatiana Ruíz-Orjuela, Gustavo Gatica-González, Wilson Adarme-Jaimes

Challenges and Trends in Logistics 4.0

Camila Patricia Malagón-Suárez, Javier Arturo Orjuela-Castro

Methodologies and Applications of Sectoral Diagnosis: A Literature Review

Eduyán López-Santana, Germán Méndez-Giraldo, Harol Ávila Choconta, Carlos Franco, Feizar Rueda-Velasco

Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering

A Bibliometric Study of Scientific Production on Self-Sovereign Identity

Roberto Albeiro Pava Díaz, Rafael Vicente Páez Méndez, Luis Fernando Niño Vásquez

Civil and Environmental Engineering

Transient Dynamic Weather Isolines Generated via IoT Temperature and Relative Humidity Analysis Using the NodeMCU ESP8266 in Bogotá

Edgar Orlando Ladino-Moreno, César Augusto García-Ubaque, Eduardo Zamudio-Huertas

Computational Intelligence

Optimization of Recommender Systems Using Particle Swarms

Nancy Yaneth Gelvez-García, Jesús Gil-Ruiz, Jhon Fredy Bayona-Navarro

Environmental Engineering

Technical Design of a Low-Cost, Portable Methane Quantification System

Juan A. Tovar-Sánchez, Juan F. Arias-Molina, Harvey A. Milquez-Sanabria, Manuel A. Mayorga-Betancourt

Mechanical Engineering

Wireless Real-Time Data Acquisition System for Aerodynamic Characterization of a Wind Turbine

Jhoan S. Casallas, Héctor G. Parra, Elvis E. Gaona

Agricultural Engineering

Influence of the Type of Fibers and their Surface Treatment on the Properties of Biocomposite Panels

Martha Lissette Sánchez-Cruz, Gil Capote-Rodríguez, Juan Pablo Patiño-Quiazua

Editorial

Some Data Regarding Scientific Research from Universidad Distrital Francisco José de Caldas in the Scopus Database in 2023

Oscar Danilo Montoya¹  


¹Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

This issue of the **Ingeniería** journal explores the participation of researchers from the city of Bogotá (Colombia) who were selected by our journal to present their work in different areas of Engineering (Industrial, Electrical, Electronic, Civil, Environmental, Agricultural, and Mechanical Engineering, among others). The main idea of this issue is to disseminate significant contributions aiming to advance scientific knowledge in the fields of Engineering, Science, and Technology from multiple universities in Bogotá, as a window to promote research made in the city around the world.

The **Ingeniería** journal is part of the **Department of Engineering** of Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UDFJC), which is a public university located in Bogotá. As one of its foundational purposes, this University dedicates many human and economic resources to promote scientific research in the city, with free worldwide access. To demonstrate the importance of UDFJC in the Colombian research context and its considerable efforts to promote science and technology, this editorial note presents some important data regarding scientific research, taking the Scopus database as the source.

Exploring the Scopus database allows observing some of the leading indicators of UDFJC in terms of high-impact research with international visibility (note that these data were compiled until 02/27/2023) (1). In the last 20 years (from 2004 to 2023), UDFJC has published about 2,982 documents, which corresponds to the 99,5327 % of the University's research history in this database (*i.e.*, 2.996 documents). Fig. 1 shows the evolution of the research published during the last two decades in UDFJC. The behavior of the publication rate shows that:

- i. From 2012 to the present day, researchers with institutional affiliation to UDFJC have published more than 100 papers every year, reaching a peak in 2021, with more than 400 documents.

*  **Correspondence:** odmontoyag@udistrital.edu.co

Editorial

© The authors;
reproduction
right holder
Universidad
Distrital
Francisco José de
Caldas.

Open access



- ii. The data for 2023 show that, in the first two months of the year, 46 documents were published in the Scopus database, which implies that, at the end of the year, UDFJC may report more than 276 published papers.
- iii. The annual increase in publications in the Scopus database shows that researchers from UDFJC have understood the importance of publishing their research and discoveries in international databases, which can attract potential readers and citations at a global level, contributing to the discussion on science and technology from Bogotá to the world.

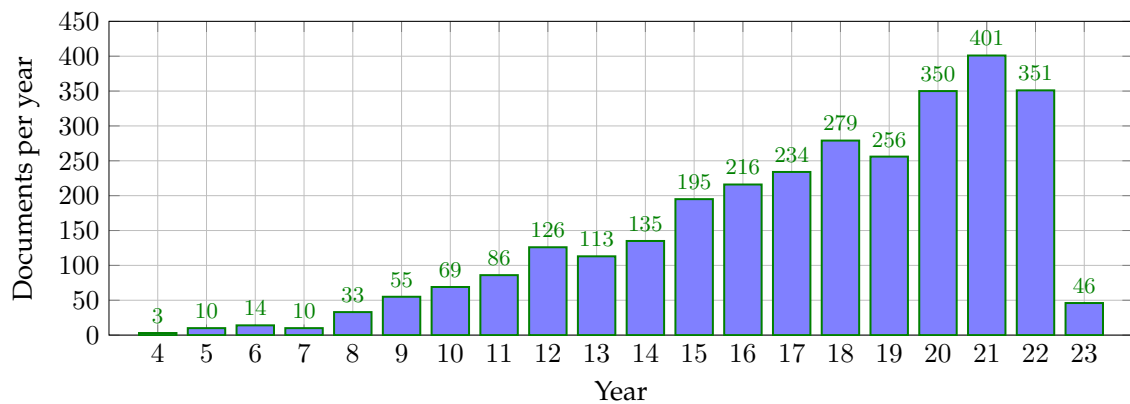


Figure 1. Number of documents published in the Scopus database from 2004 to 2023

Regarding the areas of knowledge where authors of UDFJC have produced more scientific research, Fig. 2 presents a list of the main fields with UDFJC publications.

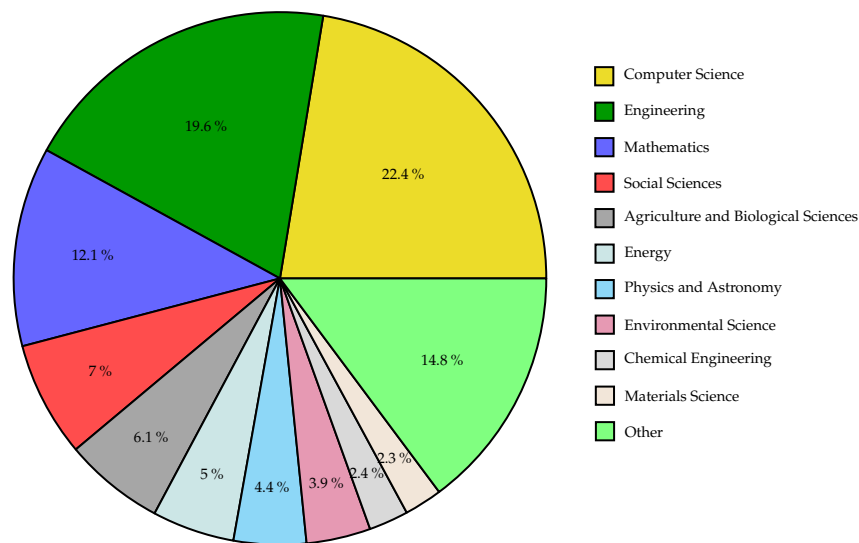


Figure 2. Percentage of documents published per area of knowledge

According to Fig. 2, it is clear that Computer Science (22,40%), Engineering (19,60%), and Mathematics (12,10%) are the most recurrent areas of publication by authors of UDFJC, which amounts to about 54,10% of the total documents published. Nevertheless, it is essential to note that Social Sciences are an increasing area of research and rank fifth, with about 7,00% of publications. This implies that human sciences constitute a significant contribution regarding the global impact of research from UDFJC for Bogotá and the world.

Finally, Table I shows the group of 20 institutions with which UDFJC has strong relations regarding scientific research.

Table I. Universities and institutions with strong research relationship with authors from UDFJC

Affiliation name	Documents	Location
Universidad Nacional de Colombia	394	Colombia (Bogotá)
Universidad Tecnológica de Bolívar	167	Colombia
Pontificia Universidad Javeriana	93	Colombia (Bogotá)
Universidad de Los Andes	82	Colombia (Bogotá)
Institución Universitaria Pascual Bravo	70	Colombia
Universidad Tecnológica de Pereira	55	Colombia
Universidad de Oviedo	51	Spain
Field Museum of Natural History	51	United States
Universidad Militar Nueva Granada	51	Colombia (Bogotá)
Universidad de Córdoba, Montería	51	Colombia
Universidad del Rosario	47	Colombia (Bogotá)
Universitat Politècnica de València	46	Spain
International University of La Rioja	42	Spain
Instituto Tecnológico Metropolitano	37	Colombia
Universidad de Jaén	36	Spain
Freie Universität Berlin	34	Germany
Corporación Universitaria Minuto de Dios	34	Colombia
Universidad Nacional de Colombia, Manizales	31	Colombia
Universidad Pontificia de Salamanca	29	Spain
Universidad de La Sabana	29	Colombia (Bogotá)

The main results shown in Table I regarding collaborative research are the following:

- i. UDFJC promotes collaborative research with multiple institutions located in Colombia, particularly in Bogotá, which confirms its role as an integrator of scientific knowledge in the city.
- ii. One of the most important partners for UDFJC research corresponds to universities in the Iberian Peninsula (Spain), with five universities in its top 20 collaborators. These collaborations amounted to about 204 documents out of 2.996, *i.e.*, 6,8091%.
- iii. From these collaborations, Universidad Nacional de Colombia (Bogotá) and Universidad Tecnológica de Bolívar (Cartagena) have 561 documents published in the Scopus database, *i.e.*, 18,725% of the total documents, which demonstrates the important role of researchers from

both universities in collaborating with researchers at UDFJC to generate scientific advances in Engineering, Science, and Technology from Colombia to the world.

- iv. The top 20 institutions that collaborate in research with UDFJC have produced about 1.430 documents published in the Scopus database, *i.e.*, about 47,7303% of the total scientific production of UDFJC, which implies that these 20 institutions have developed strong relationships with UDFJC for promoting science and technology worldwide, with Bogotá as one of the main foci of dissemination of scientific works in Colombia.

References

- [1] Scopus, "Research report: Universidad Distrital Francisco José de Caldas," 2023. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/affil/profile.uri?afid=60104009>↑ 1

Oscar Danilo Montoya

Compatibility and Electromagnetic Interference group, Department of Engineering, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; Electrical Engineer, Master's in Electrical Engineering, and PhD in Engineering.

Email: odmontoyag@udistrital.edu.co





Research

Development of a Technical Assistance Guide Model for Instituto Colombiano de Bienestar Familiar

Desarrollo de un modelo guía de asistencia técnica para el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar

Paula A. Castro O.¹, Joan P. Cruz G.¹  *, and Ivonne A. Castiblanco J.² 

¹Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (Bogotá, Colombia).

²Politécnico di Torino (Turín, Italia).

Abstract

Context: This article presents a product development methodology applied to the development of a technical assistance guide model for Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, which seeks to respond to the needs of the entity and those of its stakeholders, within the framework of the Sistema Nacional de Bienestar Familiar (SNBF) and the Servicio Público de Bienestar Familiar (SPBF).

Method: The applied methodology consists of three phases: identification of needs, specifications, and conceptual design.

Results: As a result, an analysis of the needs of the interested parties and the specifications to be considered by the guide model. Then, the conceptual design is explained through the concept of *technical assistance model*, which correlates the identified specifications with the requirements of the Integrated Planning and Management Model (MIPG) and ISO 30401: 2018.

Conclusions: The technical assistance guide model developed for Instituto Colombiano de Bienestar Familiar allows the entity to address the management of this strategy while considering the requirements of the MIPG and ISO 30401: 2018.

Keywords: technical assistance, knowledge management, innovation, public family welfare service, ISO 30401

Article history

Received:
4th/Dec/2020

Modified:
25th/Apr/2022

Accepted:
28th/Jul/2022

Ing, vol. 28,
no. suppl, 2023.
e17316

©The authors;
reproduction
right holder
Universidad
Distrital
Francisco José de
Caldas.

Open access



*  **Correspondence:** joan.cruz@escuelaing.edu.co

Resumen

Contexto: Este artículo presenta una metodología de desarrollo de producto aplicada al desarrollo de un modelo guía de asistencia técnica para el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, el cual busca dar respuesta a las necesidades de la entidad y de sus partes interesadas en el marco del Sistema Nacional de Bienestar Familiar (SNBF) y el Servicio Público de Bienestar Familiar (SPBF).

Método: La metodología aplicada consta de tres fases: identificación de necesidades, especificaciones y diseño conceptual.

Resultados: Como resultado, se muestra un análisis de las necesidades de las partes interesadas y las especificaciones que debe considerar el modelo guía. Luego se explica el desarrollo del diseño conceptual a través de los conceptos de modelo de asistencia técnica, los cuales correlacionan las especificaciones identificadas con los requisitos del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG) y la ISO 30401:2018.

Conclusiones: El modelo guía de asistencia técnica desarrollado para el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar le permite a la entidad abordar la gestión de esta estrategia a la luz de los requisitos del MIPG y la ISO 30401:2018.

Palabras clave: asistencia técnica, gestión del conocimiento, innovación, servicio público de bienestar familiar, ISO 30401

Tabla de contenidos

	Página		
1. Introducción	3	3.2. Fase II. Especificaciones	11
2. Revisión de literatura	3	3.3. Fase III. Diseño conceptual	11
2.1. Origen y evolución de la asistencia técnica (AT)	3	3.4. Generación de conceptos	12
2.2. Desarrollo de la asistencia técnica en Latinoamérica	5	3.5. Selección del concepto	12
2.3. Desarrollo de la asistencia técnica en Colombia	5	4. Resultados	13
2.4. Desarrollo de la asistencia técnica en el ICBF	6	4.1. Fase I. Identificación de necesidades	13
2.5. Aplicación de la metodología de desarrollo de producto en investigaciones referentes	7	4.2. Fase II. Especificaciones	14
3. Metodología	10	4.3. Fase III. Diseño conceptual	19
3.1. Fase I. Identificación de necesidades	10	4.4. Generación de conceptos	19
		4.4.1. Concepto I	19
		4.4.2. Concepto II	20
		4.4.3. Selección del concepto	21
		5. Beneficios	25
		6. Conclusiones	25
		7. Agradecimientos	27
		8. Contribución de autores	27
		Referencias	27

1. Introducción

La asistencia técnica (AT) según (1) se basa en ayudar a otro a resolver una problemática específica y, mediante su aplicación, las organizaciones formulan o generan conocimiento para su desarrollo. Así mismo, (2) indica que la asistencia técnica como fase de la extensión fortalece el conocimiento de una población específica mediante las buenas prácticas y gestión de este, y a su vez aporta al desarrollo de la innovación, ya que contribuye a la solución de problemas asociados a la aplicación y la implementación de productos, servicios, procesos y sistemas de gestión.

Según (3) el conocimiento es un factor importante para la productividad o eficiencia de la gestión de una entidad, lo cual hace que el desarrollo de estrategias para su generación, captura, difusión y uso se convierta en una de las principales prioridades de las organizaciones en la sociedad del conocimiento.

El Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) desde sus inicios ha considerado la asistencia técnica como factor relevante para la mejora no solo de sus procesos sino de las modalidades de atención del Servicio Público de Bienestar Familiar (SPBF), sin embargo, en la actualidad el Instituto no cuenta con una orientación clara y específica de qué es la asistencia técnica, cuál es su alcance y propósito, y cómo se debe brindar en sus tres niveles (nacional, regional y zonal), y desde la entidad a las demás partes interesadas, por lo cual este artículo responde a la pregunta de investigación, ¿cómo desarrollar un modelo guía de asistencia técnica para el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar que permita mejorar su gestión institucional y la calidad del Servicio Público de Bienestar Familiar?, mediante la aplicación de la metodología de desarrollo de producto de Schnarch, adaptada por (4), esta se eligió dados los resultados obtenidos en estudios similares que demuestran la consecución de objetivos a través del seguimiento de sus fases, además es una metodología con un enfoque particular en el desarrollo de servicios.

2. Revisión de literatura

2.1. Origen y evolución de la asistencia técnica (AT)

Revisando la literatura se observa que autores como (1) y (5) que describen el término de asistencia técnica datan de 1950 y como indica (1), el concepto de asistencia técnica no es nuevo, se basa en la aplicación de una actividad humana primordial, encaminada a ayudar a otro a resolver una problemática específica, adicionalmente menciona que una organización durante la aplicación de la asistencia técnica formula conocimiento para su desarrollo.

El concepto de asistencia técnica toma fuerza en el mundo en 1945 con el discurso inaugural del presidente de Estados Unidos, Harry S. Truman, del Programa Ampliado de Asistencia Técnica o del Punto Cuatro, que según la ONU (6) buscaba fomentar el mejoramiento del nivel de vida y las condiciones de progreso económico y social de los países insuficientemente desarrollados, los cuales para mejorar tales condiciones requerían de la asistencia técnica, dada su

deficiencia de conocimientos y habilidades técnicas. Es decir, el objetivo de la administración de la asistencia técnica por parte de la cooperación internacional de entidades como la ONU consistía en resolver una necesidad, poniendo al alcance de los países insuficientemente desarrollados los conocimientos y habilidades técnicas que existían en el mundo.

Dadas las condiciones de dichos países y que su principal actividad económica era la agricultura, la asistencia técnica según (5) se enfocó en resolver el problema básico de la presión constante sobre los recursos de la tierra, toda vez que creaba un círculo vicioso de pobreza, pobreza que impide la adquisición de equipos agrícolas modernos que contribuirían a producir mejores cosechas o de maquinarias para la industria que crearían nuevas oportunidades de trabajo, pobreza que impide el tratamiento y la erradicación efectiva de las enfermedades y la liquidación del analfabetismo.

Desde entonces los países y las entidades que los conforman han venido implementando la asistencia técnica como una estrategia de mejora que ayuda a resolver las diferentes problemáticas que se presentan durante la implementación, el seguimiento y la evaluación de políticas públicas, leyes, lineamientos y modelos de operación, encaminados al logro de sus objetivos.

En la actualidad, el concepto de asistencia técnica ha evolucionado mediante la articulación con conceptos como extensionismo, gestión del conocimiento e innovación, que guardan una estrecha relación y se complementan al promover el intercambio y la construcción de conocimientos, saberes y prácticas que buscan el desarrollo y el fortalecimiento de capacidades y competencias de una población específica.

En algunos países de Latinoamérica, según (7), la asistencia técnica agropecuaria cumple una función similar a la extensión agraria, la cual permite dinamizar y orientar los procesos productivos agropecuarios y se asocia con el intercambio de conocimientos destinados a mejorar la capacidad de gestión de los recursos para el desarrollo de la población rural. Así mismo, (8) indica que el "extensionismo" es un elemento crucial para la innovación, ya que busca extender (propagar o difundir) conocimientos, a su vez mencionan que la asistencia técnica, la transferencia de tecnología y la capacitación se consideran los ejes de un servicio de extensión. Por lo anterior es importante que la asistencia técnica se analice como una fase de la extensión y no como todo el servicio de extensión.

El conocimiento según (9) es información analizada y organizada, es la representación simbólica de aspectos de algún universo del discurso nominado: saber + experiencia + destreza + habilidad; (10) indica que el conocimiento no es novedoso, en cambio, su gestión y la necesidad de comprender como gestionarlo y obtener de este la mayor ventaja posible es un reto que lleva a las organizaciones a innovar.

De lo anterior, se concluye que desde dicha necesidad nace el concepto de gestión de conocimiento, el cual según (11) y (12) es un proceso lógico, organizado y sistemático para

producir, transferir y aplicar en situaciones concretas una combinación armónica de saberes, “experiencias, valores, información contextual y apreciaciones expertas que proporcionan un marco para su evaluación e incorporación de nuevas experiencias e información” (12), así mismo un despliegue de una efectiva estrategia de gestión del conocimiento podría originar acciones innovadoras para generar productos, servicios, procesos y sistemas de gestión que optimicen los recursos y las capacidades de la empresa.

Por otra parte, la innovación según (13) implica dos instancias: una creativa, de búsqueda y generación de ideas, y la otra ejecutiva, que transforma la idea en productos que satisfagan las necesidades y expectativas de los clientes; en general, la innovación busca mejorar la organización para desempeñar más adecuadamente sus funciones, con el fin de cumplir sus objetivos y su razón de ser: satisfacer a sus clientes, consumidores, usuarios y compradores.

La asistencia técnica como fase de la extensión fortalece el conocimiento de una población específica mediante las buenas prácticas y la gestión de este, y a su vez aporta al desarrollo de la innovación, ya que contribuye a la solución de problemas asociados a la aplicación e implementación de productos, servicios, procesos y sistemas de gestión.

2.2. Desarrollo de la asistencia técnica en Latinoamérica

Al revisar la literatura con el fin de identificar la aplicación de la asistencia técnica a nivel global se encuentra que por ser esta una estrategia que busca ayudar a los países insuficientemente desarrollados (hoy día países en desarrollo) a fortalecer su capacidad humana e institucional para poner en práctica medidas de política que fomenten el crecimiento y desarrollo económico y social que permitan reducir la pobreza; su aplicación se ha dado mediante la cooperación internacional con organismos como la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), la ONU (Organización de las Naciones Unidas), Cepal (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), Unicef (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia), el BID (Banco Interamericano de Desarrollo), que apoyan principalmente al Pacífico, África, Oriente Medio, América Latina y el Caribe.

Por otra parte, se encuentra que algunos países latinoamericanos como México, Chile, Costa Rica y Argentina han realizado desarrollos de asistencia técnica en materia del servicio de extensión rural en el sector de agricultura y a su vez la han trabajado de una forma similar que Colombia. Sin embargo, al realizar un acercamiento a sus entidades públicas (cuyo objeto misional es similar al del ICBF), (14) encuentra que no existe un marco específico de referencia de cómo estas abordan la asistencia técnica.

2.3. Desarrollo de la asistencia técnica en Colombia

En Colombia, según (15), el gobierno adoptó la asistencia técnica como modelo de intervención del sector rural entre 1957 y 1980, enfocado hacia la modernización y la industrialización de la agricultura a través de la extensión rural, la cual consistía en la

transferencia de paquetes tecnológicos impulsando el uso de insumos químicos, prácticas y métodos hacia la agricultura industrial.

Desde entonces, sectores como el de agricultura, salud, educación e inclusión social, que cuentan con sistemas nacionales que establecen, rigen y coordinan las políticas públicas en materia de su competencia y así mismo establecen los parámetros mínimos de calidad para la prestación de un servicio público en el marco de los derechos humanos, han acogido la asistencia técnica como una estrategia para fortalecer las habilidades y competencias de los colaboradores de sus agentes coordinadores y de las entidades administradoras de servicio en pro de garantizar la calidad de este y la sostenibilidad del sistema.

Cabe mencionar que cada sistema nacional cuenta con agentes que articulada y coordinadamente, de acuerdo con su competencia y cobertura en el territorio, aportan a la sostenibilidad del sistema y a la mejora de la prestación de los servicios públicos; adicionalmente, estos sistemas tienen un agente responsable de la coordinación del servicio público a nivel nacional, departamental y municipal; cabe resaltar que este agente coordina mas no presta el servicio, por lo cual hay entidades que lo administran en cada territorio de acuerdo con su contexto.

Por lo anterior, los agentes coordinadores han diseñado documentos que indican cómo brindar asistencia en el marco de su competencia a los demás agentes del sistema o a las entidades que administran el servicio, por ejemplo:

- En el sector salud, el Ministerio de Salud y Protección Social (16).
- En el sector de Agricultura, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Social (17).
- En el sector de inclusión social y reconciliación, el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (18).

2.4. Desarrollo de la asistencia técnica en el ICBF

El ICBF es una entidad pública colombiana a la cual el Estado le designó dos funciones: la primera es ser el ente rector y coordinador del Sistema Nacional de Bienestar Familiar (SNBF) mediante el cual se presta el (SPBF) y la segunda es ser agente del SNBF cuya misión es promover el desarrollo y la protección integral de niños, niñas y adolescentes, fortaleciendo las capacidades de las familias como entornos protectores y principales agentes de transformación social.

En ese orden, el ICBF debe emitir los lineamientos técnicos para orientar la prestación del SPBF en el ámbito nacional, departamental y municipal, a su vez, debe brindar acompañamiento y asesoría a sus partes interesadas mediante la estrategia de asistencia técnica. La aplicación de esta estrategia en el ICBF presenta dificultad, ya que como lo menciona (1), el concepto de asistencia técnica se ha malinterpretado debido a que no se tienen en cuenta sus límites, la conciben como un todo incluyendo dentro de su alcance la extensión del conocimiento, sin tener en cuenta que es el extensionismo el que apropia como uno de sus ejes la asistencia técnica y

que esta se debe prestar o brindar durante la puesta en marcha de una acción, es decir, durante su ejecución. Adicionalmente, el ICBF no cuenta con una orientación clara y específica de qué es la AT, cuál es su alcance y su propósito, y cómo se debe brindar en sus tres niveles (nacional, regional y zonal) desde la entidad.

Una de las causas que dificultan la aplicación de la estrategia es la dimensión y cobertura de la entidad; el ICBF (19) cuenta con aproximadamente 14.563 colaboradores distribuidos en una sede de la dirección general, 33 regionales y 214 centros zonales; la operación de las diferentes modalidades del SPBF es tercerizada, para lo cual se cuenta con aproximadamente 3.163 operadores (311 de protección y 2.852 de promoción y prevención). Finalmente, el ICBF debe brindar asistencia técnica en todo el ciclo de la gestión de políticas públicas a 35 entidades en el ámbito nacional, a entidades que contribuyan a la prestación del SPBF en 32 gobernaciones en el ámbito departamental y a 1.101 municipios en el ámbito municipal, incluida Bogotá como Distrito Capital.

Lo anterior hace que la asistencia técnica se convierta en un sistema complejo, objeto de estudio mediante la metodología de dinámica de sistemas (DS), la cual según (20) simula el comportamiento del sistema, permitiendo mejorar el aprendizaje sobre este y facilitando su análisis durante uno o varios horizontes de tiempo, así mismo, (21) indica que el objeto de la dinámica de sistemas es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento de un sistema a través del conocimiento de cada uno de sus elementos y de las interacciones que se generan entre ellos.

Durante la revisión de la literatura se observa que la metodología de dinámica de sistemas no ha sido empleada en Latinoamérica para analizar o simular sistemas de extensionismo o de asistencia técnica; sin embargo, teniendo en cuenta que dicha estrategia tiene componentes que la asemejan a la gestión del conocimiento, se indagó por algunas aplicaciones en esta temática, para lo cual autores como (10) y (22) la aplicaron para estudiar el efecto de la gestión del conocimiento en la industria agroalimentaria, buscando reducir la diferencia existente entre la demanda y la oferta de harina de maíz, implementando un plan basado en un modelo de gestión del conocimiento, por tal motivo se considera que existe una gran oportunidad para explorar desde la metodología de desarrollo del producto y la dinámica de sistemas un sistema como este.

2.5. Aplicación de la metodología de desarrollo de producto en investigaciones referentes

Dado que el modelo está enfocado en la asistencia técnica, un producto intangible o servicio, se realiza una revisión de la literatura asociada a la aplicación de la metodología de desarrollo de producto, cuyo resultado se presenta en la Tabla I, que tiene como fin servir de insumo para decidir cuáles son las fases o etapas óptimas a aplicar en el desarrollo del modelo guía de asistencia técnica, teniendo como referente la NTC ISO 9001:2015, numerales 4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas, 8.2 Requisitos para los productos y ser-

Tabla I. Revisión de literatura para selección de metodología

Nombre / Autor y referencia clave	Fases o esquemas de desarrollo del producto	Ventajas / Limitaciones
Desarrollo de un nuevo producto adaptado de Schnarch / Vera, Castiblanco y Cruz	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación de las necesidades 2. Especificaciones 3. Diseño conceptual 	<p>La metodología está orientada a las tres funciones operativas del negocio: marketing, diseño y producción.</p> <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lo indicado por Schnarch guarda coherencia con lo establecido por los diferentes autores citados en la presente tabla, de igual forma, las fases que contempla su metodología están en el marco del alcance de la investigación, cuyo producto es un modelo guía de asistencia técnica para el ICBF. • La metodología se aplicó en el desarrollo de un modelo enfocado en un servicio por (4). • Tiene mejor asociatividad con los numerales 4.2 y 8.3 de la ISO 9001:2015
Desarrollo de nuevos productos / Schnarch; Roseneau	<ol style="list-style-type: none"> 1. Validación de la idea 2. Diseño Conceptual 3. Especificación y diseño 4. Producción y pruebas de prototipos 5. Capacidad de producción 	<p>La metodología establece según Schnarch, quien cita a Roseneau, cinco fases, para las cuales indica que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Validación de la idea o fase cero: abarca la identificación, la selección y el refinamiento de la idea. • Diseño conceptual: hace referencia a la concepción y el análisis de los atributos de forma, adecuación y funciones del producto. • Especificación del diseño: en esta fase se detallan las generalidades del producto, se abordan aplicaciones del producto, su aspecto y la forma en que será utilizado. • Producción y pruebas de prototipo: habla sobre la fabricación en series piloto (poco volumen) y se prueban en condiciones que se asemejan a uso o aplicación en un ambiente real. • Capacidad de producción: contempla un programa de manufactura para alcanzar la proyección de ventas y los costos unitarios, la conformidad de las especificaciones y otras medidas de calidad. <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La metodología está orientada a un producto intangible o servicio. • Las cinco fases enfatizan en el desarrollo del prototipo, su uso y la aplicabilidad. • Las fases son coherentes con los numerales 4.2 y 8.3 de la ISO 9001:2015. <p>Limitaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • De acuerdo con el alcance y el tiempo de desarrollo de la investigación, la etapa 4 y 5 no se realizarán.

Proceso de Desarrollo de Nuevos Productos / Zeithaml, Bitner, Gremler	1. Generación de la idea	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La metodología está orientada a un producto intangible o servicio. • La metodología es más detallada, ya que emplea once fases para abordar el desarrollo del producto, es decir, su alcance no solo abarca el diseño y el desarrollo sino también la evaluación de su aplicación en el mercado. <p>Limitaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La aplicación de las fases requiere de mayor tiempo para probar el concepto “modelo” con las partes interesadas, y evaluar su uso y la aplicabilidad. • Puede generar confusión que el término “prototipo” está más enfocado en productos tangibles; mientras que en intangibles como un servicio estos se conciben como modelos que guardan coherencia con los requisitos del cliente y la normatividad legal aplicable. • De acuerdo con el alcance de la investigación, solo se aplicaría la fase 1 (Generación de la idea), la parte de desarrollo del concepto que está inmersa en la fase 3 y el desarrollo del concepto que está inmersa en la fase 7.
	2. Tamizado	
	3. Desarrollo y evaluación del concepto	
	4. Prueba del concepto con clientes y empleados	
	5. Análisis del negocio	
	6. Estudio de rentabilidad y viabilidad	
	7. Desarrollo y prueba del servicio	
	8. Conducción de la prueba del prototipo del servicio	
	9. Prueba del mercado	
	10. Prueba del servicio	
	11. Otros elementos de mezcla de marketing y comercialización	

Fuente: adaptado de (4,13) y (23)

vicios y 8.3 Diseño y desarrollo de los productos y servicios, toda vez que el ICBF cuenta con un sistema integrado de gestión, el cual tiene inmerso el sistema de gestión de calidad, actualmente certificado bajo dicha norma.

Teniendo en cuenta la información registrada en la Tabla I, se concluye que las fases de cada metodología son conformes a los requisitos que estipula la ISO 9001:2015 en los numerales mencionados anteriormente. Por otra parte, dado que las metodologías estudiadas están asociadas según (13) a un producto intangible y a que el alcance de la investigación se remite únicamente a realizar la propuesta del modelo mas no a su implementación, la presente investigación empleará la metodología de Schnarch adaptada por (4), por considerarse acorde con el producto que busca obtener este estudio.

Esta metodología cuenta con tres fases: la primera es identificación de las necesidades, la segunda especificación y la tercera desarrollo conceptual. Se recopilarán brevemente los resultados de las fases I y II relacionados en (2). Finalmente se presentará la aplicación de la fase III mediante la cual se desarrollan dos conceptos de modelo a evaluar para definir la propuesta del modelo guía, que contemplan las especificaciones identificadas en la fase II de la aplicación de la metodología. El primer concepto está orientado a la articulación de la asistencia técnica con el Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG) y el segundo da cumplimiento a los requisitos definidos en la ISO 30401:2018 *Sistemas de gestión del conocimiento, requisitos*. Esta investigación concluye con la selección del modelo.

3. Metodología

Esta investigación comprende el desarrollo de un modelo guía de asistencia técnica para el ICBF, el cual se basa en la metodología de desarrollo de producto de Schnarch adaptada (4), la cual consta de tres fases anteriormente mencionadas.

En concordancia con (24), esta investigación entenderá modelo como la descripción o construcción racional de la realidad (hechos, situaciones, fenómenos, procesos, estructuras y sistemas) de un campo de estudio, que por lo general está en función de algunos supuestos teóricos o de una teoría. En consecuencia, muestra las condiciones perfectas en las que se produce el fenómeno o el sistema; de igual forma, es una aproximación esquematizada de este campo de estudio, es decir, intenta representar aquellos aspectos o variables más importantes y significativos.

3.1. Fase I. Identificación de necesidades

La aplicación de la primera fase consistió en identificar las necesidades de las partes interesadas de la asistencia técnica en el ICBF, estas son los colaboradores (servidores públicos y contratistas) de cada uno de los niveles del Instituto (nacional, regional, zonal), los agentes del SNBF, las entidades prestadoras del SPBF, la sociedad civil y las empresas privadas.

Para lo cual se aplicó a los colaboradores una encuesta tipo Likert, cuyo diseño tuvo en cuenta algunas variables relevantes para medir la calidad de la asistencia técnica identificadas por (25). La escala Likert es una medida psicométrica de actitudes y opiniones. En cada pregunta se presenta un enunciado en el que un encuestado debe indicar su grado de acuerdo o desacuerdo en un formato de opción múltiple. Las ventajas de este tipo de encuesta es que es un método probado y común para la recopilación de datos, una encuesta tipo Likert es fácil de entender, rápida, eficiente y económica. Las respuestas son cuantificables, permitiendo realizar análisis matemáticos. Por otro lado, este tipo de encuesta es unidimensional y solo ofrece de cinco a siete opciones de elección, limitando las opciones de respuesta. Igualmente, las personas pueden tender a evitar elegir las opciones “extremas” en la escala.

Respecto a su pertinencia para analizar el comportamiento de los colaboradores frente al desarrollo de la asistencia técnica, (26) indica que es uno de los métodos más conocidos para medir por escalas, es de tipo aditiva y se ubica dentro de los diversos tipos de instrumento de medición en la investigación cuantitativa, la cual está compuesta por una serie de ítems a modo de afirmación, ante los cuales se solicita el juicio del sujeto, en este caso del colaborador.

Esta encuesta consta de 21 preguntas, de las cuales 10 están asociadas al marco emisor, es decir, a identificar la perspectiva de los colaboradores que brindan la asistencia técnica dentro del Instituto, las otras 10 se asocian al marco receptor, con estas se busca identificar la percepción de aquellos colaboradores que reciben asistencia técnica por parte de alguno de los niveles (nacional, regional, zonal) del Instituto y finalmente se dejó una pregunta abierta asociada a observaciones

o recomendaciones que el colaborador quisiera aportar para la mejora del desarrollo de la asistencia técnica (2).

Para analizar y estudiar la problemática que se presenta durante la gestión de la asistencia técnica en el ICBF se modeló cualitativamente su desarrollo, aplicando la metodología de dinámica de sistemas; para la elaboración del modelo de dinámica de sistemas se consultaron diversas fuentes de información, principalmente se usó la caracterización de la asistencia técnica que brinda el ICBF, la cual es producto del análisis y la revisión de la información documentada en lineamientos técnicos, manuales operativos e informes. Este tipo de modelamiento cualitativo, que se traduce en un diagrama de ciclos causales, permite analizar y estudiar la problemática que se presenta durante la gestión de la asistencia técnica en el ICBF, ya que presenta las interacciones y causalidades entre las variables del sistema. En este caso es apropiado para la investigación por el interés que se tiene en entender la situación problemática y la forma como se comportan los actores en el sistema, que son los aspectos a considerar en esta fase.

3.2. Fase II. Especificaciones

En el desarrollo de la segunda fase se realizó un *benchmarking* que con el fin de identificar aquellas especificaciones o buenas prácticas que debe contener el modelo guía de asistencia técnica para el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar de acuerdo con los desarrollos aplicados por entidades internacionales y nacionales para el desarrollo de la asistencia técnica y que a su vez satisfagan las necesidades de las partes interesadas, ya que (13) indica que comparar las necesidades de las partes interesadas con las especificaciones del modelo permite describir las características esenciales para el desarrollo de la estrategia en la entidad de forma objetiva y representarlas de modo tal que dichas partes sepan qué es la estrategia, puedan ver el papel que cumplen dentro de su aplicación y entiendan el paso a paso de la gestión. El *benchmarking* se utiliza siguiendo la metodología de (13), dado que permite analizar diferentes referentes, identificar mejores prácticas y generar una correlación entre los diferentes modelos y manuales de asistencia técnica que identifique las ventajas y limitaciones de cada uno.

3.3. Fase III. Diseño conceptual

En el desarrollo de la tercera fase se definirán dos conceptos del modelo guía para el desarrollo de la asistencia técnica en el ICBF, de los cuales se seleccionará el que mejor se adapte a la entidad y satisfaga las necesidades de las partes interesadas.

Según (27), el concepto de un producto es una descripción aproximada de la tecnología, los principios de operación y la forma del producto, por lo tanto, el grado en que un producto satisface a clientes y puede ser comercializado con éxito, depende en gran medida de la calidad del concepto básico.

Dado que el alcance de este proyecto de investigación no incluye la implementación del modelo, el diseño conceptual incluirá las especificaciones o los criterios para el desarrollo de

la asistencia técnica en el ICBF y los indicadores que permitan medir su gestión, no incluirá la evaluación como tal, ya que esta deberá realizarse después de implementado el modelo. Por lo anterior, aplicaran los pasos de generación y selección de conceptos de la metodología de diseño y desarrollo de productos de (27).

3.4. Generación de conceptos

En este paso se definirán los conceptos de modelo, los cuales indicarán los principios y el esquema o la estructura que debe contemplar el modelo guía para el desarrollo de la asistencia técnica en el ICBF, para su generación se tendrá como insumo las especificaciones identificadas en la fase II de la metodología de desarrollo de producto de Schnarch adaptada por (4).

Dado que la asistencia técnica como fase de la extensión fortalece el conocimiento y a su vez aporta al desarrollo de la innovación, se considera relevante que los conceptos estén enfocados en la gestión del conocimiento y la innovación, razón por la cual se tendrá en cuenta:

- La dimensión 6. Gestión del conocimiento e innovación del modelo integrado de planeación y gestión (MIPG) establecido mediante el Decreto 1499 de 2017. El MIPG es un marco de referencia para dirigir, planear, ejecutar, hacer seguimiento, evaluar y controlar la gestión de las entidades y los organismos públicos, con el fin de generar resultados que atiendan los planes de desarrollo y resuelvan las necesidades y los problemas de los ciudadanos con integridad y calidad en el servicio (28).
- Los requisitos definidos en la ISO 30401:2018 “Sistemas de gestión del conocimiento, requisitos”.

Lo anterior contribuye a que la especificación de gestión de conocimiento sea satisfecha según lo solicita el ICBF y la normativa vigente en relación con la gestión de conocimiento que al momento de la investigación para el ICBF es de interés incorporar dentro de su gestión.

3.5. Selección del concepto

Para la selección del concepto se utiliza la metodología de (27). La selección del concepto es el proceso para evaluar conceptos con respecto a las necesidades del cliente y otros criterios, comparando los puntos relativamente fuertes y débiles de los conceptos, y seleccionando uno o más de estos para su posterior investigación, prueba o desarrollo (27).

Para la evaluación de los dos conceptos definidos, se escoge como concepto de referencia o comparación el lineamiento de asistencia técnica del Ministerio de Salud y Protección Social, toda vez que es una entidad pública colombiana y forma parte de los agentes del Sistema Nacional de Bienestar Familiar, para (27) esta referencia es generalmente un estándar industrial o un concepto sencillo con el que el evaluador está familiarizado.

Posteriormente, se elabora la matriz del *concept scoring*, la cual permite evaluar en términos de capacidad cada concepto en comparación con el concepto de referencia relativo al criterio

particular. Finalmente, cuando se tiene una comprensión de cada concepto y su calidad relativa se selecciona el concepto más favorable, en este caso, se selecciona el concepto que en términos de capacidad contribuya a la mejora de la gestión institucional del ICBF y a la calidad del SPBF. Para realizar esta evaluación de tipo cuantitativa se asignan valores de importancia de acuerdo con las necesidades de las partes interesadas del ICBF que se denominan expertos en la metodología y quienes realizan una evaluación ponderada de acuerdo con las especificaciones identificadas en la fase II de la metodología.

4. Resultados

Los resultados que se presentan en este artículo son el producto de las fases aplicadas y en la anterior sección de metodología.

4.1. Fase I. Identificación de necesidades

Las necesidades identificadas de las partes interesadas se enmarcan en definir un concepto y unas orientaciones de asistencia técnica claras y de fácil comprensión para su desarrollo, al igual que designar los responsables para cada una de las etapas de su gestión (planeación, ejecución, evaluación y mejora), así como definir la línea base para formular, dar seguimiento y evaluar la eficacia del plan de asistencia técnica en los tres niveles de la entidad, asignar recursos económicos y talento humano competente para el desarrollo de la asistencia técnica acorde con el proceso, modalidad o programa que se está ejecutando, de igual manera, se requiere aplicar metodologías y herramientas para brindar la AT de forma presencial y virtual acordes con el tipo de beneficiario de la AT.

Finalmente, de acuerdo con las necesidades de las partes interesadas y la caracterización de la asistencia técnica que se realizó mediante la revisión de documentos del ICBF, se modeló cualitativamente su desarrollo mediante la aplicación de la metodología de dinámica de sistemas, para lo cual se construyó un diagrama de ciclos causales en Vensim P.L.E. 8.0.4. Este diagrama permite analizar y estudiar la problemática que se presenta durante la gestión de la asistencia técnica en el ICBF, ya que relaciona las interacciones y causalidades entre las variables del sistema.

En el diagrama de ciclos causales (ver Fig. 1) se identificaron ocho ciclos de refuerzo en el sistema de asistencia técnica, los cuales reflejan un comportamiento no deseable; entre ellos, el ciclo R5, el cual describe que la problemática que se presenta en el ICBF asociada a la AT es la ausencia de orientaciones para el desarrollo de la estrategia de asistencia técnica, limitando la capacidad de respuesta de la entidad ante la demanda de AT y sus requerimientos. El ciclo R7 indica que una de las causales que genera el comportamiento del ciclo R5 es la falta de liderazgo por parte de los responsables de proceso o dependencia que tienen como función brindar asistencia técnica a las partes interesadas del ICBF. La propuesta para estabilizar estos ciclos es intervenir el sistema mediante la aplicación del modelo guía de asistencia técnica, permitiendo que haya un documento orientador con responsabilidades claras, que facilite la

Tabla II. Matriz *benchmarking*: desarrollos de asistencia técnica

Documento de Referencia	Referente	Cobertura	Fortalezas	Oportunidad de mejora	Especificaciones
Manual de Extensión Rural: INDAP 2018	Internacional	Nacional	Este manual cuenta con un marco conceptual que incluye una breve reseña sobre el marco histórico de la extensión y algunas definiciones pertinentes. Relaciona una propuesta metodológica de trabajo con la agricultura familiar campesina, que busca otorgar algunos elementos para generar mejoras en los servicios de extensión que realizan los equipos, esta propuesta incluye un diagnóstico y planeación participativa, algunas metodologías de extensión y el respectivo seguimiento y evaluación de los planes definidos. Concluye con algunas orientaciones generales sobre educación de adultos.	Aunque incluye etapas que se asemejan a un PHVA, no tiene como marco de referencia un modelo de gestión o desempeño.	Marco conceptual Propuesta metodológica de trabajo (diagnóstico y planeación participativa) Metodologías de extensión Seguimiento y evaluación de los planes definidos

Tabla II continuación de la página previa

Documento de Referencia	Referente	Cobertura	Fortalezas	Oportunidad de mejora	Especificaciones
Manual del Extensionista: INTA 2012	Internacional	Rural	Tiene un esquema definido para brindar extensión, que incluye un marco conceptual que tiene inmerso un marco institucional, el cual se puede asociar a normas, valores y principios que rigen el servicio de extensión dentro de la institución. Cuenta con un capítulo de herramientas metodológicas para la intervención de la extensión, es decir, relaciona metodologías participativas, herramientas, técnicas para brindar la extensión y un componente para promover la divulgación de temas de extensión rural. Presenta una caja de herramientas que contiene técnicas para hacer más dinámico el desarrollo de la extensión.	El manual puntualmente orienta el accionar del extensionista, sin embargo, aunque incluye técnicas para identificar las necesidades de los productores relacionadas con capacidades y competencias, no tiene un esquema que oriente planeación, ejecución, seguimiento y evaluación del servicio de extensión.	Marco conceptual Marco institucional Herramientas metodológicas Medios de divulgación de temas de extensión rural Caja de herramientas

Tabla II continuación de la página previa

Documento de Referencia	Referente	Cobertura	Fortalezas	Oportunidad de mejora	Especificaciones
Manual de Buenas Prácticas de Extensión Rural: caso de Costa Rica: RELASER 2016	Internacional	Rural	Contiene la historia de la evolución de la extensión en América Latina y Costa Rica, presenta un análisis de varios modelos de extensión y sus principales características. Presenta los componentes fundamentales de un sistema de extensión moderno y los enfoques de extensión rural y sus características, dentro de los cuales incluye la gestión del conocimiento e intercambio de saberes. Define el rol y el perfil del extensionista. Incluye un capítulo de buenas prácticas por componentes y enfoques de extensión.	Como su nombre lo indica es un manual de buenas prácticas por lo tanto no incluye un esquema que oriente la planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de la Extensión Rural.	Marco conceptual (Componentes fundamentales del sistema) Enfoques y características de extensión rural) Gestión del Conocimiento e Intercambio de saberes. Rol y el perfil del extensionista. Buenas prácticas
Orientaciones metodológicas para la extensión agropecuaria. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica 2015	Internacional	Nacional	Es un documento que presenta marco conceptual (este incluye principios, enfoque y políticas de la extensión) y metodológico para orientar el quehacer institucional en materia de extensión agropecuaria acorde con el entorno actual y futuro. Orienta la elaboración del diagnóstico y la formulación del plan de extensión, a nivel nacional, regional y Agencia de Extensión.	Este documento da un esquema general de lo que se debe hacer, sin embargo, no especifica el detalle de cómo debe desarrollarse la extensión.	Marco conceptual (principios, enfoque y políticas de la extensión) Diagnóstico Formulación del plan de extensión (nacional, regional, Agencia de Extensión)

Tabla II continuación de la página previa

Documento de Referencia	Referente	Cobertura	Fortalezas	Oportunidad de mejora	Especificaciones
Guía Planeación, implementación y evaluación de la asistencia técnica en el Ministerio de Salud y Protección Social 2018	Nacional	Regional	Está orientada a la prestación de asistencia técnica, parte del contexto del Estado colombiano, ya que la entidad que lo emite es un ministerio colombiano. Este documento incluye objetivo, alcance y ámbito de aplicación de la asistencia técnica, documentos que soportan la gestión de la guía, normativa y otros documentos de referencia. Contiene un marco conceptual y el desarrollo de las fases de asistencia técnica visto como proceso (Fase I: Planeación asistencia técnica: incluye el diagnóstico de necesidades y la formulación del plan de acción; Fase II: Articulación del plan anual de asistencia técnica para el desarrollo de capacidades; Fase III: Implementación de la asistencia técnica; Fase IV: Monitoreo y evaluación de la asistencia técnica).	Este documento orienta la forma en que se debe documentar la implementación y la retroalimentación del ejercicio de asistencia técnica, sin embargo, no se liga con el concepto de gestión de conocimiento, que ha tomado más fuerza en el sector público colombiano gracias a la dimensión 6 “Gestión de conocimiento e innovación” del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG).	Objetivo, alcance y ámbito de aplicación de la asistencia técnica, población objetivo Documentos que soportan la gestión Normativa y otros documentos de referencia Marco conceptual Desarrollo de las fases de asistencia técnica

Tabla II continuación de la página previa

Documento de Referencia	Referente	Cobertura	Fortalezas	Oportunidad de mejora	Especificaciones
Manual de Formulación de Planes Generales de Asistencia Técnica, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Social 2016	Nacional	Nacional	Este documento presenta las etapas para la formulación de los planes generales de asistencia técnica (Etapa I: Recolección de información; Etapa 2: Diagnóstico y formulación del PGAT; Etapa 3: Seguimiento). Para la aplicación de estas etapas se cuenta con el sistema de Registro General de Usuarios de Asistencia Técnica (RUAT).	Está orientado a la formulación del plan de asistencia técnica, no es explícito en la etapa de ejecución del plan, por ende, no aborda metodologías o caja de herramientas para poder implementarla.	Formulación del plan de asistencia técnica. Seguimiento plan de asistencia técnica.

Luego de realizar el *benchmarking*, se identificaron siete especificaciones para el desarrollo del modelo guía de asistencia técnica, las cuales contribuyen a satisfacer las necesidades de las partes interesadas. Estas especificaciones son: marco normativo, marco conceptual de la asistencia técnica (AT), población objetivo-beneficiaria de la AT, gestión por procesos (basada en el ciclo PHVA), liderazgo, metodologías para el desarrollo de la AT en el ICBF y gestión del conocimiento.

4.3. Fase III. Diseño conceptual

Inicialmente, en esta fase se definieron los principios a considerar durante la gestión de la estrategia de asistencia técnica en el ICBF; según la Real Academia Española, un principio es una norma o idea fundamental que rige el pensamiento o la conducta. Por lo anterior, considerando que la asistencia técnica es un producto intangible mediante el cual se transfiere conocimiento a las partes interesadas que aportan o ejecutan el SPBF para que estas lo usen, se tomó como marco de referencia los principios establecidos en la Ley 1876 de 2017 mediante la cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria, la NTC ISO 9001:2015 e ISO 30401:2018.

En este sentido, se establecieron diez principios para la estrategia de asistencia técnica los cuales se tendrán en cuenta en el modelo guía para el desarrollo de la asistencia técnica en el ICBF, estos son: enfoque territorial, enfoque diferencial, compromiso de las personas, mejora, toma de decisiones basada en la evidencia, gestión de las relaciones, articulación, generación de conocimiento, desarrollo sostenible y orientación a la generación de valor público.

4.4. Generación de conceptos

4.4.1. Concepto I

El primer concepto de modelo es producto de la correlación entre las especificaciones identificadas en la fase II de la metodología de desarrollo de producto de Schnarch adaptada por (4) y el Manual Operativo del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG).

Como ya se mencionó, el MIPG es un marco de referencia adoptado mediante el Decreto 1499 de 2017, que debe ser aplicado en su integralidad en el territorio colombiano por las entidades públicas que forman parte de la rama ejecutiva. Articular el modelo guía de asistencia técnica para el ICBF con el MIPG contribuye a que la entidad cumpla con el decreto en mención.

El MIPG cuenta con siete dimensiones y diecisiete políticas para su implementación, está orientado a la gestión por procesos. Mediante su manual operativo adopta el ciclo Deming (PHVA) para lo cual correlaciona cada etapa con una dimensión. Cada dimensión asocia documentos que indican los pasos a tener en cuenta para su implementación, los cuales de acuerdo con las especificaciones identificadas para el modelo guía de asistencia técnica se pueden asociar a las metodologías.

Desde un principio, en metodología se definió que se tendría en cuenta la Dimensión 6. Gestión del conocimiento e innovación del MIPG para la generación del concepto, sin embargo, al asociar la dimensión con las siete especificaciones identificadas en la fase II, se observó que el concepto de modelo solo abordaría dos de estas especificaciones: liderazgo y gestión del conocimiento, por lo cual se amplió el alcance y se tuvieron en cuenta los nueve factores que incluye el manual operativo del MIPG, permitiendo así abordar todas las especificaciones identificadas para el modelo guía de asistencia técnica.

La Tabla III relaciona la matriz de correlación entre las siete especificaciones del modelo guía de AT y los nueve factores del manual operativo del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG).

4.4.2. Concepto II

El segundo concepto de modelo es producto de la correlación entre las especificaciones identificadas en la fase II de la metodología de desarrollo de producto de Schnarch adaptada por (4) y la ISO 30401:2018 “Sistemas de gestión del conocimiento, requisitos”.

La ISO 30401:2018 es un estándar internacional que establece principios y requisitos para que las organizaciones desarrollen un sistema de gestión que promueva y permita la creación de valor a través del conocimiento.

Un aspecto relevante de esta norma es que no hay estándares globales anteriores a este estándar de sistema de gestión, todos sus requisitos son aplicables a cualquier organización, independientemente de su tipo (pública, semiprivada, privada) o tamaño, o los productos y servicios que proporciona; el concepto no solo aplicaría para el ICBF, sino que también podrían emplearlo como referencia los operadores del SPBF, que en su gran mayoría son establecimientos privados o fundaciones sin ánimo de lucro.

Esta ISO cuenta con una estructura de capítulos y terminología que permite la alineación con otras normas de sistemas de gestión, lo cual hace que sea fácil de adoptar cuando una entidad

Tabla III. Matriz Concepto I

		Especificaciones Modelo Guía de Asistencia Técnica						
		Marco conceptual	Marco normativo	Población objetivo	Gestión por procesos	Metodologías	Liderazgo	Gestión del conocimiento
Manual Operativo MIPG	Conceptos generales	X						
	Operación MIPG:				X			
	P: Dimensión de direccionamiento estratégico y planeación			X	X		X	
	H: Gestión con valores para resultados		X		X		X	
	V, A: Dimensión de evaluación para el resultado				X		X	
	V, A: Dimensión de control interno				X		X	
	Documentos asociados a cada dimensión					X		
	Dimensión de talento humano						X	
	Dimensión de gestión del conocimiento e innovación						X	X

ya cuenta con alguna ISO implementada, en este sentido, el ICBF tiene implementada las ISO 9001:2015, 14001:2015; 27001:2013 y se encuentra en la migración de la OHSAS 18001:2007 a la ISO 45001:2018.

La Tabla **IV** relaciona la matriz de correlación entre las siete especificaciones del modelo guía de AT y trece factores de la ISO 30401:2018.

4.4.3. Selección del concepto

Para la selección del concepto se empleó la matriz de evaluación de conceptos, método que utiliza una suma ponderada de las evaluaciones para determinar cuál de los conceptos cumple con los criterios de selección, los cuales tienen asignados valores de importancia de acuerdo con las necesidades de las partes interesadas en el desarrollo de la asistencia técnica.

En la Tabla **V** se puede observar los criterios de selección y el peso asignado de 100 puntos porcentuales entre ellos. El peso se asignó teniendo en cuenta la importancia identificada para cada especificación (2), lo que indica que el 83% de los referentes técnicos consideró esencial

Tabla IV. Matriz Concepto II

		Especificaciones modelo guía de asistencia técnica						
		Marco conceptual	Marco normativo	Población objetivo	Gestión por procesos	Metodologías	Liderazgo	Gestión del conocimiento
ISO 30401:2018	Principios rectores	X						
	Alcance	X						
	Términos y definiciones	X						
	Referencias normativas		X					
	Contexto de la organización			X				
	Planificación				X			
	Apoyo				X			
	Operación				X			
	Evaluación del desempeño				X			
	Mejora				X			
	Anexos					X		
	Liderazgo						X	
	Sistema de gestión de conocimiento							X

el marco conceptual y las metodologías, seguido de un 66% para la gestión por procesos y un 33% o menos consideró importante la de marco normativo, gestión del conocimiento, población objetivo y liderazgo. De acuerdo con las necesidades de las partes interesadas del ICBF se determinó asignar un 40% al marco conceptual, un 20% a gestión por procesos, un 15% a metodologías, un 10% a liderazgo y un 5% para el marco normativo, población objetivo y gestión del conocimiento. La calificación la realizan partes interesadas del ICBF que se denominan expertos en la metodología y quienes realizan una evaluación ponderada.

De igual forma, para cada concepto se relacionan dos columnas, una de calificación y otra de evaluación ponderada. En la primera se califica el concepto de acuerdo con la escala de 1-5 recomendada por (27), siendo 1: mucho peor que la referencia, 2: peor que la referencia, 3: igual que la referencia, 4: mejor que la referencia y 5: mucho mejor que la referencia. En la segunda columna se pondera el valor registrado en la calificación con el porcentaje asignado a cada especificación.

Para la calificación de cada concepto se tuvo en cuenta la matriz de correlación de las especificaciones del modelo guía de asistencia técnica vs el Manual Operativo del MIPG e ISO 30401:2018, mediante la cual se evaluó cada concepto de modelo en términos de su capacidad para satisfacer las especificaciones identificadas en la fase II y mejorar la gestión institucional del ICBF y la calidad del SPBF.

Tabla V. Matriz de selección de los conceptos del modelo guía de asistencia técnica para el ICBF

Especificación	Peso %	Conceptos					
		Ministerio de Salud y Protección Social (16)		MIPG		NTC ISO 30401	
		Calificación	Eva.ponderada	Calificación	Eva.ponderada	Calificación	Eva.ponderada
Marco conceptual	40	3	1,2	4	1,6	4	1,6
Marco normativo	5	3	0,15	4	0,2	4	0,2
Población objetivo	5	3	0,15	4	0,2	4	0,2
Gestión por procesos	20	3	0,6	5	1,0	5	1,0
Metodologías	15	3	0,45	4	0,6	3	0,45
Liderazgo	10	3	0,3	5	0,5	5	0,5
Gestión del conocimiento	5	3	0,15	5	0,25	5	0,25
Total puntos			3	4,35		4,2	
Puesto			3	1		2	
¿Continuar?			NO	SÍ		SÍ	

En la Tabla V se observa que los dos conceptos de modelo son mejores que el modelo de referencia del Ministerio de Salud y Protección Social, dado que cuentan con factores que permiten satisfacer las necesidades de las partes interesadas. Así mismo, con base en los resultados de la matriz de selección de conceptos, se determinó combinar los dos conceptos de modelo, ya que se considera que ambos generan un concepto de alto impacto, el cual contribuye a que el ICBF tenga una mejor gestión como entidad pública y que esté a la vanguardia, toda vez que se da cumplimiento a los requisitos del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG) y genera valor al tenerse en cuenta los requisitos de la ISO 30401:2018.

Teniendo en cuenta las necesidades de las partes interesadas, las especificaciones identificadas en el *benchmarking* de los desarrollos de asistencia técnica, los conceptos de modelo y la selección del modelo mediante el *concept scoring* de (27), se concluye que para que el modelo guía de asistencia técnica del ICBF contribuya a la mejora de la gestión de la entidad y a la calidad del SPBF, debe abordar las especificaciones y principios contenidos en la Tabla VI.

Para garantizar la mejora continua de la asistencia técnica que se desarrolla en el ICBF, se hace necesario evaluar su calidad, se deben tener en cuenta no solo indicadores de gestión sino de impacto.

Dado que en Colombia el sector agropecuario es el único que ha reglamentado mediante leyes y decretos los criterios para el seguimiento y la verificación del desempeño de asistencia técnica en las entidades que la prestan y que autores como (25) han propuesto modelos de medición de la asistencia técnica agropecuaria, se recomienda adaptar el Modelo de la Calidad de la Asistencia Técnica Agropecuaria - MECATA cuyos criterios y variables se tomaron como

Tabla VI. Especificaciones y principios del modelo guía de asistencia técnica para el ICBF

Especificaciones	Principios
1. Marco normativo	1. Enfoque territorial
2. Marco conceptual	2. Enfoque diferencial
a. Principios rectores	3. Compromiso de las personas
b. Concepto de la asistencia técnica	4. Mejora
c. Alcance de la asistencia técnica	5. Toma de decisiones basada en la evidencia
d. Objetivos de la asistencia técnica	6. Gestión de las relaciones
e. Términos y definiciones generales	7. Articulación
3. Población objetivo	8. Generación de conocimiento
4. Liderazgo	9. Desarrollo sostenible
a. Liderazgo y compromiso	10. Orientación a la generación de valor público
b. Roles y responsabilidades	
5. Gestión por procesos	
a. Planeación de la estrategia de asistencia técnica	
b. Implementación de la estrategia de asistencia técnica	
c. Evaluación de la estrategia de asistencia técnica	
6. Metodologías	
7. Gestión del conocimiento	
a. Generación de conocimiento durante la prestación de la asistencia técnica	
b. Herramientas para el uso y la apropiación del conocimiento durante la prestación de la asistencia técnica	
c. Datos relevantes para la toma de decisiones durante la estrategia de asistencia técnica	
d. Estrategias para la cultura de compartir y difundir conocimiento durante el desarrollo de la asistencia técnica	

referencia en la presente investigación para medir la percepción de las partes interesadas e identificar sus necesidades referentes al desarrollo de la asistencia técnica brindada por el ICBF.

El MECATA es una herramienta que integra las percepciones de los actores, identifica las necesidades del contexto y permite la formulación de propuestas de mejoramiento en la prestación de la asistencia técnica cuando sea requerido (25). La adaptación del MECATA debe tener en cuenta las recomendaciones para la formulación de indicadores del MIPG, el cual en su primera dimensión (direccionamiento estratégico y planeación) indica que se debe:

- Tener claros objetivos, planes, programas y proyectos para identificar los aspectos prioritarios susceptibles de medición.
- Determinar puntos o factores críticos de éxito, es decir, aquellas acciones o actividades de cuyo desarrollo depende la consecución de los objetivos.
- Establecer qué se debe medir y qué información se quiere obtener de esa medición, para saber qué tipo de indicador se necesita.
- Establecer la frecuencia adecuada para la medición de los indicadores, para tomar

decisiones en el momento justo.

- Definir los indicadores a utilizar y el método de construcción que más se adapte a la propia dinámica y la cultura organizacional.

5. Beneficios

- El modelo guía de asistencia técnica contribuye a que el ICBF lidere efectivamente el desarrollo de esta estrategia en la entidad, de igual manera, facilita que el Instituto tenga un mayor acceso al conocimiento, ya que mediante esta estrategia se crean oportunidades para el desarrollo profesional de los colaboradores a través del aprendizaje, las prácticas y los intercambios de saberes.
- El modelo permite potencializar la estrategia de asistencia técnica para generar grandes ventajas a entidades públicas cuya atención o cobertura geográficamente sea dispersa o se dé en múltiples ubicaciones, ya que permite compartir prácticas, experiencia y aprendizaje en el marco de su misión.
- Actualmente las organizaciones están expuestas al desgaste y la rotación de la fuerza laboral en la sociedad, y al riesgo de la pérdida de conocimiento cuando la entidad cambia o los colaboradores se van, la aplicación de la asistencia técnica sirve como control para mitigar el riesgo de la fuga de conocimiento en una organización, toda vez que durante su desarrollo varios expertos o especialistas mediante un diálogo de saberes se transfieren entre sí conocimiento.
- El modelo guía de asistencia técnica permite la gestión eficaz de conocimiento entre el ICBF, los agentes del SNBF y los operadores del SPBF, lo cual contribuye al logro de los objetivos compartidos.

6. Conclusiones

La asistencia técnica es una estrategia de mejora continua mediante la cual una organización transfiere conocimiento a una parte interesada para fortalecer su conocimiento, habilidades y competencias, con el fin de que esta pueda solucionar una problemática que se le presente durante la implementación, bien sea de una política pública, lineamiento, proceso o procedimiento.

La capacitación y la asistencia técnica son ejes de la extensión del conocimiento y tienen como objetivo en común fortalecer el conocimiento, las habilidades y las competencias de una parte interesada, sin embargo, su alcance es diferente, toda vez que en la primera se transfiere conocimiento con el fin de que la parte interesada lo conserve o actualice y complemente sus competencias para llevar a cabo una acción, en la segunda se asesora y se acompaña concertadamente a la parte interesada mientras soluciona una problemática que se le presentó a la hora de ejecutar una acción, posterior a haber recibido información sobre cómo hacerla o aplicarla.

El presente trabajo de investigación desarrolla un modelo guía de asistencia técnica para el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar que le permite a la entidad abordar la gestión de esta estrategia a la luz de los requisitos del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG) y la ISO 30401:2018.

El modelo guía de asistencia técnica para el ICBF se considera innovador, ya que es el resultado de la aplicación de la metodología de desarrollo del producto de Schnarch adaptada por (4) específicamente en el sector de la inclusión social y la reconciliación.

Esta investigación permite ampliar el campo de aplicación de la metodología de dinámica de sistemas en la categoría de sociedad y política pública, toda vez que la asistencia técnica contribuye a la mejora del ciclo de gestión de las políticas públicas que se desarrollan en el marco del SNBF, en este caso, la de primera infancia, la de infancia y adolescencia, la de apoyo y la de fortalecimiento a las familias, y a su vez genera impacto en la mejora de la calidad del Servicio Público de Bienestar Familiar, que es el valor público que genera el ICBF a la sociedad colombiana.

La metodología de dinámica de sistemas permitió caracterizar el desarrollo de la asistencia técnica en el ICBF y a su vez facilitó el análisis de la interacción de las variables. Del modelo de ciclos causales se obtuvo que la causa raíz que afecta la eficacia del sistema es la baja capacidad de respuesta a la demanda de la asistencia técnica y la débil planeación de esta.

El *benchmarking* de los desarrollos de extensionismo y asistencia técnica permitieron definir siete (7) especificaciones que debería abordar el modelo guía de asistencia técnica con el fin de subsanar las debilidades identificadas por las partes interesadas y la problemática que se visualizó en la caracterización del desarrollo de la asistencia técnica en el ICBF.

Este estudio presenta dos conceptos de modelo que incluyen las especificaciones identificadas en el *benchmarking* y satisfacen las necesidades de las partes interesadas del ICBF, uno de ellos incluye los requisitos del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG) y el otro los requisitos de la ISO 30401:2018. El concepto del modelo fue seleccionado a través de la metodología de desarrollo de producto, empleando el método de *concept scoring* de (27), se encontró que el mejor concepto de modelo fue el del MIPG.

Aunque el concepto del MIPG fue mejor que el de la ISO 30401:2018, se determinó combinar los dos conceptos, ya que contribuyen a que el ICBF tenga una mejor gestión como entidad pública y que esté a la vanguardia, toda vez que en conjunto generan un alto impacto en la entidad, pues no solo le permiten cumplir con los requisitos del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG), sino que generan valor al tenerse en cuenta los requisitos de la ISO 30401:2018.

Dada la importancia de la asistencia técnica como estrategia de mejora continua y su contribución a la mejora de la gestión institucional y de la calidad de un servicio público, se hace necesario seguir explorando alternativas de aplicación de este modelo guía de asistencia técnica

en diferentes entidades públicas colombianas de la rama ejecutiva que tienen como función brindar asistencia técnica a sus partes interesadas.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Colombiano de Bienestar Familiar - ICBF, así como a sus actores de interés, stakeholders y miembros de la institución que participaron en la investigación, por permitir su realización y por los aportes que proporcionaron, los cuales fueron vitales para concluirla. Así mismo, agradecen a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por la asignación de los recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto de investigación.

8. Contribución de autores

Todos los autores contribuyeron por igual a la investigación.

Referencias

- [1] G. Clauson, "Qu'est-ce que l'assistance technique?", *Unasylva*, vol. 58, no. 226-227, pp. 10-13, 2007. ↑3, 6
- [2] P. Castro, J. Cruz e I. Castiblanco, "Análisis de necesidades y benchmarking para el desarrollo de un modelo guía de Asistencia Técnica para el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar". Capítulo de Trabajo de Grado Desarrollo de un Modelo Guía de Asistencia Técnica para el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar - ICBF. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia, diciembre, 2019. [En línea]. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1142> ↑3, 9, 11, 14, 21
- [3] D. Rodríguez Gómez, "Modelos para la creación y gestión del conocimiento: una aproximación teórica", *Educar*, vol. 37, pp. 25-39, 2006. ↑3
- [4] A. del P. Vera-Silva, I. A. Castiblanco-Jiménez y J. P. Cruz-González, "Desarrollo de un modelo integral de autoevaluación en una institución de educación superior", *Prax. Saber*, vol. 9, no. 21, pp. 221-245, 2018. <https://doi.org/10.19053/22160159.v9.n21.2018.8047> ↑3, 8, 9, 10, 12, 19, 20, 26
- [5] M. Pérez Guerrero, El programa ampliado de asistencia técnica, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación - FAO, s.f. [en línea]. <http://www.fao.org/docrep/x5357s/x5357s02.htm> ↑3, 4
- [6] Naciones Unidas, Consejo Económico y Social, *Informe de las actividades desarrolladas conforme al programa de asistencia técnica de las Naciones Unidas para el desarrollo económico de la América Latina*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe - Cepal, 1951. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/14379/S5100005_es.pdf ↑3
- [7] G. P. Castaño Reyes, *Calidad del servicio de asistencia técnica agropecuaria: Análisis de dos casos en Boyacá* (Trabajo de grado - Maestría), Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 2016. ↑4, 26

- [8] G. Birbaumer, *Extensión, comunicación y desarrollo rural: lineamientos para una extensión rural eficaz*, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2011. ↑4
- [9] H. Beyens, *La plus-value de l'assistance technique comme outil de développement*, Lieja, Bélgica, Universidad de Lieja, 2017. <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/2595> ↑4
- [10] M. E. Martínez Soto, C. Rodríguez Monroy, A. T. Morris Díaz y M. Gil Araujo, "Simulación mediante dinámica de sistemas del efecto de la gestión del conocimiento en la industria agroalimentaria". 9th LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, Medellín, Colombia, 2011. ↑4, 7
- [11] N. Nagles, "La gestión del conocimiento como fuente de innovación", *Revista EAN*, no. 61, pp. 77-87, 2007. <https://doi.org/10.21158/01208160.n61.2007.420> ↑4
- [12] T. Davenport y L. Prusak, *Conocimiento en acción: cómo las organizaciones manejan lo que saben*, Buenos Aires: Pearson Education, 2001. ↑4, 5
- [13] A. Schnarch, *Desarrollo de nuevos productos: cómo crear y lanzar con éxito nuevos productos y servicios al mercado*, Bogotá: Ecoe, 2016. ↑5, 9, 11
- [14] A. Morlachetti, *Sistemas nacionales de protección integral de la infancia*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe - Cepal, 2013. ↑5
- [15] A. Y. Milan Valoyes, *Caracterización del servicio de asistencia técnica agropecuaria desde la ley 607 del 2000, estudio de caso en el corregimiento de san Cristóbal en Medellín* (Trabajo de grado - Maestría), Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2017. ↑5
- [16] Ministerio de Salud y Protección Social, *Manual de Asistencia Técnica Regional Unificado para la Implementación del Plan Decenal de Salud Pública PDSP 2012-2021*, 2013. [En línea]. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/PSP/ASISTENCIA%20TECNICA%20PDSP.pdf> ↑6, 23
- [17] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Social, *Manual Lineamientos Generales para el Acceso al Incentivo a la Asistencia Técnica Gremial*, 2016. [En línea]. <https://www.minagricultura.gov.co/planeacion-control-gestion/Gestin/Seguimiento%20del%20Plan%20Anticorrupci%C3%B3n%20E2%80%93202015/MANUAL%20LINEAMIENTOS%20GNRAL%20ACCESO%20INCENTIVO%20A%20LA%20ASISTENCIA%20TECNICA%20GREMIAL%20V2.pdf#search=asistencia%20tecnica> ↑6
- [18] Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, "Resolución 4225 de 2009", [En línea]: https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_icbf_4225_2009.htm ↑6
- [19] Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. "Sistema Integrado de Gestión", 2019. [En línea]: <https://www.icbf.gov.co/instituto/sistema-integrado-gestion> ↑7
- [20] J. D. Sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, McGraw-Hill, 2000. ↑7
- [21] J. W. Forrester, "Dynamic models of economic systems and industrial organizations", *System Dynamics Review*, vol. 19, no. 4, pp. 329-345, 2003. <https://doi.org/10.1002/sdr.284> ↑7

- [22] Y. Nieves Lahaba y M. León Santos, "La gestión del conocimiento: una nueva perspectiva en la gerencia de las organizaciones", *ACIMED*, vol. 9, no. 2, pp. 121-126, 2001. ↑7
- [23] V. A. Zeithaml, M. J. Bitner y D. D. Gremler, "Services Marketing Strategy", In *Wiley International Encyclopedia of Marketing* (eds J. Sheth and N. Malhotra). [En línea]. <https://doi.org/10.1002/9781444316568.wiem01055> ↑9
- [24] Á. Carvajal Villaplana, "Teorías y modelos: formas de representación de la realidad", *Comunicación*, vol. 12, no. 1, 2013. ↑10
- [25] G. Castaño-Reyes, Á. Parrado-Barbosa y J. P. Molina-Ochoa, "Diseño y validación de un modelo para la evaluación de la calidad de la asistencia técnica agropecuaria en Colombia", *Rev. Colomb. Ciencias Hortícolas*, vol. 11, no. 2, pp. 387-399, 2017. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.6324> ↑10, 23, 24
- [26] C. A. Bedoya Laguna, *Diseño de un instrumento tipo escala Likert para la descripción de las actitudes hacia la tecnología por parte de los profesores de un colegio público de Bogotá* (Trabajo de grado - Maestría), Bogotá, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017. ↑10
- [27] K. Ulrich y S. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos*, 5ª ed. México: McGraw-Hill, 2013. ↑11, 12, 22, 23, 26
- [28] Consejo para la Gestión y el Desempeño Institucional, *Manual Operativo Sistema de Gestión - Modelo Integrado de Planeación y Gestión MIPG*, Bogotá: Departamento Administrativo de la Función Pública, DAFP, 2018. ↑12

Paula Alejandra Castro Osorio

Ingeniera Industrial, Especialista en Gestión Integrada QHSE de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Magíster en Ingeniería Industrial con énfasis en Gestión Integrada de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Email: paula.castro-os@mail.escuelaing.edu.co

Joan Paola Cruz González

Ingeniera Industrial de la Universidad de los Andes, Magíster en Ingeniería Industrial en el Área de Gestión y Dirección Organizacional de la Universidad de los Andes. Docente en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, directora del Centro de Estudios de Sistemas de Gestión.

Email: joan.cruz@escuelaing.edu.co

Ivonne Angélica Castiblanco Jiménez

Ingeniera Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana, Máster en Ingeniería Mecatrónica, del Politecnico di Torino, Italia. Máster de segundo nivel en Automatización Industrial del Politecnico di Torino, Italia y Especialista en Lean Manufacturing y World Class Manufacturing. Docente en el Politecnico di Torino.

Email: ivonne.castiblanco@polito.it






Research

Literature Review with Bibliometric Analysis of the Hospital Supply Chain

Revisión de literatura con análisis bibliométrico de la cadena de suministro hospitalaria

Erika Tatiana Ruíz-Orjuela¹✉*, Gustavo Gatica-González² , and Wilson Adarme-Jaimes³

¹Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

²Facultad de Ingeniería y Centro de Sustentabilidad, Universidad Andrés Bello, Santiago de Chile, Chile.

³Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Abstract

Context: The healthcare sector has continuously faced the challenges of reducing costs and improving quality of care. Research on the supply chain in the health sector has aroused a higher level of interest in the scientific community. Several articles have been published on the subject, focusing on aspects such as chain performance, management approaches, inventory management, supplier evaluation and selection, and some others with broader areas of focus.

Method: This article presents a literature review and a bibliometric analysis. The analysis begins by identifying studies published in the last ten years. Then, bibliometric tools are used to identify key research topics, their interrelationships, and patterns of collaboration.

Results: This research helps to graphically illustrate publications on hospital supply chain management, present their evolution over time, and identify areas of current research interest and possible lines of research for the future. The results identify the state of development and the main trends in terms of impact, main journals, articles, topics, authors, and countries.

Conclusions: Future research can focus on more innovative studies from multiple dimensions: supply chain, management and organization, health services, operations management, sustainability, performance, context, and trends.

Keywords: bibliometric study, hospital supply chain, logistics, literature review, trends

Article history

Received:
18th/Apr/2022

Modified:
12th/Dec/2022

Accepted:
16th/Feb/2023

Ing, vol. 28, no.
suppl., 2023.
e18987

©The authors;
reproduction
right holder
Universidad
Distrital
Francisco José de
Caldas.

Open access



*✉ Correspondence: erruizo@unal.edu.co

Resumen

Contexto: El sector de la salud se ha enfrentado continuamente a los desafíos de disminuir costos y mejorar la calidad asistencial. Las investigaciones de la cadena de suministro en el sector salud han alcanzado un mayor interés en la comunidad científica. Se han publicado varios artículos relacionados con el tema, los cuales se centran en aspectos como el desempeño de la cadena, enfoques de gestión, administración de inventarios, evaluación y selección de proveedores, y algunos otros con áreas de enfoque más amplias.

Método: Este artículo presenta una revisión de literatura y un análisis bibliométrico. El análisis comienza identificando los estudios publicados en los últimos diez años. Luego, se emplean herramientas bibliométricas que permiten identificar temas claves de investigación, sus interrelaciones y patrones de colaboración.

Resultados: Esta investigación ayuda a ilustrar gráficamente las publicaciones sobre gestión de la cadena de suministro hospitalaria (HSCM), presentar la evolución a lo largo del tiempo e identificar áreas de interés de investigación actual y posibles líneas de investigación para el futuro. Los resultados identifican el estado de desarrollo y las principales tendencias en términos de impacto, principales revistas, artículos, temas, autores y países.

Conclusiones: Las futuras investigaciones pueden concentrarse en estudios más innovadores desde múltiples dimensiones: cadena de suministro, gestión y organización, servicios de salud administración de operaciones, sostenibilidad, desempeño, contexto y tendencias.

Palabras clave: cadena de suministro hospitalaria, estudio bibliométrico, logística, revisión de literatura, tendencias

Tabla de contenidos		3. Resultados	4
	Página	4. Conclusiones	14
1. Introducción	2	5. Contribución de autores	16
2. Material y métodos	3	Referencias	16

1. Introducción

La gestión de la cadena de suministro hospitalaria (HSCM) se define como la secuencia de flujos físicos y de información necesarios para entregar un buen servicio a los pacientes al menor costo posible (1). Además, se considera una práctica organizativa para obtener una ventaja competitiva. Las organizaciones sanitarias se encuentran en un nuevo contexto social y económico que exige una mayor productividad, calidad y eficiencia, no solo en los procesos asistenciales, sino también en todos los procesos que hacen parte de su funcionamiento (2,3). La gestión de la cadena de suministro (SCM) permite reducir los costos operacionales, disminuir el tiempo del ciclo y aumentar el rendimiento sin comprometer la calidad de los servicios (4–6). Varias organizaciones del sector salud reconocen la importancia de implementar prácticas que

contribuyan a mejorar la gestión de la cadena de suministro. Sin embargo, la existencia de múltiples actores en la red, la complejidad del servicio y el entorno social, político y económico de estas organizaciones obstaculizan una implementación exitosa de la HSCM (1).

Investigaciones previas en el campo varían desde la definición del concepto, el estudio de factores que afectan la HSCM y las herramientas para mejorar su rendimiento (7). Los estudios son amplios y multidisciplinarios, incorporando área como economía, gestión organizacional, dirección empresarial e investigación de operaciones (8). Sin embargo, desde la perspectiva de gestión de la cadena de suministro, este campo ha sido poco explorado (9, 10), y los estudios previos no incorporan un análisis cuantitativo de los resultados obtenidos, lo que hace difícil evaluar la influencia de la investigación reciente sobre la HSCM.

El objetivo principal de este artículo es explorar los límites que definen la HSCM., los cuales son desafíos tanto para los académicos como para los actores operativos de la cadena del sector salud, pues estos últimos representan áreas menos comprendidas. Para lograr este objetivo, se llevó a cabo un análisis bibliométrico de las publicaciones de los últimos 10 años sobre el tema, en el cual se encontraron 407 artículos en las bases de datos de PubMed y Scopus. Este análisis utilizó el software VantagePoint y VosViewer. Los resultados muestran tendencias y patrones en las publicaciones científicas y evidencian el creciente interés de la comunidad científica en la HSCM. Este artículo discute cómo se está desarrollando la investigación en este campo, así como posibles futuras líneas de estudio. En conclusión, este trabajo contribuye a la comprensión de los desafíos que enfrenta la HSCM y proporciona una base sólida para futuras investigaciones.

2. Material y métodos

Las revisiones de literatura tienen como objetivo mapear y evaluar la literatura existente para identificar oportunidades de investigación y definir los límites del conocimiento (11). La revisión sistemática es una metodología estructurada que utiliza métodos explícitos y ordenados para identificar, seleccionar y evaluar la información sobre un tema de interés. Por lo tanto, una revisión sistemática minimiza el sesgo, identifica brechas de conocimiento y evita conclusiones incorrectas (11, 12).

La estructura metodológica utilizada en el proceso de revisión de literatura se fundamenta en la propuesta de Tranfield (11). Esta metodología tiene precedentes en ciencias de la salud (13, 14). La metodología consta de tres fases: planeación, ejecución de la revisión y reporte de resultados (11). En la fase de planeación se identificó la necesidad y se diseñó su protocolo. Las preguntas de investigación subyacentes fueron: *¿cómo se ha conceptualizado la HSCM?*, *¿cuál es la clasificación de la HSCM?* y *¿cuáles son las tendencias?* En la fase de búsqueda sistemática, se estableció como objeto de análisis los artículos de dos bases de datos: Scopus y PubMed. Las revistas están clasificadas por Scopus y Journal Citation Reports, lo que permite contar con indicadores de calidad y relevancia de las publicaciones. Además, estas bases de datos son accesibles para las instituciones académicas y centros de investigación.

Los criterios de búsqueda incluyeron las siguientes palabras claves: "healthcare", "health system", "health service", "health organizations", "hospital", "health care", "supply chain", "logistic*" y "supply chain management". El período de análisis se limitó a los años 2010 a 2021. Se excluyeron los resúmenes, cartas y noticias, así como aquellos que no tenían relación directa con el objeto de investigación. La ecuación de búsqueda se ejecutó en las dos bases de datos. Los resultados ascienden a 303 y 104 artículos en las bases de datos Scopus y PubMed respectivamente. Por medio del software EndNote, se revisó la información básica de estos artículos, *i.e.*, autores, título, palabras clave, resumen y año. Esto se exportó a una hoja de cálculo. Posteriormente, se excluyeron los artículos duplicados (34 ocurrencias). En la fase de evaluación se excluyeron 192 artículos. Algunos artículos eliminados abarcan temas de gestión de talento humano, desastres y proyectos. De esta manera, se redujo la muestra a 181 artículos. La tercera etapa fue una evaluación de los resúmenes, introducción y conclusiones para eliminar los estudios que no abordan la HSCM. Así, se eliminaron 58 artículos, un ejemplo de exclusión corresponde a artículos centrados en el sector de la salud, pero limitados a operaciones internas o estudios clínicos. En conclusión, la revisión sistemática de HSCM involucró 123 artículos (Fig. 1).

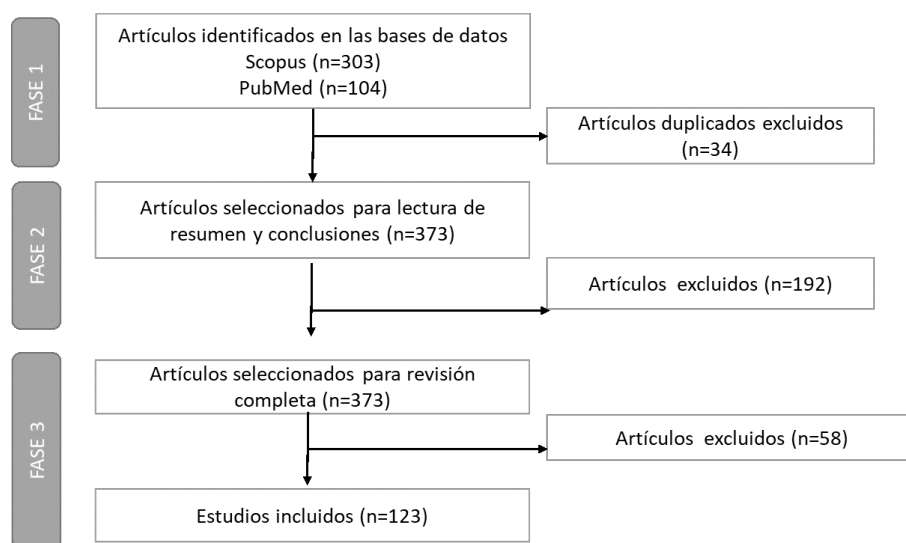


Figura 1. Diagrama de flujo del procedimiento de selección de estudios para la revisión de literatura

Para cada artículo resultante siguió una revisión de datos, y se realizó la lectura completa del documento para estudiar su pertinencia respecto a los objetivos de investigación formulados, así como un análisis bibliométrico. Finalmente, se consolidó la información y se presentaron los resultados.

3. Resultados

Al identificar la muestra de artículos finales, se llevó a cabo un análisis bibliométrico con el software VantagePoint para evaluar datos de forma cuantitativa acerca de los autores, años

y revistas del tema investigado (15). En este sentido, el análisis bibliométrico se dividió en dos etapas. La primera analizó las revistas, los autores más relevantes, el número de publicaciones en los últimos diez años y los métodos de investigación aplicados en estos estudios. En la segunda se utilizó el software Vosviewer para realizar un análisis de citas y co-citaciones. Estos dos softwares se eligieron debido a su capacidad para trabajar eficientemente con conjuntos de datos y proporcionar herramientas para visualizar y analizar la información.

El número de investigaciones publicadas sobre HSCM en diferentes campos científicos a nivel mundial ha crecido exponencialmente durante los últimos años, y el comportamiento de los académicos involucrados en la producción científica ha cambiado con el tiempo. La Fig. 2 muestra la tendencia positiva en la cantidad de artículos publicados. Estos resultados indican que el número de artículos ha aumentado significativamente después de 2017. El volumen promedio anual de publicaciones aumentó en un 34 %. El coeficiente de determinación $R^2 = 0,938$ indicó que la cantidad acumulada de literatura ha crecido exponencialmente. Dado que la investigación en HSCM es reciente y se consolida como un nuevo campo de estudio, todavía hay un gran potencial para su investigación.

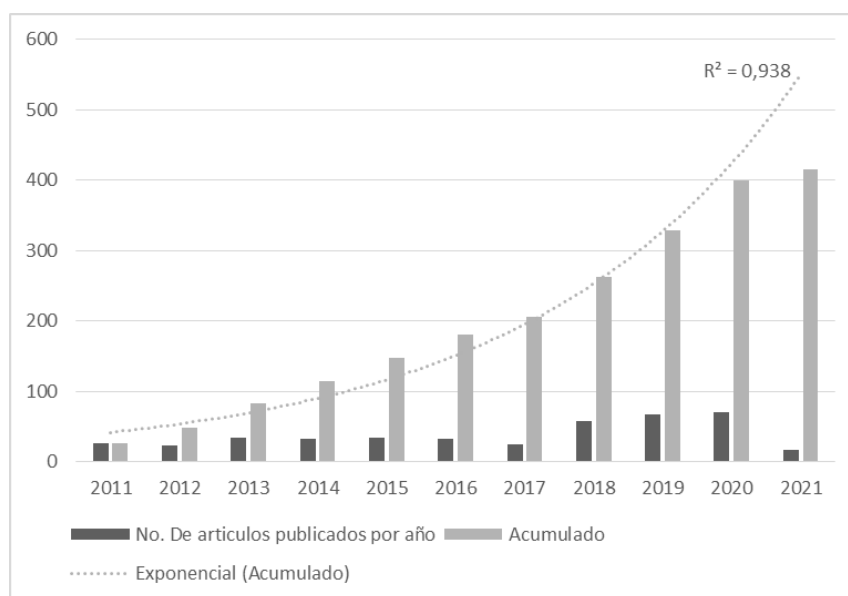


Figura 2. Artículos sobre HSCM publicados por año

Se identificaron 387 autores, de los cuales 31 presentan por lo menos 3 publicaciones sobre HSCM. Los 5 autores con el mayor número de publicaciones son D. Kritchanchai, J. D. VanVector, M. Hussain, A. W. Snowdon y A. Abouabdellah. La Tabla I presenta los diez principales autores de este campo y la cantidad de artículos publicados. Los autores tienen experiencia en áreas de gestión de operaciones y gestión de la cadena de suministro en el sector salud (16, 17), y aplican técnicas de modelado, formulan herramientas para la toma de decisiones con criterios múltiples (18), evalúan la relación de los actores en la cadena (19–21) y emplean estudios de casos descriptivos (22, 23) y enfoques empíricos (24–27).

Tabla I. Autores principales

Autores	No. de artículos publicados
Kritchanchai, D.	6
VanVactor, J. D.	6
Hussain, M.	5
Snowdon, A. W.	5
Abouabdellah, A.	4
Gutiérrez, E. V.	4
Khan, M.	4
Lee, J.	4
Mandal, S.	4
Vanany, I.	4

Para el análisis de las publicaciones por afiliaciones, se evaluó la ciudad donde se encuentra la institución en que el autor publicó su trabajo. La Fig. 3 muestra las ubicaciones geográficas de las organizaciones. El tamaño de los círculos guarda proporción con el grado de contribución de cada organización en cada país. Se puede encontrar una mayor densidad de organizaciones contribuyentes en Estados Unidos, India, China y Reino Unido. En general, la dispersión geográfica de estas organizaciones indica que la investigación en HCSM ha sido de interés para instituciones y centros de investigación a nivel mundial, y se ha despertado un interés reciente en este campo de investigación.

El análisis de las instituciones de investigación científica en el campo de la HSCM ayuda a comprender las instituciones más acreditadas en esta área. Según el análisis de la literatura, 77 artículos (63 % de los estudios revisados) pertenecen a 20 instituciones, como se presenta en la Tabla II.

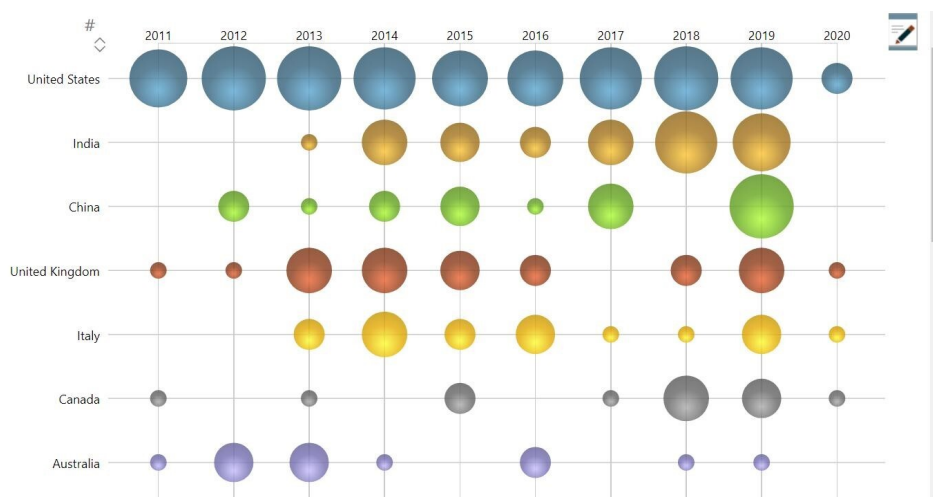
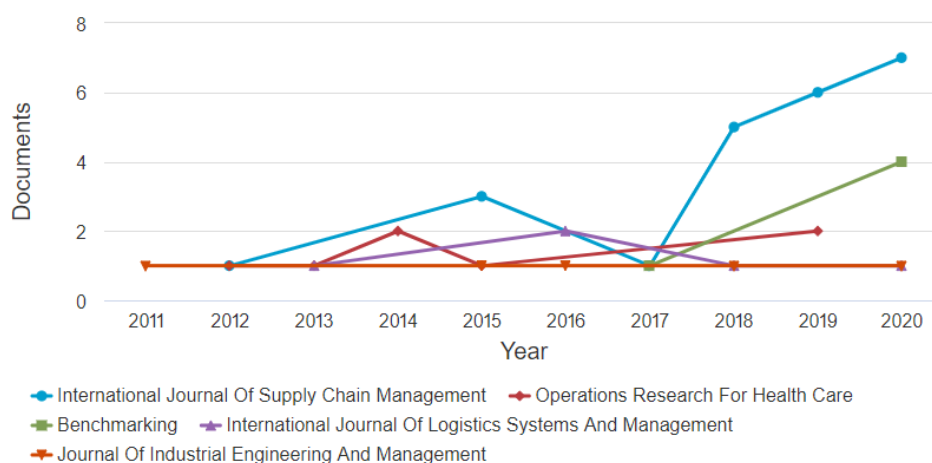
**Figura 3.** Ubicación de principales organizaciones

Tabla II. Instituciones principales

Organización/Institución	Locación	Artículos
Mahidol University	Tailandia	7
IBS Hyderabad	India	6
University of Arkansas – Fayetteville	Estados Unidos	5
University of Windsor	Canadá	5
Abu Dhabi University	Emiratos Arabes	4
Universidade do Estado do Rio de Janeiro	Brasil	4
Hanyang University	Corea del Sur	4
University of Seville	España	4
Universidad de Antioquia	Colombia	4
Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Indonesia	4
ICFAI Foundation for Higher Education, Hyderabad	India	3
US Army Medical Service Corps	Estados Unidos	3
Purdue University	Estados Unidos	3
Malaviya National Institute of Technology Jaipur	India	3

La revista *International Journal of Supply Chain Management* lideraba las publicaciones. Sin embargo, en el año 2020, esta publicación fue descontinuada. Las estadísticas muestran que las cinco principales revistas han publicado 45 de los 123 artículos, es decir, aproximadamente un 37% de los trabajos publicados. La Fig. 4 muestra las principales revistas en las que se publicaron estos artículos.

**Figura 4.** Publicaciones por revista

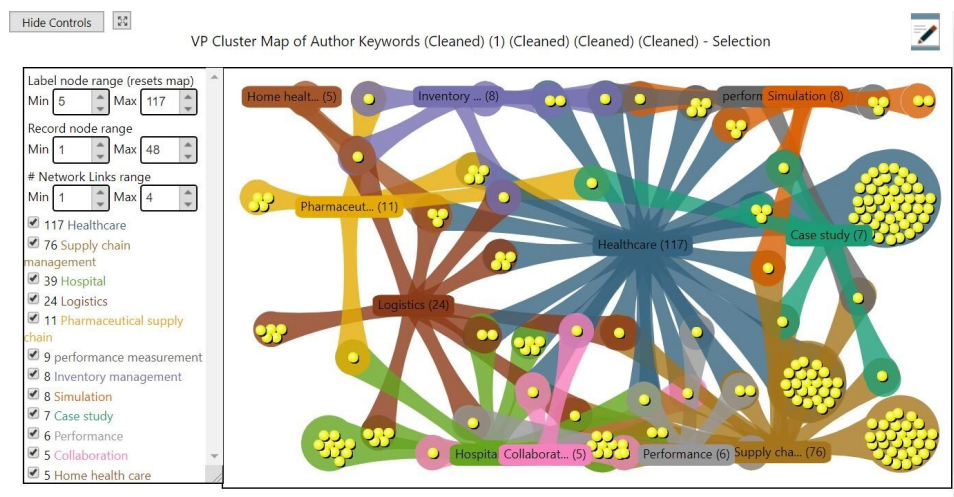
La clasificación de la base de datos del *Journal Citation Report (JCR)* de las revistas anteriores es Q1 y Q2 (Tabla III).

Las palabras clave del resumen presentan el propósito principal del artículo y pueden interpretarse de manera integral (11). Mediante el software Vantage Point, se analizaron las

Tabla III. Clasificación JCR revistas

Revista	Número de registros	JCR
<i>Operations Research for Health Care</i>	7	Q1
<i>Benchmarking</i>	5	Q1
<i>International Journal of Logistics Systems and Management</i>	5	Q2
<i>Journal of Industrial Engineering and Management</i>	5	Q2

relaciones entre las diez principales palabras claves de los artículos, se agruparon en categorías según su afinidad y el resultado se muestra en la Fig. 5. Se evidenció una alta relación entre el sector salud (117), la gestión de la cadena de suministro (76) y la logística (24). Respecto al tipo de suministro de la cadena, se destacan los servicios de salud extramural (5) y los servicios hospitalarios (5), así como los medicamentos (11). Se identificó que el estudio de caso es la estrategia de investigación más utilizada (7), y que la gestión de inventarios (8) y la colaboración entre actores (5) son los enfoques más estudiados dentro de este campo.

**Figura 5.** Mapas de conglomerados

Se realizó un análisis similar con el software VosViewer para identificar las palabras más utilizadas en los resúmenes de los artículos, analizar en profundidad las palabras clave e identificar los aspectos relevantes de la investigación de HSCM a través de la interpretación de mapas de co-ocurrencia. En la representación del mapa bibliométrico (Fig. 6) se presentan las 375 palabras seleccionadas. El tamaño de los círculos de las palabras es proporcional a la frecuencia de ocurrencia de los términos en la totalidad de documentos.

Por otra parte, el mapa anterior identifica, por medio de colores, los años en los que la divulgación de los artículos fue más frecuente. Se concluyó que la HSCM es un tema de investigación emergente. El método de análisis de agrupamiento de palabras comunes tiene como objetivo recopilar palabras clave estrechamente relacionadas entre sí para formar una

influyen en el desempeño de la cadena de suministro hospitalaria. De forma general, se presentan los demás documentos más citados en esta área.

Tabla IV. Artículos más citados

Autores	Títulos	Citas
(28)	Enhancing hospital supply chain performance: A relational view and empirical test	122
(29)	Supply chain management in health services: An overview	115
(30)	Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: Optimization for a pharmaceutical company and a hospital	101
(31)	Developing lean and agile health care supply chains	100
(32)	Supply chain innovation and organizational performance in the healthcare industry	96
(33)	Pharmaceutical supply chain specifics and inventory solutions for a hospital case	91
(34)	A structured analysis of operations and supply chain management research in healthcare (1982-2011)	87
(35)	Predicting RFID adoption in healthcare supply chain from the perspectives of users	74
(36)	The iron cage exposed: Institutional pressures and heterogeneity across the healthcare supply chain	68
(37)	Collaborative management of inventory in Australian hospital supply chains: Practices and issues	56

En el análisis de las revistas más citadas en el área, se identificó que las fuentes más utilizadas por los autores para presentar sus contribuciones son *Supply Chain Management y Operations Research for Healthcare*, con 234 y 229 citaciones respectivamente (Tabla V). Estas revistas publican artículos relacionados con gestión de la cadena de suministro y sus aplicaciones en el sector salud.

Tabla V. Revistas más citadas

Revistas	Citas
<i>Supply Chain Management</i>	234
<i>Operations Research for Health care</i>	229
<i>Production Planning & Control</i>	93
<i>Journal of Cleaner Production</i>	81
<i>Leadership in Health Services</i>	44

Para la construcción de la red de co-citación de revistas, se seleccionaron aquellas que han sido citadas al menos 30 veces, considerando solo las publicaciones más representativas del campo (Fig. 6). Se obtuvieron un total de 44 fuentes citadas. En la Fig. 7, los nodos de mayor tamaño corresponden a las revistas con mayor número de citas recibidas.

Al analizar el mapa de co-citación, se definieron 3 clústeres, según el nivel de similitud por temáticas:

Clúster 1. Administración de operaciones: se vincularon 11 revistas altamente interconectadas por medio de las co-citaciones y relacionadas por áreas de investigación como gestión e investigación de operaciones.

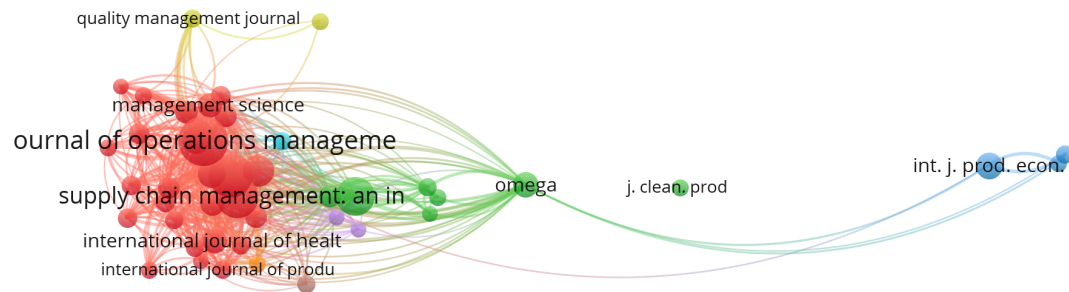


Figura 7. Red de co-citación de revistas

Clúster 2. Cadena de suministro: conformado por un total de 30 revistas, las cuales abarcan diferentes áreas de conocimiento, entre las que se destacan la logística, la gestión estratégica y la gestión de la calidad aplicadas en disciplinas como ingeniería, sistemas, salud y negocios.

Clúster 3. Sostenibilidad: conformado por 1 revista, la cual, con un artículo, aborda una perspectiva de sostenibilidad y logística verde integrada al sector salud, que es relevante en el campo.

A partir de las referencias identificadas en la búsqueda inicial, se seleccionaron los documentos que habían sido citados entre ellos al menos 5 veces, analizando los más representativos del campo. Las conexiones presentan las relaciones de co-citación entre los documentos y el tamaño de los nodos identifica la cantidad de veces que los documentos han sido citados. Con el software Vosviewer se obtuvo una red de co-citaciones de referencias agrupadas en tres clústeres, cada uno de los cuales se codificó en función de las referencias citadas (Figura 7). El grosor de la conexión entre los nodos representa la cantidad de cooperación entre los autores, es decir, la conexión más gruesa indica una mayor cooperación. Se muestra en la red que los autores que publicaron más artículos muestran características de red obvias, lo que indica una serie de equipos de investigación de alto rendimiento que han estudiado HSCM.

Clúster 1. Tendencias y desarrollo en HSCM: corresponde al mayor número de referencias citadas e incluyó 11 documentos relacionados con las teorías y modelos de gestión, tales como *lean* y *agility*, así como estudios de casos enfocados en la mejora de la cadena. Los nodos más importantes correspondieron a los documentos de K. E. Mckone-Sweet y Hamilton.

Clúster 2. Desempeño e interacción en HSCM: agrupa 10 documentos relacionados con la formulación de indicadores para medir el desempeño de la cadena de suministro, en

combinación con estrategias de integración y colaboración entre actores, principalmente en cadenas de suministro de medicamentos. Entre los nodos con mayor influencia se destacaron los documentos de D. Q. Chen.

Clúster 3. Contexto HSCM: incluyó 8 documentos relacionados con facilitadores y barreras que contribuyen a una exitosa gestión de la cadena de suministro, empleando principalmente estudios de caso. Se destacan los artículos de los siguientes autores: J. de vries, R. Huijsman y C. Callender.

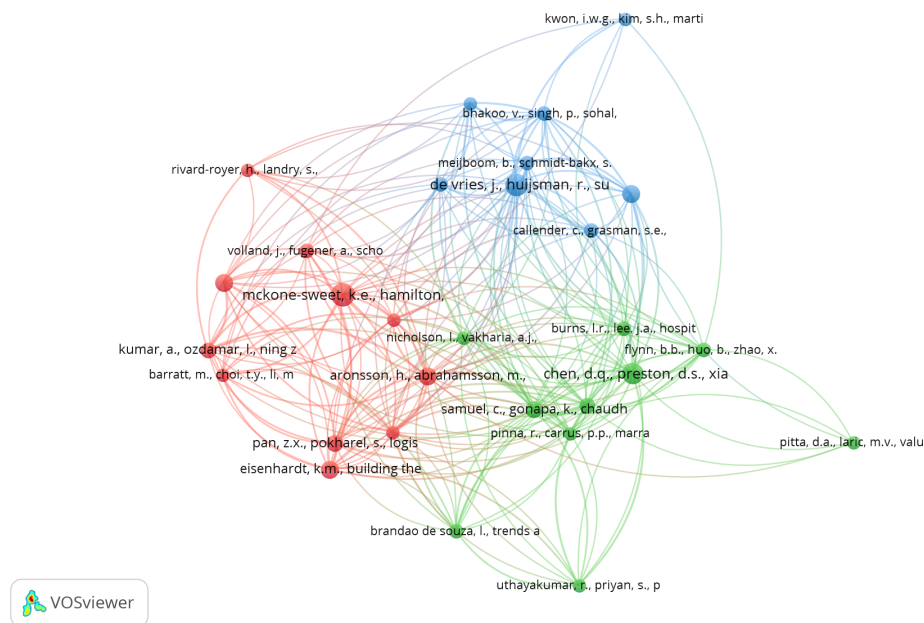


Figura 8. Red de co-citación de autores

Los principales resultados y el resumen de los clústeres presentados anteriormente se representan en la Fig. 9, como un marco de trabajo que se propone para futuras investigaciones sobre el tema de estudio.

Bajo los planteamientos anteriores, y considerando las investigaciones más relevantes revisadas en las bases de datos consultadas, se construyó la Tabla VI, que recopila los aspectos principales que constituyen el concepto de HSCM. La cadena es clasificada como *interna* o *externa*: la primera categoría abarca el flujo de pacientes, recursos e información al interior de la institución de salud, y la segunda comprende el estudio de las relaciones entre actores de una misma red hospitalaria.

La cadena de suministro en el sector salud consta de una cadena interna, conformada por habitaciones, salas de urgencia, quirófanos, farmacias, unidades de cuidados intensivos y demás



Figura 9. Marco de trabajo propuesto para realizar investigaciones en HSCM

Tabla VI. Concepto HSCM

Autor	Concepto
(38)	En un hospital, la cadena de suministro abarca todos los elementos tanto de su cadena interna, así como de su cadena externa.
(39)	Sistema complejo que requiere el flujo de productos y servicios, con el fin de satisfacer las necesidades de aquellos que sirven a pacientes para mejorar los resultados clínicos y controlar los costos.
(29)	Diversidad de interesados están involucrados en las prácticas de la gestión de la cadena de salud. Por lo tanto, la aplicación de las prácticas de gestión de la cadena de suministro en este entorno está casi por definición relacionada con aspectos organizacionales como la construcción de relaciones, la asignación de responsabilidades y la organización de procesos.
(40)	La atención de la salud está organizada en silos funcionales, al igual que la industria, y necesita procesos que funcionen bien para satisfacer las demandas de los pacientes, considerado la disponibilidad de servicios y garantizando plazos cortos de entrega.
(38)	La cadena de suministro de atención de la salud consiste en el flujo de varios tipos de productos y la contribución de los diferentes grupos de interés. El objetivo principal de la cadena de suministro de la asistencia sanitaria es proporcionar productos en el momento adecuado y cumplir con los requisitos de los proveedores de servicios de cuidado de la salud.
(41)	La cadena de suministro de atención médica se refiere al flujo de información, suministros y finanzas relacionados con la adquisición y el movimiento de bienes y servicios del proveedor al usuario, con el fin de mejorar los resultados clínicos mientras se controlan los costos.
(42)	La HSCM garantiza y controla el flujo de productos a través de la participación de tres partes interesadas principales: productores, compradores y proveedores.
(43)	La gestión de la cadena de suministro hospitalaria es más compleja que la cadena de suministro de la industria.
(1)	Conjunto de enfoques para suministrar medicamentos, equipos, lavandería y alimentos desde el proveedor hasta los hospitales para garantizar su uso eficiente y efectivo y lograr una gestión de calidad total.

unidades de atención al paciente. También incluye áreas de unidades no asistenciales: dirección general, calidad, facturación, servicios generales y los servicios auxiliares como laboratorios, análisis clínicos, imagenología y bancos de sangre (4). En este nivel se desarrollan procesos de almacenamiento, consolidación, distribución y administración de suministros requeridos para prestar un adecuado servicio al paciente en términos de seguridad, calidad y oportunidad (4,5).

La cadena de suministro externa de un hospital se representa en tres niveles, en función de su interacción con el paciente. El primer nivel está conformado por proveedores de servicios sanitarios, como empresas aseguradoras y promotoras de salud e instituciones de atención especializada. En el segundo nivel se encuentran los proveedores de servicio en la industria médica (limpieza, seguridad, tecnología), fabricantes de insumos médicos (productos farmacéuticos y dispositivos médicos), compradores (distribuidores, mayoristas y organizaciones de compras grupales – GPO). Finalmente, en el tercer nivel están entidades que no interactúan directamente con la prestación del servicio al paciente, pero son parte del sistema de salud. Este nivel está conformado por entes gubernamentales, agentes de vigilancia y control y organizaciones externas que apoyan a las organizaciones gubernamentales (44). En la cadena externa se realizan los procesos de negociación, licitaciones y compra con los proveedores, cuyo enfoque principal es mejorar la coordinación entre los actores y mejorar las medidas de desempeño de la cadena (5,45).

El rendimiento global de gestión de la cadena de suministro en el cuidado de la salud está determinado por tres factores principales: costo, calidad y seguridad (46). Se han formulado diferentes modelos y medidas para evaluar el desempeño de la HSCM, los cuales están relacionadas con mejoras en la gestión de inventario y la prestación de servicios al paciente en términos de eficiencia y calidad de la atención (47).

4. Conclusiones

Este artículo revisó la literatura sobre la investigación en HSCM. Los clústeres que se identificaron sirvieron para mostrar visualmente las tendencias, las principales instituciones de investigación, los autores centrales y los puntos críticos de investigación.

En la última década se publicaron una gran cantidad de artículos académicos sobre este campo de estudio. A través de esta investigación, se encontró que el número de artículos publicados ha crecido exponencialmente y que las investigaciones sobre HSCM han madurado desde el año 2018. En la actualidad, las preguntas de investigación que aún están sin resolver principalmente están relacionadas con los siguientes temas: innovación y tecnologías, mecanismos de coordinación y sostenibilidad.

Hay 5 revistas principales que publican en el campo de HSCM, que incluyen ingeniería, investigación de operaciones, ciencia y tecnología, ciencias sociales y otros temas. Las instituciones más influyentes son: Mahidol University y IBS Hyderabad. Los autores más

Tabla VII. Concepto HSCM

Flujo	Indicador	Fuente
Financiero	Costo del inventario, costo de compra, costo de mantenimiento, costo de obsolescencia de inventario, costo de almacenamiento, costo de transporte, descuentos y rebajas, porcentaje del costo de suministro por total de gasto hospitalario, porcentaje de costo de suministro por paciente, retorno de la inversión, rentabilidad.	(48-52)
Información	Disponibilidad de información, información actualizada, exactitud de información, inversión en TICs, grado de automatización.	(52,55)
Material	Pedidos completos, pedidos urgentes, tiempo para llenar los pedidos de los hospitales, plazos de entrega de los proveedores, tiempo de entrega del pedido, tiempo de reaprovisionamiento, utilización del espacio, rotación de inventario, disponibilidad y visibilidad del inventario, desabastecimientos de inventario, confiabilidad de entrega, disponibilidad de inventario, exactitud del inventario, órdenes perfectas, seguimiento preciso y confiable, disponibilidad y precisión de información,	(48,49,51,53-56)
Paciente	Provisión oportuna de atención médica, tasa de mortalidad, tiempo de espera por parte del paciente para ser atendido, tiempo de espera por parte del paciente para recibir tratamiento, duración de la estadía del paciente, nivel de servicio, oportunidad en la atención, porcentaje de satisfacción global.	(55-60)

citados son D. Kritchanchai y J. D. VanVactor. Sin embargo, con los avances de las investigaciones de la cadena de suministro hospitalaria, cada vez más autores han comenzado sus investigaciones sobre HSCM, extendiendo el objeto de investigación a otras áreas temáticas.

La literatura sobre modelos cualitativos y cuantitativos está en aumento. La integración de estos dos métodos de investigación se convertirá en la dirección de la investigación futura, especialmente con el uso de datos reales para analizar problemas prácticos en HSCM. Por lo tanto, es un buen método de investigación para los autores que trabajan con HSCM poder resolver problemas del mundo real.

A partir del análisis de los resultados dados anteriormente, las futuras investigaciones pueden concentrarse en estudios más innovadores desde múltiples dimensiones. La investigación futura debe abordar los siguientes aspectos:

- La investigación sobre HSCM se puede dividir en cinco etapas: cadena de suministro, gestión y organización, servicios de salud administración de operaciones, sostenibilidad, desempeño, contexto y tendencias.
- La mayor parte de la investigación actual solo se centra en la discusión de una determinada etapa. Si el proceso de toda la cadena de suministro está efectivamente vinculado, se convertirá en la nueva dirección de la investigación de HSCM.
- En el estudio de los problemas de HSCM, una gran cantidad de artículos utilizan datos

hipotéticos o escalas cualitativas para recopilar varios datos de indicadores, y rara vez utilizan datos reales para verificar los resultados. Sería significativo poder verificar los datos en un entorno del mundo real durante un estudio.

- Se pueden fortalecer aún más la colaboración y coordinación entre los eslabones de la cadena de suministro.
- Se identifica que hay un consenso sobre la importancia de agregar valor a la cadena de suministro. Sin embargo, hacer que este valor agregado sea más explícito en términos de métricas es uno de los principales desafíos que enfrenta la investigación sobre la gestión de la cadena de suministro en un contexto de servicios de salud, especialmente en cadenas externas.

Finalmente, este trabajo contribuye teóricamente a la importancia de la implementación de técnicas, herramientas y enfoques para la creación de una cadena de suministro efectiva en salud que contribuya a reducir costos y mejorar la calidad de la atención médica. Además, desde un enfoque práctico, estos resultados pueden ayudar a garantizar que el personal del hospital esté bien informado sobre las mejores prácticas para gestionar las cadenas de suministro. Se ha destacado, además, la importancia de abordar los desafíos específicos que enfrentan los hospitales o clínicas en países en desarrollo, donde los recursos y la infraestructura son limitados. En resumen, la investigación en este campo tiene el potencial de impactar positivamente en la calidad de la atención médica y en la eficiencia de los servicios de salud en todo el mundo.

5. Contribución de autores

Todos los autores contribuyeron de igual forma en la investigación.

Referencias

- [1] A. Dixit y S. Routroy, "A systematic literature review of healthcare supply chain and implications of future research," vol. 13, no. 4, pp. 405-435, 2019. <https://doi.org/10.1108/IJPHM-05-2018-0028> ↑2, 3, 13
- [2] A. Dolgui, D. Ivanov y B. Sokolov, "Reconfigurable supply chain: The X-network," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 13, pp. 4138-4163, 2020. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1774679> ↑2
- [3] J. P. De Sousa, "Supply chain coordination in hospitals." *Leveraging Knowledge for Innovation in Collaborative Networks: 10th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2009, Thessaloniki, Greece, October 7-9, 2009. Proceedings 10*. Springer Berlin Heidelberg, 2009. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04568-4_13 ↑2
- [4] B. Mathur et al., "Achieving better integration in trauma care delivery in India: Insights from a patient survey," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 25, no. 1, pp. 603-626, 2017. <https://doi.org/10.2495/ISME20131171> ↑2, 14

- [5] K. Moons, G. Waeyenbergh y L. Pintelon, "Measuring the logistics performance of internal hospital supply chains – A literature study R," *Omega*, vol. 82, pp. 205-217, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.01.007> ↑2, 14
- [6] S. Al-Balushi, A. S. Sohal, P. J. Singh, A. Al Hajri, Y. M. Al Farsi y R. Al Abri, "Readiness factors for lean implementation in healthcare settings—a literature review.," *J. Health Organ. Manag.*, vol. 28, no. 2, pp. 135-153, 2014. <https://doi.org/10.1108/JHOM-04-2013-0083> ↑2
- [7] S. Hopkins, M. Walter y S. Collins, "Lean daily management: Exploring the effectiveness in reducing product returns and overnight shipment occurrences in a materials management department," *Health Care Manag. (Frederick)*, vol. 36, no. 3, pp. 267-272, 2017. <https://doi.org/10.1097/HCM.0000000000000173> ↑3
- [8] L. Marques, M. Martins, C. Araújo y L. Marques, "The management of operations. The healthcare supply network: Current state of the literature and research opportunities opportunities," *Prod. Plan. Control*, vol. 31, no. 5, pp. 590-609, 2019. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1663451> ↑3
- [9] T. Iyamu and K. Nunu, "Healthcare data management conceptual framework for service delivery," *Educ. Inf. Technol.*, 2021, doi: <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10413-y> ↑3
- [10] K. Anurodhsingh y J. R. Kumar, "Supply chain integration: A review of enablers, dimensions and performance," *Bench. An Int. J.*, vol. 27, no. 1, pp. 264-301, Jan. 2019. <https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2018-0217> ↑3
- [11] D. Tranfield, D. Denyer y P. Smart, "Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review – Introduction: The need for an evidence- informed approach," *Br. J. Manag.*, vol. 14, pp. 207-222, 2003. ↑3, 7
- [12] A. Harden and J. Thomas, "Methodological issues in combining diverse study types in systematic reviews," *Int. J. Soc. Res. Methodol.*, vol. 8, no. 3, pp. 257-271, Jul. 2005. <https://doi.org/10.1080/13645570500155078> ↑3
- [13] C. Tasdemir and R. Gazo, "A systematic literature review for better understanding of lean driven sustainability," *Sust.*, vol. 10, no. 7, art. 2544, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10072544> ↑3
- [14] S. T. Khorasani, J. Cross y O. Maghazei, "Lean supply chain management in healthcare: A systematic review and meta-study," *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 11, pp. 1-34, 2020. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-07-2018-0069> ↑3
- [15] D. Ademar, R.-F. V. Mateo, F. A. Giner, E. S. Rolim y E. Leonardo, "The construction of knowledge from the scientific literature about the theme seaport performance evaluation," *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 64, no. 2, pp. 243-269, Jan. 2015. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2014-0015> ↑5
- [16] D. Kritchanchai, S. Muangchoo y W. K. A. Tan, "Improving the efficiency of healthcare supply chain in Thailand," *Int. J. Electron. Healthc.*, vol. 10, no. 4, pp. 313-329, 2018. <https://doi.org/10.1504/IJEH.2018.101452> ↑5

- [17] D. Kritchanchai, S. Krichanchai, S. Hoer y A. Tan, "Healthcare supply chain management: Macro and micro perspectives," *Logforum*, vol. 15, no. 4, pp. 531-544, 2019. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2019.371> ↑5
- [18] J. D. VanVactor, "Healthcare logistics in disaster planning and emergency management: A perspective," *J. Bus. Contin. Emerg. Plan.*, vol. 10, no. 2, pp. 157-176, 2017. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28376996/> ↑5
- [19] V. Bhakoo y C. Chan, "Collaborative implementation of e-business processes within the health-care supply chain: The Monash Pharmacy Project," *Supply Chain Manag.*, vol. 16, no. 3, pp. 184-193, 2011. <https://doi.org/10.1108/13598541111127173> ↑5
- [20] G. A. Borges, G. L. Tortorella, F. Martínez y M. Thurer, "Simulation-based analysis of lean practices implementation on the supply chain of a public hospital," *Production*, vol. 30, pp. 1-16, 2020. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20190131> ↑5
- [21] E. V. Gutiérrez y C. J. Vidal, "Home health care logistics management problems: A critical review of models and methods," *Rev. Fac. Ing.*, no. 68, pp. 160-175, 2013. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-62302013000300016&script=sci_arttext&tlng=en ↑5
- [22] J. Lee, "Losing preferential treatment. Physicians face limited choice in medical device selection as hospitals push to slash supply-chain costs," *Mod. Healthc.*, vol. 43, no. 7, pp. 28-30, 2013. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23488201/> ↑5
- [23] S. Mandal, "The influence of organizational culture on healthcare supply chain resilience: Moderating role of technology orientation," *J. Bus. Ind. Mark.*, vol. 32, no. 8, pp. 1021-1037, 2017. <https://doi.org/10.1108/JBIM-08-2016-0187> ↑5
- [24] G. Bailey, T. Cherrett, B. Waterson, L. Breen y R. Long, "Boxed up and locked up, safe and tight! Making the case for unattended electronic locker bank logistics for an innovative solution to NHS hospital supplies (UK)," *Int. J. Procure. Manag.*, vol. 8, no. 1-2, pp. 104-125, 2015. <https://doi.org/10.1504/IJPM.2015.066290> ↑5
- [25] M. I. Hossain y M. S. Parvez, "Investigating the effect of extended vendor managed inventory in the supply chain of health care sector to enhance information exchange," *Int. J. Inf. Manag. Sci.*, vol. 31, no. 2, pp. 171-189, 2020. [https://doi.org/10.6186/IJIMS.20200631\(2\).0004](https://doi.org/10.6186/IJIMS.20200631(2).0004) ↑5
- [26] A. Kumar y S. Rahman, "RFID-enabled process reengineering of closed-loop supply chains in the healthcare industry of Singapore," *J. Clean. Prod.*, vol. 85, pp. 382-394, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.037> ↑5
- [27] J. Lee, "Smart shopping. Chief purchasing officers and other supply-chain execs gain new responsibilities as hospitals work to control rising costs," *Mod. Healthc.*, vol. 42, no. 3, pp. 26-28, 2012. <https://www.modernhealthcare.com/article/20120114/MAGAZINE/301149957/smart-shopping> ↑5
- [28] D. Q. Chen, D. S. Preston y W. Xia, "Enhancing hospital supply chain performance: A relational view and empirical test," *J. Oper. Manag.*, vol. 31, no. 6, pp. 391-408, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2013.07.012> ↑9, 10

- [29] J. De Vries y R. Huijsman, "Supply chain management in health services: An overview," vol. 16, no. 3, pp. 159-165, 2011. <https://doi.org/10.1108/13598541111127146> ↑10, 13
- [30] R. Uthayakumar and S. Priyan, "Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: Optimization for a pharmaceutical company and a hospital," *Oper. Res. Heal. Care*, vol. 2, no. 3, pp. 52-64, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2013.08.001>. ↑10
- [31] H. Aronsson, M. Abrahamsson y K. Spens, "Developing lean and agile health care supply chains," *Supply Chain Manag.*, vol. 16, no. 3, pp. 176-183, 2011. <https://doi.org/10.1108/13598541111127164> ↑10
- [32] S. M. Lee, D. Lee y M. J. Schniederjans, "Supply chain innovation and organizational performance in the healthcare industry," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 31, no. 11, pp. 1193-1214, 2011. <https://doi.org/10.1108/01443571111178493> ↑10
- [33] P. Kelle, J. Woosley y H. Schneider, "Pharmaceutical supply chain specifics and inventory solutions for a hospital case," *Oper. Res. Heal. Care*, vol. 1, no. 2-3, pp. 54-63, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2012.07.001> ↑10
- [34] D. Dobrzykowski, V. Saboori Deilami, P. Hong y S.-C. Kim, "A structured analysis of operations and supply chain management research in healthcare (1982-2011)," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 147, PART B, pp. 514-530, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.04.055> ↑10
- [35] A. Yee-Loong Chong, M. J. Liu, J. Luo, and O. Keng-Boon, "Predicting RFID adoption in healthcare supply chain from the perspectives of users," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 159, pp. 66-75, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.034> ↑10
- [36] V. Bhakoo y T. Choi, "The iron cage exposed: Institutional pressures and heterogeneity across the healthcare supply chain," *J. Oper. Manag.*, vol. 31, no. 6, pp. 432-449, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2013.07.016> ↑10
- [37] V. Bhakoo, P. Singh y A. Sohal, "Collaborative management of inventory in Australian hospital supply chains: Practices and issues," *Supply Chain Manag.*, vol. 17, no. 2, pp. 217-230, 2012. <https://doi.org/10.1108/13598541211212933> ↑10
- [38] Rivard-Royer H, L. Sylvain y B. Martin, "Hybrid stockless: A case study: Lessons for health-care supply chain integration," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 22, no. 4, pp. 412-424, Jan. 2002. <https://doi.org/10.1108/01443570210420412> ↑13
- [39] E. S. Schneller, L. R. Burns y L. R. Smeltzer, *Strategic management of the health care supply chain*. San Francisco, CA, USA: Wiley, 2006. ↑13
- [40] A. Håkan, A. Mats y S. Karen, "Developing lean and agile health care supply chains," *Supply Chain Manag. An Int. J.*, vol. 16, no. 3, pp. 176-183, Jan. 2011. <https://doi.org/10.1108/13598541111127164> ↑13
- [41] M. E. Kane et al., "Demanding value from our health care: motivating patient action to reduce waste in health care." *NAM Perspectives* (2012). ↑13

- [42] A. S. M. Mosa, I. Yoo y L. Sheets, "A systematic review of healthcare applications for smartphones," *BMC Med. Inform. Decis. Mak.*, vol. 12, p. 67, Jul. 2012. <https://doi.org/10.1186/1472-6947-12-67> ↑13
- [43] D. Q. Chen, D. S. Preston y W. Xia, "Enhancing hospital supply chain performance: A relational view and empirical test," *J. Oper. Manag.*, vol. 31, no. 6, pp. 391-408, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2013.07.012> ↑13
- [44] I. S. Karakadilar y B. J. Hicks, "Exploring the moderating role of lean production on supplier performance: An empirical study of Turkish automotive part suppliers," *Bogazici J.*, vol. 29, no. 2, pp. 73-97, 2015. <https://doi.org/10.21773/boun.29.2.5> ↑14
- [45] D. Kritchanchai, S. Hoer y P. Engelseth, "Develop a strategy for improving healthcare logistics performance," *Supply Chain Forum An Int. J.*, vol. 19, no. 1, pp. 55-69, 2018. <https://doi.org/10.1080/16258312.2017.1416876> ↑14
- [46] M. A. Rakovska y S. V. Stratieva, "A taxonomy of healthcare supply chain management practices," *Supply Chain Forum An Int. J.*, vol. 19, no. 1, pp. 4-24, 2018. <https://doi.org/10.1080/16258312.2017.1395276> ↑14
- [47] D. Adebajo, T. Laosirihongthong y P. Samaranayake, "Prioritizing lean supply chain management initiatives in healthcare service operations: A fuzzy AHP approach," *Prod. Plan. Control*, vol. 27, no. 12, pp. 953-966, 2016. <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1164909> ↑14
- [48] A. J. Fong, M. Smith y A. Langerman, "Efficiency improvement in the operating room," *J. Surg. Res.*, vol. 204, no. 2, pp. 371-383, Aug. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.04.054> ↑15
- [49] C. Dheeraj y K. Dinesh, "Two-way assessment of key performance indicators to vaccine supply chain system in India," *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 68, no. 1, pp. 194-230, Jan. 2019. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2018-0078> ↑15
- [50] G. Santos, F. Murmura y L. Bravi, "Developing a model of vendor rating to manage quality in the supply chain," *Int. J. Qual. Serv. Sci.*, vol. 11, no. 1, pp. 34-52, 2019. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-06-2017-0058> ↑15
- [51] R. Bartnik y Y. Park, "Technological change, information processing and supply chain integration: A conceptual model," *Benchmarking*, vol. 25, no. 5, pp. 1279-1301, 2018. <https://doi.org/10.1108/BIJ-03-2016-0039> ↑15
- [52] K. Danas, A. Roudsari y P. H. Ketikidis, "The applicability of a multi-attribute classification framework in the healthcare industry," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 17, no. 6, pp. 772-785, Jan. 2006. <https://doi.org/10.1108/17410380610678792> ↑15
- [53] E. Ahmadi, D. T. Masel, A. Y. Metcalf y K. Schuller, "Inventory management of surgical supplies and sterile instruments in hospitals: A literature review," *Heal. Syst. (Basingstoke, England)*, vol. 8, no. 2, pp. 134-151, Jul. 2018. <https://doi.org/10.1080/20476965.2018.1496875> ↑15

-
- [54] M. Gebicki, E. Mooney, S.-J. G. Chen y L. M. Mazur, "Evaluation of hospital medication inventory policies," *Health Care Manag. Sci.*, vol. 17, no. 3, pp. 215-229, Sep. 2014. <https://doi.org/10.1007/s10729-013-9251-1> ↑15
- [55] V. Augusto y X. Xie, "Redesigning pharmacy delivery processes of a health care complex," *Health Care Manag. Sci.*, vol. 12, no. 2, pp. 166-178, Jun. 2009. <https://doi.org/10.1007/s10729-008-9086-3> ↑15
- [56] C. R. Rosales, M. Magazine y U. Rao, "The 2Bin system for controlling medical supplies at point-of-use," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 243, no. 1, pp. 271-280, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.10.041> ↑15
- [57] T. Supeekit, T. Somboonwivat y D. Kritchanai, "DEMATEL-modified ANP to evaluate internal hospital supply chain performance," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 102, pp. 318-330, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.07.019> ↑15
- [58] K. W. Park y C. Dickerson, "Can efficient supply management in the operating room save millions?," *Curr. Opin. Anaesthesiol.*, vol. 22, no. 2, pp. 242-248, Apr. 2009. <https://doi.org/10.1097/ACO.0b013e32832798ef> ↑15
- [59] E. AbuKhoua, J. Al-Jaroodi, S. Lazarova-Molnar y N. Mohamed, "Simulation and modeling efforts to support decision making in healthcare supply chain management," *Sci. World J.*, art. 354246, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/354246> ↑15
- [60] J. Little and B. Coughlan, "Optimal inventory policy within hospital space constraints," *Health Care Manag. Sci.*, vol. 11, no. 2, pp. 177-183, Jun. 2008. <https://doi.org/10.1007/s10729-008-9066-7> ↑15
-

Erika Tatiana Ruíz Orjuela

Estudiante de doctorado en Ingeniería – Industria y Organizaciones, Universidad Nacional de Colombia; magíster en Ingeniería Industrial e ingeniería industrial de la Universidad Industrial de Santander; pertenece como investigadora al grupo de investigación Sociedad, Economía y Productividad (SEPRO). Sus áreas de interés son la gestión de la cadena de suministro, logística y *lean healthcare*.

Email: erruizo@unal.edu.co

Gustavo Gatica

Doctor en Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Santiago de Chile; docente de la facultad de Ingeniería de la Universidad Andrés Bello. Sus áreas de interés son la modelación matemática, enrutamiento de vehículos y logística.

Email: ggatica@unab.cl

Wilson Adarme Jaimes

Doctor en Ingeniería Industrial, magíster en ingeniería industrial, especialista en gerencia de la producción y mejoramiento continuo e ingeniero industrial; investigador senior y director

del Grupo en Sociedad, Economía y Productividad (SEPRO); profesor asociado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, con interés en gestión de la cadena de suministro.

Email: wadarmej@unal.edu.co



Research

Challenges and Trends in Logistics 4.0

Retos y tendencias de la Logística 4.0

Camila Patricia Malagón-Suárez¹✉*, and Javier Arturo Orjuela-Castro¹ 

¹Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá - Colombia)

Abstract

Context: Due to the technological breakthrough in worldwide productive systems generated by the 4.0 revolution, it has become necessary to make sweeping changes to logistics in order to allow supply chains to enhance their performance and response times. Hence, the concept of *Logistics 4.0* was born. Although many developed countries have implemented the principles of Logistics 4.0, there is still a breach in its study and application worldwide. This article explores the challenges and trends in the implementation of Logistics 4.0.

Method: Articles published from 2015 to 2021 in the Scopus, Science Direct, Taylor and Francis, and Google Scholar databases were analyzed via a systematic literature review.

Results: A conceptualization of Logistics 4.0 was proposed which includes a definition, objectives, characteristics, and the most representative technologies in its implementation. Likewise, the main challenges and trends facing industries in the implementation of Logistics 4.0 within supply chains were identified.

Conclusions: *Logistics 4.0* is a novel term that has aroused the interest of researchers, governments, and companies worldwide, which is due to its promising benefits in reducing response times and increasing flexibility and collaboration in supply chains. However, the lack of a common framework for its study and adoption has hindered its integration in companies and supply chains, especially for those facing technical, social, economic, and legal barriers for the implementation of Logistics 4.0.

Keywords: Logistics 4.0, Industry 4.0, Supply chain

Article history

Received:
26th / Aug / 2021

Modified:
21th / Jan / 2022

Accepted:
23th / Feb / 2022

Editor:
Dr. Nelson Díaz

Ing, vol. 28,
no. suppl, 2023.
e18492

©The authors;
reproduction
right holder
Universidad
Distrital
Francisco José de
Caldas.

Open access



*✉ Correspondence: cpmalagons@correo.udistrital.edu.co, jorjuela@udistrital.edu.co

Resumen

Contexto: Debido a los avances tecnológicos en los sistemas productivos globales generados por la revolución 4.0, se ha vuelto necesario hacer cambios profundos a la logística para que las cadenas de suministro puedan mejorar su desempeño y tiempos de respuesta. De ahí nace el concepto de *Logística 4.0*. Aunque muchos países desarrollados han implementado los principios de la Logística 4.0, aún hay brechas en su estudio y aplicación alrededor del mundo. Este artículo explora los retos y tendencias de la implementación de la Logística 4.0.

Método: Se analizaron artículos publicados entre 2015 y 2021 en las bases de datos Scopus, Science Direct, Taylor and Francis y Google Scholar, mediante una revisión sistemática de la literatura.

Resultados: Se propuso una conceptualización de la Logística 4.0, que incluye una definición, objetivos, características y las tecnologías más representativas en su implementación. Asimismo, se identificaron los retos y tendencias principales que afrontan las industrias en la implementación de la Logística 4.0 en el ámbito de las cadenas de suministro.

Conclusiones: *Logística 4.0* es un término novedoso que ha despertado el interés de los investigadores, los gobiernos y las compañías alrededor del mundo. Esto, debido a sus prometedores beneficios en la reducción de tiempos de respuesta y el incremento de la flexibilidad y la colaboración en las cadenas de suministro. Sin embargo, la falta de un marco común para su estudio y adopción ha limitado su integración en las compañías y las cadenas de suministro, especialmente en aquellas que enfrentan barreras técnicas, sociales, económicas y legales para la implementación de la Logística 4.0.

Palabras clave: Logística 4.0, Industria 4.0, Cadena de suministro

Table de contents

	Page		
1. Introduction	2	5. Benefits and challenges of SCs in Logistics 4.0	11
2. Methodology	3	6. Implementation trends	12
3. Bibliometric analysis	4	7. Implementation barriers	13
4. Towards the conceptualization of Logistics 4.0	6	8. Challenges of Logistics 4.0	16
4.1. Technologies	7	9. Conclusions	17
4.2. Attributes	10	10. Author contributions	17
		References	17

1. Introduction

The increased demand for individualized products (1, 2), the shortening of product lifetimes (3, 4) and innovation cycles (5, 6), the increased demand for shorter lifespans and

better service levels (4, 5), larger supply chains and shorter batch sizes (7), and the volatility of markets (8), (9,10) have challenged the field of logistics. Today, logistics processes must deal with more complex material and information flows (11–13), while the traditionally used techniques and tools fail to provide the sufficient agility and flexibility that supply chains (SCs) need in order to respond to the new requirements of markets (14). One alternative to improve results of SCs is integrating the technologies and principles of the fourth industrial revolution to their processes (15).

The term *fourth industrial revolution* was adopted in the Hannover Fair of 2011 to name the German government's high-technology strategy to promote the automation and digitalization of manufacturing processes (16). This term has been used to describe the inclusion of technological trends in industrial manufacturing, such as cyber-physical systems, the Internet of Things, and Big Data, among others (17). This fourth revolution has changed the way in which people and companies buy, produce, manage, sell, and deliver their products worldwide, making logistics a competitive driver (rather than a cost-centered one) for online stores and retailers (18).

Therefore, Logistics 4.0 seems to be a solution to the slow change that logistics activities have undergone in recent years. This term is used to describe the adoption of technologies and concepts of the Industry 4.0 in the field of logistics (10). Logistics 4.0 aims to achieve the '8RS Factors', which means that logistics is responsible for the delivery of the right product, at the right time, in the right place, with the right quality and quantity, ecologically right, and with the right information (5). *Logistics 4.0* seeks to improve the effectiveness and efficiency of entire supply chains. Nevertheless, authors often confuse the term Logistics 4.0 with the use of digital technologies in the logistics activities, since there is still no consensus around the definition and the characteristics of this term (3), which makes it a difficult matter to investigate and implement.

This article aims to propose a common definition for and characterize Logistics 4.0 through a systematic review of the literature. Section 2 explains the data collection methodology used. In section 3, a bibliometric analysis is conducted in order to identify the patterns in publications on Logistics 4.0. In section 4, the definition, technologies, and attributes that should be associated with Logistics 4.0 are established. Section 5 analyzes the role of Logistics and the Industry 4.0 in SCs. Finally, sections 6 and 7 describe trends and barriers in the implementation of Logistics 4.0.

2. Methodology

Through a systematic review, the attributes and elements commonly accepted among authors and experts on the subject were identified, allowing for the elaboration of a common conceptual framework for Logistics 4.0. To this effect, the procedure described by (19) was followed in order to answer the following research questions: (i) what is Logistics 4.0?, (ii) what is the influence of the Industry 4.0 in the current context of logistics?, (iii) what are the most representative technologies in Logistics 4.0?, and (iv) what is the role of Logistics 4.0 in SCs, as well as the barriers and opportunities of its implementation?. Table I contains a description of each phase of the review.

Table I. Phases of the systematic review of the literature

Phases	Description	Results
	Databases used: ScienceDirect, Taylor and Francis, Scopus, and Google Scholar.	
<i>Search protocol and strategy</i>	Search terms: (“logistics 4.0”) OR (“supply chain 4.0”) OR (“industry 4.0” AND (“logistics” OR “supply chain”)) and (“blockchain” OR “IoT” OR “Cyber Physical Systems” OR “Big Data”) AND “logistics”) in title, abstract, and keywords.	797 publications were found
<i>Review and selection criteria</i>	Review of publications on titles, keywords, and abstracts in order to determine their pertinence with the research topic. Inclusion criteria: articles related to smart logistics, supply chain 4.0, and applications of digital technologies in logistics. Exclusion criteria: publications before 2015.	127 publications were selected according to the criteria
<i>Data extraction</i>	Filling out the analysis matrix. Information was extracted from the articles based on the analysis variables: definition, objectives, attributes, technologies, benefits, and implementation challenges.	Review of the 127 selected publications
<i>Data synthesis and report</i>	Synthesis of the contributions of authors in the analysis matrix. Identification of points of convergence and opposition between authors. Drafting of the report text.	

Source: adapted from (20)

Additionally, a bibliometric analysis was conducted in order to determine the new emerging trends in publications related to Logistics 4.0. This analysis was made in VOSViewer, a software used to build and visualize bibliometric networks. Furthermore, seminal publications were found using Hazing, a software that determines the number of citations of the most relevant articles on a topic.

3. Bibliometric analysis

Publications on Logistics 4.0 started to appear in 2015, four years after the 2011 Hannover Fair, when the term *Industry 4.0* was first proposed. Fig. 1 illustrates the annual number of publications on Logistics 4.0 in the Scopus database. The figure shows a growing trend for the number of publications, which could be an insight to the increasing importance gained by Logistics 4.0 in academia. Most papers are reviews and maturity models of European countries, which indicates a lack of Logistics 4.0 applications in industries, given the novelty of the term.

Due to the wide diffusion of this concept in Europe, the most cited authors on logistics in the Industry 4.0 come from Germany, Italy, Poland, the United Kingdom, and France, with around 75 % documents being from the continent. This is a consequence of the growing interest by the European Commission in developing competitive advantage through the research and implementation of digital technologies and Industry 4.0 in companies. These efforts have fostered the creation of Horizon 2020, an initiative aimed at securing Europe’s global competitiveness by funding research and innovation (21). Together with the European Commission, these are

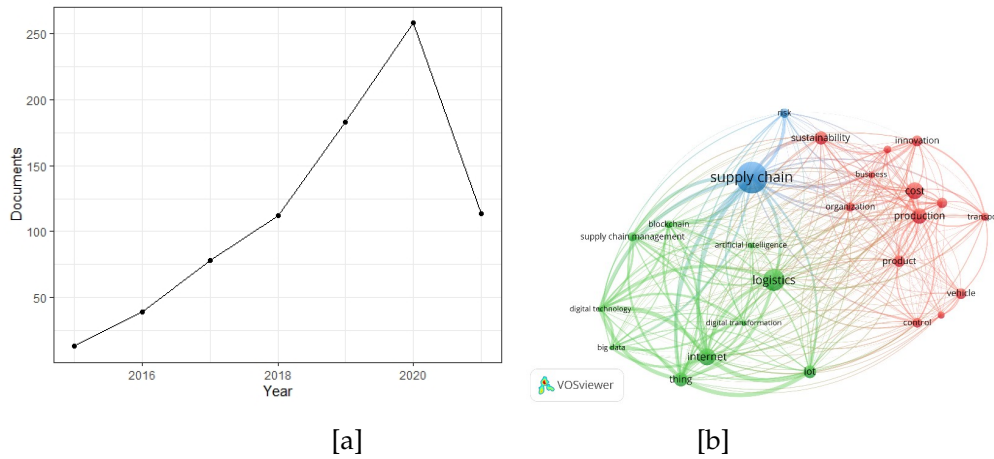


Figure 1. Behavior of publications on Logistics 4.0: a) documents related to Logistics 4.0 in Scopus by year; b) Logistics 4.0 bibliometric network including the top 25 most used words in the title and abstract of 689 articles published between 2015 and 2020 in the Dimensions database

largest sponsors worldwide in research and application related to the Industry 4.0 in logistics, accounting for 13% of the published documents.

Through the Hazing software, seminal publications on Logistics 4.0 were found, with the following articles being the most cited of the reviewed publications (Table II).

Table II. Top 5 most cited publications on Logistics 4.0

Cites	Authors	Publication	Year
1057	(13)	Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics	2017
862	(22)	A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises	2016
707	(23)	Global logistics and supply chain management	2016
480	(14)	Industry 4.0 implications in logistics: an overview	2017
331	(24)	Intuitionistic fuzzy based DEMATEL method for developing green practices and performances in a green supply chain	2015

Then, a bibliometric analysis was conducted to identify the main trends and areas of application of the publications found in the Dimensions database. Fig. 1b shows the bibliometric network of the top 25 most used words in titles and abstracts of publications on Logistics 4.0 between 2015 and 2020. In the network, it is possible to identify three main clusters: the first is related to blockchain, IoT, Big Data analytics, and artificial intelligence, which are the main technologies related to Logistics 4.0; the second shows the application of Logistics 4.0 as a driver for supply chain management (SCM) and mitigating risks in SCs; and the third gives insights into the areas and activities in which Logistics 4.0 could be a driver for innovation processes, transportation, sustainability, and vehicle control.

Logistics 4.0 could drive the success of companies in the new technological revolution, enabling the creation of new competitive advantages in competitive markets. Nevertheless, its implementation in academia and industry is still in its early stages. Although *Logistics 4.0* is a novel term, some European countries have focused their interest in order for its development to be at the forefront of technology.

4. Towards the conceptualization of Logistics 4.0

Logistics is defined as the SC process of planning, executing, and controlling efficient material and information flows, from the origin to the consumption point, in order to satisfy the customer's requests (25). This term arose in the military field in times of the ancient roman empire, but it became important in 50s due to the concern in the army about the efficient flow of military equipment and food during wars (26). Logistics was later adopted by companies to manage material flows, and it was integrated as a part of the supply chain (25). Given the emergence of new technologies, logistics had to adapt its operations in order to respond to the new needs of the market. This happened in four phases: Logistics 1.0 focused on the mechanization of transportation, Logistics 2.0 on the automation of cargo systems, Logistics 3.0 on the use of information systems, and Logistics 4.0 on the automation of material and information flows (27,28).

Logistics 4.0 is defined as the combination of the traditional logistics activities and the innovations and technologies of the Industry 4.0, mainly cyber-physical systems (CPS). Furthermore, it is defined as the implementation of the Industry 4.0 in the field of logistics (29), as a response to the changes generated by manufacturing processes in the Industry 4.0, improving operations in SCs. There are three types of Logistics 4.0: instrumented logistics (the use of technologies to improve materials handling within companies); interconnected logistics (enabling the connection between two or more logistics devices, thus improving tracking and traceability); and intelligent logistics (the ability to communicate and share information throughout the organization) (30).

On the other hand, Logistics 4.0 is described as the union of the Internet of Things, high performance sensors, information technologies, and robots with logistics activities, which allows the interconnection of SCs (31). The use of technologies in logistics improves the flow of materials and information among participants in SCs, creating value in each step. This, due to the fact that customers play an important role as active stakeholders in the value creation process (32). Although Logistics 4.0 is mainly associated with the implementation of digital technologies, its implementation should also include changes in all related processes (33).

Nowadays, the importance of green logistics, circular economies, inverse logistics, and green supply chains, among others, has increased in both academia and the industry, seeking to respond to the concern about the impact of logistics activities on the environment. The purpose of these trends is to make processes along SCs more sustainable. Sustainability is defined as

the responsible utilization of resources that guarantees the well-being of current and future generations (34), which includes economic, social, and environmental aspects. Logistics 4.0 embraces this concern by including the management of materials and information during the whole product's life-cycle, *i.e.*, until its final disposal (35).

Considering the above-mentioned definitions, a definition of Logistics 4.0 that combines the identified elements and parameters of the definitions given by the literature would be as follows:

Logistics 4.0 is the management of the flow of materials and information along the supply chain from the point of extraction to the end of the product's life cycle and its final disposal, which includes the creation of value in each echelon of the supply chain, by implementing the innovations and technologies of the Industry 4.0.

The main objective of Logistics 4.0 is to increase the overall efficiency and effectiveness of SCs through the creation of networking and the synchronizing processes for different partners (28, 36, 37). Networking is made possible by the integration of information and communication technologies between companies (38). Long-term integration in SCs generates efficiency and competitive advantages that allow companies to perform better in the market (1, 39). Moreover, the adoption of ICTs facilitates communication and data sharing among companies, which could improve the information and material flows of SCs (4, 14, 40). These improvements, generated by Logistics 4.0, help companies to provide end customers with products under the conditions described by the 8Rs (5, 8, 27). On the other hand, better information and material flows make logistics systems more flexible, thus allowing them to respond quickly to the changes in market demand (28, 41). This is a key factor in transportation and distribution systems (42).

Besides, integration among participants could reduce costs and emissions (35), which could be reflected on the performance of the entire SC (1, 4, 27, 33). These benefits will not always be evidenced in the performance of each individual company, but in the overall performance of the SC (35, 43). For that reason, clear agreements between partners become crucial in the implementation of Logistics 4.0, in which it is important to clarify issues related to data protection, possession, handling, intellectual property, and security (44). In conclusion, the main objectives followed by Logistics 4.0 are cost reduction, increased SC performance and flexibility, and compliance with the 8Rs. These objectives are usually achieved by improving intercompany and intracompany material and information flows.

4.1. Technologies

Most of the technologies of the Industry 4.0 could be implemented in the field of logistics, given the close work between manufacturing and logistics and the extensive possibilities offered by the use of digital technologies, which allows ensuring completeness and interoperability between interorganizational functions. Furthermore, digitization in logistics could represent an increase in effectiveness and competitiveness for both industries and countries (45). As shown in the previous section, the key technologies that drive Logistics 4.0 are IoT (2), CPS (28), Big Data

analytics (6), blockchain (44), and cloud computing (12). Each of the main drivers is listed below, and a taxonomy of related technologies is presented.

Internet of Things (IoT):

It is defined as a network that interconnects physical objects, such as products, machines, and processes, which are capable of collecting information (46). Through the IoT, different objects can send and share large amounts of information in real time. The IoT could be implemented with RFID, cloud computing, and wireless sensor networks (WSN), thus enhancing traceability, allowing for faster decision making, and increasing accuracy and flexibility in logistics (47). The adoption of the IoT is affected by company size, as large companies are used to having the necessary competences to facilitate the implementation of these technologies (48).

Big Data analytics:

Big Data analytics refers to the collection, processing, and analysis of large amounts of information that cannot be managed in real time (49). Big Data is characterized by the four Vs: volume, velocity, variety, and veracity (50). Big Data can bring great benefits in SC operations and activities by facilitating the creation of data-driven strategies, allowing to make better, faster, and more informed decisions (51,52), achieving reductions in delivery time and costs in SCs (53), and optimizing business operations by analyzing valuable information (54). Moreover, it helps in lean, agile, resilient, and green supply chains (55). For instance, Big Data helps to improve forecasting methods through its integration with data science and machine learning in aviation logistics (56). On the shop floor, Big Data could be useful to visualize the logistics trajectory and evaluate the performance and efficiency of logistics operators (52). In the transportation sector, Big Data helps companies to understand and explore patterns in freight activities (57), especially when it is combined with tracking and geolocation services (58). To achieve the benefits of Big Data in logistics, it is necessary to gather heterogeneous, homogeneous, and dynamic SC data in the shortest possible time (59).

Cyber-physical systems (CPS):

These are defined as interconnected systems of digital and physical objects that communicate and interact with each other, as in a social network of physical objects (60), thus allowing to make decentralized decisions (61). The main benefit of implementing CPS is the improvement of data exchange between business partners and multiple collaborating companies along the value chain (62). CPS enable monitoring, coordination, and horizontal and vertical integration of IT systems in SCs (63,64), thus contributing to cooperation and communication frameworks between processes in an effective and low-cost way (14).

Some of the advantages of CPS integration in logistics are the reduction of operation costs and production cycle times (65). CPS work with scanners, readers, QR and RFID codes, GPS,

and mobile applications for the automatic recognition and processing of the location (66), condition, and status of products (67). CPS have been used in the design a Logistics 4.0 model for the inventory management process of a cold chain (68). Furthermore, CPS have been applied to intra-logistics for scheduling self-guided vehicles in warehouses while considering orders, vehicles, and the status of each product in the production process (69).

Blockchain (BC):

BC has become one of the most widespread technologies in terms of security and digital confidentiality. In 2016, the World Economic Forum predicted that blockchain could store around 10% of the global GDP by 2027, as it is a technology that will change society in the following years (70). It was created as a security mechanism for exchange of cryptocurrencies, but it is now used in areas such as public administration, business, transport, and logistics (71). BC is composed of different features such as a decentralized structure, a storage mechanism, a consensus algorithm, smart contracts, and encryption (72). This technology allows creating and sharing copies of records in the form of time-stamped blocks of information from a database between different SC actors in real time, thus preventing the alteration or deletion of information (73). There are three types of blockchain: public, private, and federated platforms, depending on the permissions given to users (74).

Some benefits of BC adoption in SCs could be improved transparency and response times (72), disintermediation and enabling trust (75), mitigating the bullwhip effects (71), reporting on environmental and social sustainability, facilitating payments and contract arrangements (76), reducing the risks of cyberattacks, and increased information security, a key success factor in the implementation of Logistics 4.0 (44). In humanitarian logistics, blockchain could improve collaboration among the actors in disaster relief and enhance supply chain resilience (77), as well as improving effectiveness and efficiency in humanitarian assistance by facilitating partnerships (78).

Cloud computing:

Another technology is cloud computing, which allows companies to access to infrastructure components, architecture, and an economic model, where virtualization, hosting, and Software as a Service (SaaS) converge (79).

Due to the large number of different technologies related to Logistics 4.0, different taxonomies were found which seek to create common frameworks for aggregation. Some taxonomies classify technologies based on the area of implementation (36), while others do it by functionality (80). For example, technologies could be classified in categories such as *connecting* (cloud computing, 5G, IoT, and digital twins), *collaborating* (digital platforms and ecosystems), *capitalizing* the adoption of emerging technologies by enhancing existing competencies (IoT, AI, Big Data, and analytics), or *building* new competencies (blockchain) (81).

This review proposes a new taxonomy based on functionality which includes the areas of cybersecurity, traceability, and process automation. Fig. 2 shows the proposed taxonomy of Logistics 4.0 technologies, with three macro-groups: those related to automation (RFID and QR codes, robots, *etc.*), real-time control (location technologies such as GPS and SMART sensors of pressure, temperature, humidity, and other conditions of cargo), and information management (CPS, Big Data, blockchain, *etc.*).

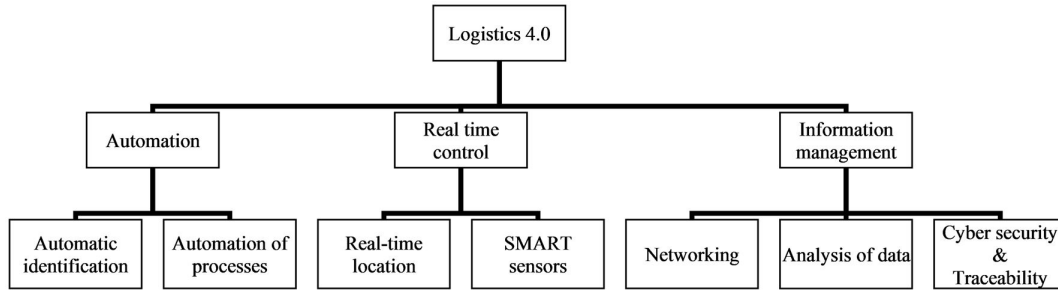


Figure 2. Taxonomy of Logistics 4.0 technologies

4.2. Attributes

Although Logistics 4.0 is mainly characterized by the implementation of digital technologies in logistics activities (37, 44, 66), other attributes include integration and networking (4, 35, 68). Integration occurs through the networking of customers, parts and components, and technical systems that communicate their status and work with others (82) and could provide SCs with competitive advantages (28). There are two types of integration: vertical and horizontal. The difference between both is that vertical integration implies the synchronization between different areas and functional departments in the same company, while horizontal integration links different companies in a SC (64). In the consolidation of integration and networking, collaboration and transparency among participants are fundamental (27). Therefore, it is necessary to break business barriers and work closely with customers, suppliers, and other organizations, thus improving productivity (83).

Networking describes any type of organizational structure where two or more geographically dispersed processes, business units, or companies frequently work in interaction (84). When networking is applied between SC stakeholders, it becomes a differentiating element of Logistics 4.0 (3). The combination of integration and networking is an essential requirement for the emergence of interoperability, defined as the ability to share and exchange information between different entities, as well as to utilize the functionalities of some parts of the network (84).

Another attribute of Logistics 4.0 is its focus on value creation through SCs. This trend increases the value generated through the disruptive improvement of management and the increase in flexibility, visibility, and transparency in SCs (44). Moreover, Logistics 4.0 increases the geographic and temporal accessibility of end customers to products, helping to provide

products and services to customers at any time and any place, removing the historical barriers that traditional logistics has faced (35).

5. Benefits and challenges of SCs in Logistics 4.0

Some of the most important technologies related to logistics are the Internet of Things (IoT) (36), cyber-physical systems (CPS) and cloud computing (61, 82). The idea behind Logistics 4.0 is to implement self-regulating processes that improve SC transparency and achieve flexibility, process automation, decentralized decision-making, increased productivity, and cost reductions (38). In addition, in SCs, Logistics 4.0 enhances the visibility of inventory and operational movements (85); makes planning efficient and helps to respond quickly to the changes in sources, suppliers, capacity, and demand (33); and enables on-demand production and delivery according to just-in-time principles (86). Overall, Logistics 4.0 turns traditional SCs into open and flexible supply networks (80). To achieve these benefits, SCs should address some key challenges, such as managing implementation costs, creating cooperation models between stakeholders, achieving levels of knowledge absorption, and creating an appropriate strategic orientation.

Although the benefits of Logistics 4.0 are desirable for all companies, the costs associated with its implementation are high. Therefore, companies should first identify their key organizational processes and evaluate their technological needs in order to determine in which technology and when they should invest (44). In some cases, companies choose to implement 4.0 technologies in just one logistics process, giving rise to terms such as *Warehousing 4.0* (87). One example is the use of augmented reality in warehouse processes via smart glasses, which allows operators to identify easily the products and objects to pick (46), enabling the collaboration between digital and physical objects and the user, decreasing task completion times and errors, and making the working environment safer and more productive (88). Other technologies such as robots and automated guided vehicles (AGV) could also be applied in warehousing, helping to pick, place, palletize, and assemble materials and products (89).

Another challenge is the cooperation of all stakeholders (37), including logistics service providers (LSPs), who should implement Logistics 4.0 based on their knowledge management (42). Some of the technologies that benefit the operation of LSPs are Big Data analytics, IoT, business intelligence, simulation, real-time connectivity, and product life cycle management software (90). Collaboration could lead to significant cost reduction and reduced greenhouse gas emissions in shipping activities (91). Moreover, in the context of a pandemic, extensive communication and collaboration across SCs could minimize a lockdown's impact on operations and performance by means of designing alternative plans and supply allocations (92).

The successful implementation of Logistics 4.0 depends on companies' ability to absorb knowledge, not only on the integration of cutting-edge technology (63, 93). Therefore, the purchase of technologies alone will not provide benefits, but it should result in efficient

processes (1). The use of the new technologies must be combined with the knowledge provided by highly trained personnel (94).

In addition, an appropriate strategic orientation is needed in order to overcome barriers and be sustainable over time (86). A successful process to implement Industry 4.0 in SCs included the following steps (95): (i) creating a cross-functional team, (ii) preparing a data integration process between functional areas, (iii) determining the desirable state in terms of customer experience and the optimal state of the 8Rs, (iv) evaluating of the current state of the Industry 4.0, (v) implementing and analyzing internal weaknesses, and (vi) creating an action plan. In addition, financial indicators were proposed in order to evaluate the impact of the implementation of Logistics 4.0, such as the absolute change in depreciation, amortization, and personnel costs; the change in profitability; and the substitution of personnel costs for depreciation and amortization over sales (96).

6. Implementation trends

Logistics 4.0 applications can be found in different business sectors. Fig. 3 shows which fields commonly use some technologies related to Logistics 4.0.

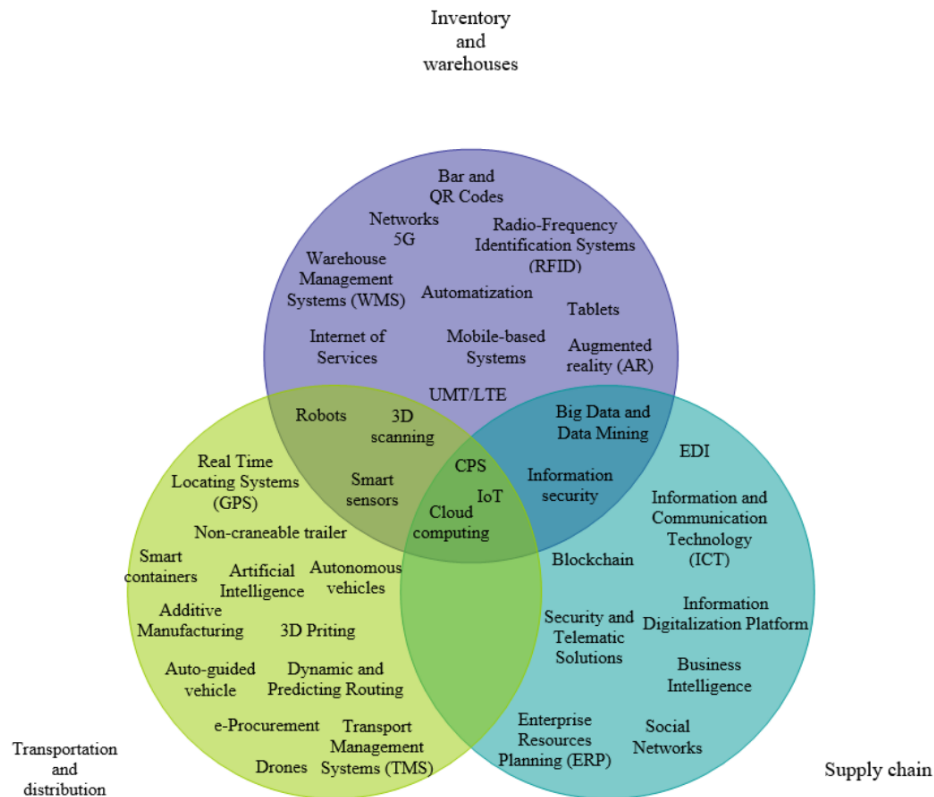


Figure 3. Grouping of Logistics 4.0 technologies based on the field of application

In 2015, Chinese company Changing Precision Technology became the first factory operated entirely by robots, which perform the processes of storage, production, and transportation (97). Bosch has integrated the operation of multiple factories by implementing RFID and using a centralized database-driven logistics system in order to automate the flow of materials and information (98). Moreover, worldwide delivery services companies such as DHL, FedEx, and UPS have included barcoding, RFID, online tracking, and freight tracing, creating efficient logistics systems (23).

In the agri-food sector, Ali Cloud and ZhongAn Technology implemented blockchain in the chicken SC in order to improve the traceability and transparency of logistics and cold chain information among stakeholders (99). Similarly, a blockchain-based framework was designed for the traceability of agri-food chain products to ensure food safety (100). In the German logistics solutions sector, the use of smart containers equipped with cameras that autonomously monitor, determine, and transmit the load level via radio signals has been implemented (101). To improve collaboration, the CAR2SHARE project was created by the German Daimler business group, which seeks to become a transportation service provider (102). Such developments require a robust communication system in order to enable vehicles to communicate directly with each other, which is already being publicized by the marketing departments of commercial vehicle manufacturers (103). In recent years, initiatives have been carried out in public institutions, as is the case of the Colombian National Customs Department (DIAN), which unified multiple information systems between control agencies in order to reduce inspection times in ports (104). Table III shows examples of 4.0 technologies applied to different logistics processes and the advantages expected from their implementation.

One of the most applied technologies in logistics is blockchain, which promises to drive the development of SCs and society in the following years (70). This technology enables the cybersecurity of information, increases transparency and traceability in SCs, and allows integrating smart contracts between partners (72, 76). The second most important technology is Big Data analytics, which allows companies to identify patterns in their activities, mainly in mobility, as well as to make informed decisions (121). Finally, the IoT together with smart sensors could automate logistics activities in transport and warehousing (112).

7. Implementation barriers

The barriers and risks associated with the implementation and adoption of Logistics 4.0 can be classified into four groups: technical and technological, financial, legal and regulatory, and social (44). In the following subsections, every barrier will be explained in detail.

Technical and technological barriers:

The current lack of technologies in most SCs complicates the adoption of new machines into operations in the context of a 4.0 revolution (122). This has generated a low level of technification

Table III. Application of digital technologies in logistics

Author	Technology	Field	Results
(105)	IoT and Big data	Transport	<ul style="list-style-type: none"> • Analysis of real-time traffic status • Increasing the efficiency of logistics management
(106)	Data mining	Transport	<ul style="list-style-type: none"> • Optimizing the location and service area of dry ports in a large-scale transportation system
(107)	IoT and cloud computing	Transport	<ul style="list-style-type: none"> • Improving delivery planning and scheduling of perishable food (which requires different temperatures) in e-commerce
(108)	IoT, BLE (Bluetooth Low Energy), cloud service, and mobile applications	Indoor parking systems	<ul style="list-style-type: none"> • Enabling indoor parking vehicle tracking in a practicable, scalable, and cost-effective way • Reducing the vehicle searching time and regularizing parking behavior, logistics delay, and congestion in the parking floor
(109)	IoT	Reverse logistics	<ul style="list-style-type: none"> • Capturing real-time information of product returns • Maximizing the life cycle of products • Maximizing the flow of materials of the returned product at the plant location
(110)	Augmented reality (AR) and WSM	Warehousing	<ul style="list-style-type: none"> • Upgrading the work experience within the warehouse • Decreasing the learning curve for new employees • Enhancing the flexibility and smartness of logistics processes
(111)	Collaboration	Transport	<ul style="list-style-type: none"> • Increasing port efficiency and reducing energy-utilization costs • Increasing environmental efficiency throughout SCs • Helping terminal operators to extend their service
(112)	IoT	Urban logistics	<ul style="list-style-type: none"> • Reducing the use of fossil fuels, pollution, noise, traffic congestion, human errors, and accidents • Speeding up the handling of orders • Enhancing control and real-time knowledge of the delivery status of orders
(113)	Autonomous vehicles	Transport	<ul style="list-style-type: none"> • Enhancing capacity utilization via truck sharing • Reducing fuel costs • Increasing overall efficiency
(114)	RFID and Big Data	Maritime logistics	<ul style="list-style-type: none"> • Contributing to the sustainability of sea transport real-time monitoring to prevent pollution and protect the environment • Improving the transparency and security of international intermodal traffic • Reducing waiting times and costs, as well as optimizing process flow • Identifying the legal or illegal opening of containers
(115)	Blockchain	Supply chain	<ul style="list-style-type: none"> • Improving the milk quality, animal welfare, and milk safety • Decreasing food fraud, increasing rural development, ensuring coordination between stakeholders, and reducing waste and loss of food
(116)	Information Technologies (IT)	Urban logistics	<ul style="list-style-type: none"> • Improving mobility patterns • Influencing the structure and number of resources in mobility
(117)	Blockchain	Logistics	<ul style="list-style-type: none"> • Providing security to customers' personal information in logistics models • Increasing the traceability of logistics information
(118)	Blockchain (smart contracts)	Urban logistics	<ul style="list-style-type: none"> • Enabling data to evaluate customer satisfaction • Providing transparency • Ensuring the authenticity of information and improving decision making
(120)	IoT and smart sensors	Agri-food supply chain	<ul style="list-style-type: none"> • Reducing the gap between demand and supply • Improving quality and food safety • Improving sustainability in SCs

and innovation in SCs (33, 123), and a slow adoption of automation systems by stakeholders, which constitutes a disadvantage for companies in the market.

On the other hand, the implementation of Logistics 4.0 technologies such as blockchain requires enormous computing power and high-bandwidth internet connections (124), which are

not available in all geographies and companies. In order to solve these problems, companies must create an agenda for the deployment of new technologies, which must include the following steps: identifying the technology that could benefit the SC, developing a digital technology roadmap for the SC, and updating information systems (125). Additionally, the wide availability of data and information sharing in networks increase the vulnerability of information systems to cybernetic attacks (44). This fact hinders the consolidation of trust and transparency in relationships between logistics partners and SC stakeholders (40).

Financial barriers:

The main barriers of Logistics 4.0 implementation are related to its high investment costs, which cannot be assumed by all companies (4,36,41). Some companies have difficulties to access funding and technological investments, and they do not have the required initial capital (122). Moreover, when companies have enough resources to buy new technologies, the long playback period is an aspect that limits the investment in the field. To reduce the financial risks of Logistics 4.0 implementation, it is a priority to perform a detailed analysis of the investment methods and select the one that best suits the company's economic situation (44).

Legal barriers:

The lack of standardization and the creation of public policies to regulate emerging technologies is a challenge that governments will have to overcome (73) by creating standards that enable interconnectivity between companies at national and international levels (67). Although there are still gaps in the field of regulations, some standards have been created to guide the adoption of some technologies.

Social barriers:

There are two main social barriers in the adoption of Logistics 4.0: job losses and the little qualified logistics personnel. Although Logistics 4.0 can put many mechanized jobs at risk, it offers the possibility to place the workforce in a position that requires greater cognitive skills and involves tasks that cannot be performed by machines. It is estimated that the implementation of Logistics 4.0 will expand the duties of logistics operators, with the inclusion of new multifunctional and more cognitive tasks for which people must possess analytical, entrepreneurial, and managerial skills (67), as well as assertive communication, knowledge of the use of information technologies and automation, and team management, among others (1). On the other hand, the implementation of the Industry 4.0 could help operators to execute their activities, reducing their workload, simplifying cognitive activities, and increasing the knowledge of systems (126).

In the implementation of digitalization and RPA in logistics, some companies have overestimated the gains of the technologies and did not invest in the necessary organization

and human skills development (125). Nevertheless, there are three vectors of development in Logistics 4.0 which require human work: innovation, Information and Communication Technologies (ICTs), and the knowledge paradigm (32). In the innovation axis, human resources and organizational culture stand out as the drivers of logistics value creation in companies (43), as well as of the knowledge represented by employees that are highly trained and educated in the new 4.0 technologies (12). Nevertheless, there is a skills gap between young and older workers, which can only be reduced through continuous training and coaching. Therefore, the implementation of Logistics 4.0 requires the existence of educational processes in line with the new needs (12). These educational programs must ensure that humans can be creative decision-makers who can interact and collaborate continuously with cyber-physical systems in decision support (5,14). There must be a focus on the core competencies of employees in Logistics 4.0: ICT knowledge, critical and innovative thinking, and self-learning (6).

Moreover, the slow adoption of new automation systems, the low level of SC technification (33,123), the existence of legal gaps, the lack of congruence between development plans, insecurity problems, and the low percentage of technological innovation (41) may represent barriers to the implementation of Logistics 4.0 in many countries (127). Given the above, it is important to highlight that a fragmented implementation of the principles of Logistics 4.0 will not allow industries to create competitive advantages, but rather to increase the technical gaps in their sectors (128).

8. Challenges of Logistics 4.0

Logistics 4.0 promises to drive the creation of competitive advantages in global markets in the following years. This will eventually require the integrated collaboration between academia, governments, and companies. On one side, in the academic field, there is a huge gap in the research of Logistics 4.0 between developed and developing countries. Therefore, it is necessary to expand research towards the potential of Logistics 4.0 technologies in developing countries, as well as towards the barriers present in each context. To this effect, it is essential to apply maturity models in Logistics 4.0, thus allowing researchers to know the degree of the application of these types of technologies and their principles in the productive sectors of their countries.

Developing countries have greater barriers in the adoption of Logistics 4.0 due to the low technification of their SCs. For example, in the Colombian case, it was found that 69,3% of the companies in the country know at least one technological tool related to logistics, but 64,4% of the companies do not use any (129). For that reason, it is a priority to provide help and advice to small and medium-sized companies that often have difficulties in adopting new technologies and adjusting their processes (61). These programs should be promoted from public institutions.

On the other hand, Logistics 4.0 has been mainly implemented in the manufacturing sector, but it could be implemented in agro-industrial activities, providing great benefits to food supply chains (FSCs). With the implementation of technologies such as blockchain and smart sensors, it

is possible to enhance traceability systems that allow for the tracking and control of food (20,130–132).

9. Conclusions

Logistics 4.0 is a field of research that arouses growing interest due to its implications at the economic and social levels. Mainly in its role as a consolidator of flexible, sustainable, and collaborative supply chains that improve response times, coverage, and the level of service of logistics systems. However, there is still no common framework to serve as a guide for its characterization and study, and some researchers and companies confuse its implementation with the use of digital technologies, leaving aside its other attributes.

Additionally, although it is evident that the implementation of 4.0 technologies in logistics systems can generate great benefits in the performance of supply chains, only some companies around the world have adopted these technologies in their operations. This could be due to the lack of common research frameworks in the field of Logistics 4.0, as well as to the lack of state proposals aimed at its use. This situation is even worse in developing countries, where companies face great barriers to access to technology and education, which affects the creation of competitive advantages for industries, supply chains, and countries. Therefore, the contribution of governments, academia, and industries becomes necessary in the implementation and adoption of Logistics 4.0.

10. Author contributions

All authors contributed equally to the research.

References

- [1] B. Riquelme, "La logística 4.0," *Rev. Mar.*, vol. 964, no. 0034–8511, pp. 39–44, 2018. <https://revistamarina.cl/revistas/2018/3/briquelmeo.pdf> ↑2, 7, 12, 15
- [2] K. Krowas and R. Riedel, "Planning guideline and maturity model," in *IFIP International Federation for Information Processing 2019*, 2019, vol. 2, pp. 331–338. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29996-5_38 ↑2, 7
- [3] K. Werner-Lewandowska and M. Kosacka-Olejnik, "Logistics 4.0 maturity in service industry: Empirical research results," *Procedia Manuf.*, vol. 38, no. 2019, pp. 1058–1065, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.192> ↑2, 3, 10
- [4] S. Winkelhaus and E. H. Grosse, "Logistics 4.0: A systematic review towards a new logistics system," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 1, pp. 18–43, 2020. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1612964> ↑2, 3, 7, 10, 15

- [5] N. Schmidtke, F. Behrendt, L. Thater, and S. Meixner, "Technical potentials and challenges within internal Logistics 4.0," *Proc. - GOL 2018 4th IEEE Int. Conf. Logist. Oper. Manag.*, 2018, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1109/GOL.2018.8378072> ↑2, 3, 7, 16
- [6] M. Wrobel-lachowska and Z. Wisniewski, "The role of the lifelong learning in Logistics 4.0" in *Int. Conf. App. Human Factor Ergon.*, 2017, art. 402409. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60018-5_39 ↑2, 8, 16
- [7] C. K. M. Lee, Y. Lv, K. K. H. Ng, W. Ho, and K. L. Choy, "Design and application of internet of things-based warehouse management system for smart logistics," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 56, no. 8, pp. 2753-2768, 2018. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1394592> ↑3
- [8] C. Cimini et al., "Exploring human factors in Logistics 4.0: Empirical evidence from a case study," *IFAC Pap.*, vol. 52, no. 13, pp. 2183- 2188, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.529> ↑3, 7
- [9] W. Torbacki and K. Kijewska, "Identifying key performance indicators to be used in logistics 4.0 and industry 4.0 for the needs of sustainable municipal logistics by means of the DEMATEL method," *Transp. Res. Procedia*, vol. 39, no. 2018, pp. 534-543, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.055> ↑3
- [10] A. Lagorio, G. Zenezini, G. Mangano, and R. Pinto, "A systematic literature review of innovative technologies adopted in logistics management," *Int. J. Logist. Res. Appl.*, vol. 25, no. 7 pp. 1043-1066, 2020. <https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1850661> ↑3
- [11] J. A. Orjuela Castro, "Incidencia del diseño de la cadena de suministro alimentaria en el equilibrio de flujos logísticos," PhD dissertation, *Dep. Sis. and Ind. Sys.*, Universidad Nacional de Colombia, Bogota, Colombia, 2018. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/68779> ↑3
- [12] M. Kostrzewski, M. Kosacka-Olejnik, and K. Werner-Lewandowska, "Assessment of innovativeness level for chosen solutions related to Logistics 4.0," *Procedia Manuf.*, vol. 38, no. 2019, pp. 621-628, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.080> ↑3, 8, 16
- [13] E. Hofmann and M. Rüsck, "Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics," *Comput. Ind.*, vol. 89, pp. 23-34, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002> ↑3, 5
- [14] L. Barreto, A. Amaral, and T. Pereira, "Industry 4.0 implications in logistics: an overview," *Procedia Manuf.*, vol. 13, pp. 1245-1252, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045> ↑3, 5, 7, 8, 16
- [15] S. Winkelhaus and E. H. Grosse, "Work characteristics in logistics 4.0: Conceptualization of a qualitative assessment in order picking," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 53, no. 2, pp. 10609-10614, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2816> ↑3
- [16] Z. Gerhátová, V. Zitrický, and V. Klapita, "Industry 4.0 implementation options in railway transport," *Transp. Res. Procedia*, vol. 53, pp. 23-30, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.003> ↑3

- [17] L. S. Angreani, A. Vijaya, and H. Wicaksono, "Systematic literature review of industry 4.0 maturity model for manufacturing and logistics sectors," *Procedia Manuf.*, vol. 52,, pp. 337-343, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.11.056> ↑3
- [18] C. S. Tang and L. P. Veelenturf, "The strategic role of logistics in the industry 4.0 era," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 129, pp. 1-11, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.06.004> ↑3
- [19] B. Kitchenham, "Procedures for performing systematic reviews," 2004. [Online]. Available: <https://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/kitchenham.pdf> ↑3
- [20] D. L. Rincón, J. E. Fonseca-Ramírez, and J. A. Orjuela-Castro, "Towards a common reference framework for traceability in the food supply chain," *Revista Ing.*, vol. 22, no. 2, pp. 161-189, May. 2017. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2017.2.a01> ↑4, 17
- [21] European Commission, "Horizon 2020 - The framework programme for research and innovation," 2011. [Online]. Available: <https://wayback.archive-it.org/12090/20220124080448/https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020> ↑4
- [22] A. Schumacher, S. Erol, and W. Sihn, "A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises," in *Procedia CIRP*, 2016, vol. 52, pp. 161-166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040> ↑5
- [23] J. Mangan and C. Lalwani, *Global logistics and supply chain management*, 3th ed., Cornwall, United Kingdom: Wiley, 2016. ↑5, 13
- [24] K. Govindan, R. Khodaverdi, and A. Vafadarnikjoo, "Intuitionistic fuzzy based DEMATEL method for developing green practices and performances in a green supply chain," *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 20, pp. 7207-7220, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.04.030> ↑5
- [25] R. H. Ballou, *Business logistics: Supply chain management*, 5th ed., Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Education, 2004. ↑6
- [26] R. H. Ballou, "The evolution and future of logistics and supply chain management," *Eur. Bus. Rev.*, vol. 19, no. 4, pp. 332-348, 2007. ↑6
- [27] V. Yavas and Y. D. Ozkan-Ozen, "Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 135, Mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101864> ↑6, 7, 10
- [28] M. Amr, M. Ezzat, and S. Kassem, "Logistics 4.0: Definition and historical background," *NILES 2019 - Nov. Intell. Lead. Emerg. Sci. Conf.*, 2019, pp. 46-49. <https://doi.org/10.1109/NILES.2019.8909314> ↑6, 7, 10
- [29] A. Beham et al., "Performance, quality, and control in steel logistics," *Procedia Manuf.*, vol. 42, pp. 429-433, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.053> ↑6
- [30] S. Bag, G. Yadav, L. C. Wood, P. Dhamija, and S. Joshi, "Industry 4.0 and the circular economy: Resource melioration in logistics," *Resour. Policy*, vol. 68,, Oct. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101776> ↑6

- [31] C. Jahn, W. Kersten, and C. M. R. "Logistics 4.0 and sustainable supply chain management innovative solutions for logistics and sustainable supply chain management in the context of industry 4.0," in *Hamburg Int. Conf. of Log.*, no. 26, 2018. <https://doi.org/10.15480/882.1781> ↑6
- [32] T. E. Evtodieva, D. V Chernova, N. V Ivanova, and N. S. Kisteneva, "Logistics 4.0," *Sustain. Growth Dev. Econ. Syst.*, pp. 207-219, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11754-2_16 ↑6, 16
- [33] J. Oleskow-szlapka and A. Stachowiak, "The framework of Logistics 4.0 maturity model," in *Intelligent Sys. in Prod. Eng. and Maint.*, 2019, pp. 771-781. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97490-3_73 ↑6, 7, 11, 14, 16
- [34] J. P. G. Bernal, C. E. M. Mantilla, and J. A. O. Castro, "Sustainable supply chain: Concepts, models and trends," *Ingeniería*, vol. 25, no. 3, pp. 355-377, 2020. <https://doi.org/10.14483/23448393.16926> ↑7
- [35] J. Ola et al., "Logistics 4.0 and emerging sustainable business models," *Adv. Manuf.*, vol. 5, no. 4, pp. 359-369, 2017. <https://doi.org/10.1007/s40436-017-0198-1> ↑7, 10, 11
- [36] F. Facchini, J. Olésków-Szlapka, L. Ranieri, and A. Urbinati, "A maturity model for logistics 4.0: An empirical analysis and a roadmap for future research," *Sustain.*, vol. 12, no. 1, pp. 1-18, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12010086> ↑7, 9, 11, 15
- [37] D. Pérez-Mira, "Ancho ferroviario y logística 4.0 en el Corredor Mediterráneo," *Oikonomics*, no. 9, pp. 94-102, 2018. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6813747> ↑7, 10, 11
- [38] F. Czaja, "Auswirkungen von Logistik 4.0 auf Mittelstand und Handwerk," 2016. [Online]. Available: <https://docplayer.org/30486470-Auswirkungen-von-logistik-4-0-auf-mittelstand-und-handwerk.html> ↑7, 11
- [39] A. F. Ruiz, A. L. Caicedo, and J. A. Orjuela, "External integration on agri-food supply chain: A review to the state of the art," *Ingeniería*, vol. 20, no. 2, pp. 167-188, 2015. <https://doi.org/10.14483/23448393.8278> ↑7
- [40] J. Oleśków-Szlapka, H. Wojciechowski, R. Domański, and G. Pawłowski, "Logistics 4.0 maturity levels assessed based on GDM (Grey Decision Model) and artificial intelligence in Logistics 4.0 – Trends and future perspective," *Procedia Manuf.*, vol. 39, no. 2019, pp. 1734-1742, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.266> ↑7, 15
- [41] E. Huartos, "Logística 4.0: importancia en el proceso logístico de distribución de última milla," 2019. [Online]. Available: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/31727/HuartosCarranzaEderAndres2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=As%C3%AD%20mismo%2C%201a%20log%C3%ADstica%204.0,empresas%20de%20transporte%2C%20haciendo%20una> ↑7, 15, 16
- [42] B. Kucukaltan, O. Y. Saatcioglu, Z. Irani, and O. Tuna, "Gaining strategic insights into Logistics 4.0: Expectations and impacts," *Prod. Plan. Control*, vol. 33, no. 2-3, pp. 211-227, 2020. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1810760> ↑7, 11

- [43] K. Witkowski, "Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative solutions in logistics and supply chains management," *Procedia Eng.*, vol. 182, pp. 763-769, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.197> ↑7, 16
- [44] O. Kodym, L. Kubáč, and L. Kavka, "Risks associated with Logistics 4.0 and their minimization using Blockchain," *Open Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 74-85, 2020. <https://doi.org/10.1515/eng-2020-0017> ↑7, 8, 9, 10, 11, 13, 15
- [45] E. G. Popkova and B. S. Sergi, "A digital economy to develop policy related to transport and logistics. Predictive lessons from Russia," *Land Use Policy*, vol. 99, no. 105083, May 2020. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105083> ↑7
- [46] K. Buntak, M. Kovačić, and M. Mutavdžija, "Internet of things and smart warehouses as the future of logistics," vol. 6168, pp. 248-253, 2019. <https://doi.org/10.31803/tg-20190215200430> ↑8, 11
- [47] A. J. C. Trappey, C. V. Trappey, C. Y. Fan, A. P. T. Hsu, X. K. Li, and I. J. Y. Lee, "IoT patent roadmap for smart logistic service provision in the context of Industry 4.0," *J. Chinese Inst. Eng. Trans. Chinese Inst. Eng. A*, vol. 40, no. 7, pp. 593-602, 2017. <https://doi.org/10.1080/02533839.2017.1362325> ↑8
- [48] A. Rey, E. Panetti, R. Maglio, and M. Ferretti, "Determinants in adopting the Internet of Things in the transport and logistics industry," *J. Bus. Res.*, vol. 131, pp. 584-590, Jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.12.049> ↑8
- [49] K. Chaudhary, M. Singh, S. Tarar, D. K. Chauhan, and V. M. Srivastava, *Machine learning based adaptive framework for logistic planning in industry 4.0*, vol. 905, Singapore: Springer, 2018. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1810-8_43 ↑8
- [50] S. W. H. Rizvi, S. Agrawal, and Q. Murtaza, "Circular economy under the impact of IT tools: A content-based review," *Int. J. Sustain. Eng.*, vol. 14, no. 2, pp. 87-97, 2021. <https://doi.org/10.1080/19397038.2020.1773567> ↑8
- [51] K. Govindan, T. C. E. Cheng, N. Mishra, and N. Shukla, "Big data analytics and application for logistics and supply chain management," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 114, pp. 343-349, May 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.03.011> ↑8
- [52] D. Malhotra et al., "Big data analytics for physical internet-based intelligent manufacturing shop floors," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 34, no. 6, pp. 2610-2621, 2019. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1086037> ↑8
- [53] R. Addo-Tenkorang and P. T. Helo, "Big data applications in operations/supply-chain management: A literature review," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 101, pp. 528-543, Nov. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.09.023> ↑8
- [54] S. Maheshwari, P. Gautam, and C. K. Jaggi, "Role of big data analytics in supply chain management: Current trends and future perspectives," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 59, no. 6, pp. 1875-1900, 2021. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1793011> ↑8
- [55] R. D. Raut, S. K. Mangla, V. S. Narwane, M. Dora, and M. Liu, "Big Data Analytics as a mediator in Lean, Agile, Resilient, and Green (LARG) practices effects on sustainable supply chains," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 145, art. 102170, Jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102170> ↑8

- [56] S. H. Chung, H. L. Ma, M. Hansen, and T. M. Choi, "Data science and analytics in aviation," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 134, art. 101837, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101837> ↑8
- [57] P. Zhao, X. Liu, W. Shi, T. Jia, W. Li, and M. Chen, "An empirical study on the intra-urban goods movement patterns using logistics big data," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 34, no. 6, pp. 1089-1116, 2020. <https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1520236> ↑8
- [58] K. Gupta, S. K. Sadana, and B. Gupta, "Geospatial data preprocessing and visualization for the logistics industry," *J. Discret. Math. Sci. Cryptogr.*, vol. 23, no. 1, pp. 57-64, 2020. <https://doi.org/10.1080/09720529.2020.1721859> ↑8
- [59] K. Lamba and S. P. Singh, "Big data in operations and supply chain management: Current trends and future perspectives," *Prod. Plan. Control*, vol. 28, no. 11-12, pp. 877-890, 2017. <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1336787> ↑8
- [60] S. N. and D. M. M. Maslaric, "Logistics response to the Industry 4.0 : The Physical Internet," *Open Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 511-517, Jan. 2016. <https://doi.org/10.1515/eng-2016-0073> ↑8
- [61] E. Manavalan and K. Jayakrishna, "A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 127, pp. 925-953, Jan. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030> ↑8, 11, 16
- [62] C. Hohmann and T. Posselt, "Design challenges for CPS-based service systems in industrial production and logistics," *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 32, no. 4-5, pp. 329-339, Dec. 2018. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2018.1552795> ↑8
- [63] G. Dalmarco and A. Barros, "Adoption of Industry 4.0 technologies in supply chains," in *Innovation and Supply Chain Management*, A. Moreira, L. Ferreira, and R. Zimmermann, eds., Cham, Germany: Springer, 2018, pp. 303-319. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74304-2_14 ↑8, 11
- [64] A. Bujak, "The development of telematics in the context of the concepts of 'Industry 4.0' and 'Logistics 4.0,'" *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 897, pp. 509-524, 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97955-7_34 ↑8, 10
- [65] G. Matana, A. Simon, M. G. Filho, and A. Helleno, "Method to assess the adherence of internal logistics equipment to the concept of CPS for industry 4.0," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 228, art. 107845, Jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107845> ↑8
- [66] D. Kozma, P. Varga, and C. Hegedus, "Supply chain management and Logistics 4.0 – A study on arrowhead framework integration," in *2019 8th Int. Conf. Ind. Technol. Manag. ICITM 2019*, 2019, pp. 12-16. <https://doi.org/10.1109/ICITM.2019.8710670> ↑9, 10
- [67] A. Edirisuriya, S. Weerabahu, and R. Wickramarachchi, "Applicability of lean and green concepts in Logistics 4.0: A systematic review of literature," in *2018 Int. Conf. Prod. Oper. Manag. Soc. POMS 2018*, 2019, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1109/POMS.2018.8629443> ↑9, 15
- [68] C. Ramírez and M. Díaz, "Logística 4.0 en la gestión de inventarios de productos en cadena de frío," *Cult. Innovación Turística Una Ap. Cierr. Brechas Soc. Tecnol.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689-1699, 2013. Available: <https://indico.cern.ch/event/919037/contributions/3918262/contribution.pdf> ↑9, 10

- [69] J. Yan, M. Zhang, Z. Fu, J. Yan, M. Zhang, and Z. Fu, "An intralogistics-oriented Cyber-Physical System for workshop in the context of Industry 4.0," *Procedia Manuf.*, vol. 35, pp. 178-183, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.074> ↑9
- [70] J. Thomason, "Blockchain: An accelerator for women and children's health?," *Glob. Heal. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 3-10, 2017. [https://doi.org/10.1016/S2414-6447\(19\)30055-7](https://doi.org/10.1016/S2414-6447(19)30055-7) ↑9, 13
- [71] L. Koh, A. Dolgui, and J. Sarkis, "Blockchain in transport and logistics – Paradigms and transitions," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 7, pp. 2054-2062, 2020. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1736428> ↑9
- [72] P. Dutta, T. M. Choi, S. Somani, and R. Butala, "Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 142, art. 102067, Oct. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102067> ↑9, 13
- [73] CEPAL, "La revolución industrial 4.0 y el advenimiento de una logística 4.0," 2019. [Online]. Available: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45454/1/S2000009_es.pdf ↑9, 15
- [74] F. Casino, T. K. Dasaklis, and C. Patsakis, "A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues," *Telemat. Informatics*, vol. 36, pp. 55-81, May 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006> ↑9
- [75] E. Irannezhad, "Is blockchain a solution for logistics and freight transportation problems?," *Transp. Res. Procedia*, vol. 48, pp. 290-306, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.023> ↑9
- [76] M. Pournader, Y. Shi, S. Seuring, and S. C. L. Koh, "Blockchain applications in supply chains, transport and logistics: A systematic review of the literature," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 7, pp. 2063-2081, 2020. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1650976> ↑9, 13
- [77] R. Dubey, A. Gunasekaran, D. J. Bryde, Y. K. Dwivedi, and T. Papadopoulos, "Blockchain technology for enhancing swift-trust, collaboration and resilience within a humanitarian supply chain setting," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 11, pp. 3381-3398, 2020. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1722860> ↑9
- [78] H. Baharmand and T. Comes, "Leveraging partnerships with logistics service providers in humanitarian supply chains by blockchain-based smart contracts," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 13, pp. 12-17, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.084> ↑9
- [79] C. Madhavaiah and I. Bashir, "Defining cloud computing in business perspective: A review of research," *Metamorph. A J. Manag. Res.*, vol. 11, no. 2, pp. 50-65, Jul. 2012. <https://doi.org/10.1177/0972622520120205> ↑9
- [80] K. Wang, "Logistics 4.0 solution: New challenges and opportunities," in *6th Int. Work. Adv. Manuf. Autom.*, 2016, pp. 68-74. <https://doi.org/10.2991/iwama-16.2016.13> ↑9, 11
- [81] Y. Wang and J. Sarkis, "Emerging digitalisation technologies in freight transport and logistics: Current trends and future directions," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 148, art. 102291, Mar. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102291> ↑9

- [82] N. C.-M. E. Glistau, "Industry 4.0, Logistics 4.0 and Materials – Chances and Solutions," *Mater. Sci. Forum*, vol. 919, pp. 307-314, Apr. 2018. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.919.307> ↑10, 11
- [83] M. B. and K. G. J. Rodríguez, "Proposal of a supply chain architecture immersed in the Industry 4.0," in *Int. Conf. Inf. Technol. Syst. (ICITS 2018)*, Adv. Intell. Syst. Comput. 721, 2018, pp. 677-687. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73450-7_64 ↑10
- [84] F. B. Vernadat, "Technical, semantic and organizational issues of enterprise interoperability and networking," *Annu. Rev. Control*, vol. 34, no. 1, pp. 139-144, 2009. <https://doi.org/10.3182/20090603-3-RU-2001.0579> ↑10
- [85] S. G. and K. L. J. Rodríguez, "Impact of implementing Industry 4.0 in Colombia's supply chains," *DMBD*, vol. 6, no. 10943, pp. 704- 713, Jun. 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93803-5_66 ↑11
- [86] P. Dallasega, M. Woschank, H. Zsifkovits, K. Tippayawong, and C. A. Brown, *Requirement analysis for the design of smart logistics in SMEs*, New York, NY, USA: Springer International Publishing, Jan 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4_5 ↑11, 12
- [87] T. Lerher, "Warehousing 4.0 by using shuttle-based storage and retrieval systems warehousing," *FME Trans.*, vol. 46, pp. 381-385, Jan. 2018. <https://doi.org/10.5937/fmet1803381L> ↑11
- [88] A. Rejeb, J. G. Keogh, G. K. Leong, and H. Treiblmaier, "Potentials and challenges of augmented reality smart glasses in logistics and supply chain management: a systematic literature review," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 59, no. 12, pp. 3747-3776, Feb. 2021. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1876942> ↑11
- [89] G. Atzeni, G. Vignali, L. Tebaldi, and E. Bottani, "A bibliometric analysis on collaborative robots in Logistics 4.0 environments," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 180, no. 2019, pp. 686-695, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.291> ↑11
- [90] S. Tiwong, E. Rauch, Z. Šoltysová, and S. Ramingwong, "Industry 4.0 for managing logistic service providers lifecycle," vol. 14, pp. 2-7, Jan. 2019. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201930100014> ↑11
- [91] T. Chabot, F. Bouchard, A. Legault-Michaud, J. Renaud, and L. C. Coelho, "Service level, cost and environmental optimization of collaborative transportation," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 110, pp. 1-14, Feb. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.11.008> ↑11
- [92] D. Burgos and D. Ivanov, "Food retail supply chain resilience and the COVID-19 pandemic: A digital twin-based impact analysis and improvement directions," *Transp. Res. Part E*, vol. 152, no. 102412, Aug. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102412> ↑11
- [93] A. Stachowiak, M. Adamczak, L. Hadas, R. Domáński, and P. Cyplik, "Knowledge absorption capacity as a factor for increasing Logistics 4.0 maturity," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 24, art. 5365, 2019. <https://doi.org/10.3390/app9245365> ↑11

- [94] M. Fernández-Villacañas, "Reflexiones sobre la adaptación del sector industrial de defensa y seguridad de España a la nueva logística 4.0: la aplicación de modelos de cooperación público-privada," *Econ. Ind.*, no. 412, pp. 89-100, 2019. <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/412/FERN%C3%81NDEZ-VILLACA%C3%91AS.pdf> ↑
12
- [95] K. Bär, Z. N. L. Herbert-Hansen, and W. Khalid, "Considering Industry 4.0 aspects in the supply chain for an SME," *Prod. Eng.*, vol. 12, no. 6, pp. 747-758, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11740-018-0851-y> ↑
12
- [96] D. Cármská and J. Klecka, "Cost development in logistics due to Industry 4.0," *LogForum Sci. J. Logist.*, vol. 16, no. 2, pp. 219-227, 2020. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2020.415> ↑
12
- [97] G. Kovács, "Logistics and production processes today and tomorrow," *Acta Logist. Int. Sci. J. about Logist.*, vol. 3, no. 4, pp. 1-5, Dec. 2016. <https://doi.org/10.22306/al.v3i4.71> ↑
13
- [98] N. Szozda, "Industry 4.0 and its impact on the functioning of supply chains," *LogForum Sci. J. Logist.*, vol. 13, no. 4, pp. 401-414, Sep. 2017. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2017.4.2> ↑
13
- [99] H. Feng, X. Wang, Y. Duan, J. Zhang, and X. Zhang, "Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges," *J. Clean. Prod.*, vol. 260, art. 121031, Jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121031> ↑
13
- [100] H. Chen, Z. Chen, F. Lin, and P. Zhuang, "Effective management for blockchain-based agri-food supply chains using deep reinforcement learning," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 36008-36018, 2021. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3062410> ↑
13
- [101] W. Bauer, S. Schlund, T. Hornung, and S. Schuler, "Digitalization of industrial value chains – A review and evaluation of existing use cases of Industry 4.0 in Germany," *LogForum Sci. J. Logist.*, vol. 14, no. 3, pp. 331-340, 2018. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2018.288> ↑
13
- [102] W. Paprocki, "How transport and logistics operators can implement the solutions of Industry 4.0," in *2016 TranSopot Conf.*, 2017, pp. 185-196. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51427-7_16 ↑
13
- [103] S. Schlott, "Vehicle systems for Logistics 4.0," *ATZ Worldwide*, vol. 119, pp. 8-13, Jan. 2017. <https://doi.org/10.1007/s38311-017-0002-7> ↑
13
- [104] CPC, "Informe Nacional De Competitividad 2019-2020," 2019. [Online]. Available: <https://compite.com.co/informe/informe-nacional-de-competitividad-2019-2020/> ↑
13
- [105] Y. T. Chen, E. W. Sun, M. F. Chang, and Y. B. Lin, "Pragmatic real-time logistics management with traffic IoT infrastructure: Big data predictive analytics of freight travel time for Logistics 4.0," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 238, art. 108157, Aug. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108157> ↑
14

- [106] T. Van Nguyen, J. Zhang, L. Zhou, M. Meng, and Y. He, "A data-driven optimization of large-scale dry port location using the hybrid approach of data mining and complex network theory," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 134, no. 5, art. 101816, Nov 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.11.010> ↑14
- [107] Y. P. Tsang, C. H. Wu, H. Y. Lam, K. L. Choy, and G. T. S. Ho, "Integrating Internet of Things and multi-temperature delivery planning for perishable food E-commerce logistics: A model and application," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 59, no. 5, pp. 1534-1556, Nov 2020. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1841315> ↑14
- [108] Z. Zhao, M. Zhang, G. Xu, D. Zhang, and G. Q. Huang, "Logistics sustainability practices: An IoT-enabled smart indoor parking system for industrial hazardous chemical vehicles," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 24, pp. 7490-7506, Feb. 2020. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1720928> ↑14
- [109] S. Rajput and S. P. Singh, "Industry 4.0 model for integrated circular economy-reverse logistics network," *Int. J. Logist. Res. Appl.*, vol. 25, no. 4-5, pp. 837-877, 2022. <https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1926950> ↑14
- [110] G. Plakas, S. T. Ponis, K. Agalinos, E. Aretoulaki, and S. P. Gayalis, "Augmented reality in manufacturing and logistics: Lessons learnt from a real-life industrial application," *Procedia Manuf.*, vol. 51, pp. 1629-1635, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.227> ↑14
- [111] C. Senarak, "Shipping-collaboration model for the new generation of container port in innovation district: A case of Eastern Economic Corridor," *Asian J. Shipp. Logist.*, vol. 36, no. 2, pp. 65-77, Jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2019.11.002> ↑14
- [112] B. Machado, L. Teixeira, A. L. Ramos, and C. Pimentel, "Conceptual design of an integrated solution for urban logistics using Industry 4.0 principles," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 180, pp. 807-815, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.330> ↑13, 14
- [113] C. Fritschy and S. Spinler, "The impact of autonomous trucks on business models in the automotive and logistics industry – A Delphi-based scenario study," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 148, art. 119736, Nov. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119736> ↑14
- [114] M. Fruth and F. Teuteberg, "Digitization in maritime logistics – What is there and what is missing?," *Cogent Bus. Manag.*, vol. 4, no. 1, art. 1411066, 2017. <https://doi.org/10.1080/23311975.2017.1411066> ↑14
- [115] S. K. Mangla, Y. Kazancoglu, E. Ekinici, M. Liu, M. Özbiltekin, and M. D. Sezer, "Using system dynamics to analyze the societal impacts of blockchain technology in milk supply chainsrefer," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 149, pp. 102289, Mar. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102289> ↑14
- [116] P. Komisji, G. Przemys, P. Towarzystwa, G. Studies, I. G. Commission, and P. G. Society, "The influence of new information technologies in supply chains logistics on mobility in urban areas," vol. 31, no. 2, pp. 84-94, Jul. 2017. <https://doi.org/10.24917/20801653.312> ↑14

- [117] H. Yi, "A secure logistics model based on blockchain," *Enterp. Inf. Syst.*, vol. 15, no. 7, pp. 1002-1018, 2021. <https://doi.org/10.1080/17517575.2019.1696988> ↑14
- [118] Z. Tian, R. Y. Zhong, A. Vatankhah Barenji, Y. T. Wang, Z. Li, and Y. Rong, "A blockchain-based evaluation approach for customer delivery satisfaction in sustainable urban logistics," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 59, no. 7, pp. 2229-2249, 2021. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1809733> ↑14
- [119] O. Rodríguez-Espíndola, S. Chowdhury, A. Beltagui, and P. Albores, "The potential of emergent disruptive technologies for humanitarian supply chains: The integration of blockchain, artificial intelligence and 3D printing," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 15, pp. 4610-4630, May 2020. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1761565> ↑
- [120] S. Saetta and V. Caldarelli, "How to increase the sustainability of the agri-food supply chain through innovations in 4.0 perspective: A first case study analysis," in *Procedia Manufacturing*, vol. 42, pp. 333-336, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.083> ↑14
- [121] C. Liu, Y. Feng, D. Lin, L. Wu, and M. Guo, "Iot based laundry services: an application of big data analytics, intelligent logistics management, and machine learning techniques," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 17, pp. 5113-5131, 2020. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1677961> ↑13
- [122] M. Abdirad and K. Krishnan, "Industry 4.0 in logistics and supply chain management: A systematic literature review," *EMJ - Eng. Manag. J.*, vol. 33, no. 3, pp. 187-201, 2020. <https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1783935> ↑13, 15
- [123] J. A. O. Castro, "Desarrollo cadenas logísticas cortas alimentarias para Bogotá región, una propuesta más allá de la coyuntura del COVID-19," unpublished. ↑14, 16
- [124] I. Masudin, E. Lau, N. T. Safitri, D. P. Restuputri, and D. I. Handayani, "The impact of the traceability of the information systems on humanitarian logistics performance: Case study of Indonesian relief logistics services," *Cogent Bus. Manag.*, vol. 8, no. 1, 2021. <https://doi.org/10.1080/23311975.2021.1906052> ↑14
- [125] L. Viale and D. Zouari, "Impact of digitalization on procurement: The case of robotic process automation," *Supply Chain Forum*, vol. 21, no. 3, pp. 185-195, 2020. <https://doi.org/10.1080/16258312.2020.1776089> ↑15, 16
- [126] F. Sgarbossa, E. H. Grosse, W. P. Neumann, D. Battini, and C. H. Glock, "Human factors in production and logistics systems of the future," *Annu. Rev. Control*, vol. 49, pp. 295-305, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2020.04.007> ↑15
- [127] N. Morales and J. Poveda, "Efectos generados por la Revolución Logística 4.0, en la cadena de suministros del sector textil-confecciones en Medellín Colombia," Nov. 2019. [Online]. Available: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/16075/1/2019-Efectos_Revolucion_Logistica.pdf ↑16
- [128] T. S. and L. G.-B. I. Matyushenko, S. Berenda, "Logistics and transport in industry 4.0: Perspective for Ukraine," *SHS Web Conf.*, vol. 67, no. 3008, pp. 10-13, Oct. 2019. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196703008> ↑16

-
- [129] Departamento Nacional de Planeación, "Encuesta nacional logística," 2018. [Online]. Available: <https://plc.mintransporte.gov.co/Publicaciones/Encuesta-Nacional-Log%C3%ADstica> ↑16
- [130] M. M. Herrera and J. Orjuela-Castro, "An appraisal of traceability systems for food supply chains in Colombia," *Int. J. Food Syst. Dyn.*, vol. 12, no. 1, pp. 37-50, 2021. <https://doi.org/10.18461/ijfsd.v12i1.74> ↑17
- [131] M. M. Herrera and J. A. Orjuela Castro, "Perspectiva de trazabilidad en la cadena de suministros de frutas: un enfoque desde la dinámica de sistemas," *Ingeniería*, vol. 19, no. 2, pp. 63-84, 2014. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2014.2.a03> ↑17
- [132] H. R. Milton M, B. F. Mauricio, R. Q. Olga R, and O. C. Javier A, "Using system dynamics and fuzzy logic to assess the implementation Rfid technology," in *32st Int. Conf. Syst. Dyn. Soc.*, 2014. [Online]. Available: <https://proceedings.systemdynamics.org/2014/proceed/papers/P1282.pdf> ↑17
-

Camila Patricia Malagón-Suárez

Industrial Engineering graduate at Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia; member of the GICALyT research group (Research group on supply chains, logistics, and traceability, or *Grupo de Investigación en cadenas de abastecimiento, logística y trazabilidad*).

Email: cpmalagons@correo.udistrital.edu.co

Javier Arturo Orjuela-Castro

PhD in Engineering from Universidad Nacional de Colombia; Master in Operations Research and Statistics from Universidad Tecnológica de Pereira; industrial engineer, food engineer, teacher and researcher on Logistics and Supply Chains at Universidad Distrital Francisco José de Caldas; director of the GICALyT research group (Research group on supply chains, logistics, and traceability, or *Grupo de Investigación en cadenas de abastecimiento, logística y trazabilidad*).

Email: jorjuela@udistrital.edu.co





Research

Methodologies and Applications of Sectoral Diagnosis: A Literature Review

Metodologías y aplicaciones de diagnósticos sectoriales: una revisión de la literatura

Eduyn López-Santana¹  *, Germán Méndez-Giraldo¹ , Harol Andrey Ávila Choconta¹ , Carlos Franco² , and Feizar Rueda-Velasco¹ 

¹Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá, Colombia).

²Universidad del Rosario - Escuela de Administración (Bogotá, Colombia).

Abstract

Context: Within the framework of the development of sectoral diagnoses in the Colombian and Latin American context, the need arises to compare which methodological aspects have been relevant in different studies, both specific and general, in order to perform diagnoses in different sectors of the economy. As a basis for comparison, the methodology proposed by the ARCOSES group of Universidad Distrital is used, and a search for related literature is carried out, mainly in the Latin American context.

Method: This literature review was performed with the following keywords: *sector diagnostics, sector analysis, economic sector diagnostic, sectorial assessment*. The databases consulted were Dialnet, Iseek, ScienceResearch, Lareferencia, Scielo, Redib, BASE, Springer Link, Scopus, and Science Direct. Documents that applied a sectoral diagnosis or investigated methodological aspects were selected. Later, an analysis of each work was carried out, comparing it with the variables proposed by the ARCOSES group.

Results: No significant differences were found between national and international methodologies; many works started from data and information collection, to later perform descriptive statistics. In others, more specific tools and methods were implemented, depending on that to be evaluated in the sector. Some diagnoses had theoretical and conceptual frameworks, in addition to hypotheses, which would be accepted based on inferential statistics. It is worth highlighting the future importance of this subject, due to the several issues associated with many economic sectors regarding environmental, social, and political factors.

Conclusions: There is great difficulty in designing a general use methodology. Therefore, starting from previous methodologies is recommended, as well as carrying out relevant modifications according to the studied sector. In addition, the importance of data and information collection phase for a sector is highlighted, since it can pose many challenges, increasing the time it takes to carry out diagnoses. From academia, future research can be oriented towards the design of methodologies that allow efficiently finding data and information that are useful for the economic growth of a sector.

Acknowledgements: To the Center for Research and Scientific Development of Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia) for their support via project No. 2-15-599-19.

Keywords: sectoral diagnosis, sector analysis, literature review

Article history

Received:
14nd / Apr / 2021

Modified:
25th / Apr / 2022


Accepted:
17th / Jun / 2022

Ing., vol. 28,
no. suppl, 2023.
e17872

©The authors;
reproduction
right holder
Universidad
Distrital
Francisco José de
Caldas.

Open access



*  Correspondence: erlopezs@udistrital.edu.co

Resumen

Contexto: En el marco del desarrollo de diagnósticos sectoriales en el ámbito colombiano y latinoamericano, se plantea la necesidad de comparar qué aspectos metodológicos han sido relevantes en distintos estudios, tanto específicos como generales, para realizar diagnósticos a diferentes sectores de la economía. Como base de comparación se emplea la metodología propuesta por el grupo ARCOSES de la Universidad Distrital, y se realiza una búsqueda de literatura relacionada principalmente en el ámbito latinoamericano.

Método: Esta revisión de la literatura se realizó con base en las siguientes palabras clave: *diagnóstico sectorial, análisis sectorial, caracterización sectorial y análisis de sector*. Las bases de datos consultadas fueron Dialnet, Iseek, ScienceReseach, Lareferencia, Scielo, Redib, BASE, Springer Link, Scopus y Science Direct. Se seleccionaron los documentos que aplicaron un diagnóstico sectorial o indagaron sobre aspectos metodológicos. Posteriormente, se realizó un análisis de cada trabajo, comparándolo con las variables propuestas por el grupo ARCOSES.

Resultados: No se encontraron diferencias significativas entre las metodologías; muchos trabajos partían de la recolección de datos e información para después realizar estadística descriptiva. En otros, se aplicaban métodos y herramientas más específicos, dependiendo de lo que se quisiera evaluar en el sector. Algunos de los diagnósticos sectoriales contaban con marcos teóricos y conceptuales, además de planteamientos de hipótesis, que se aceptarían con base en la estadística inferencial. Se destaca la importancia de esta temática en el futuro, debido a las distintas problemáticas asociadas a varios sectores económicos con respecto a factores ambientales, sociales y políticos.

Conclusiones: Hay gran dificultad en el diseño de una metodología de uso general. Por lo tanto, es recomendable partir de metodologías previas y realizar modificaciones pertinentes dependiendo del sector de estudio. Se resalta la importancia de la fase de recolección de datos e información sobre un sector, ya que puede involucrar una gran cantidad de retos, incrementando los tiempos de elaboración de los diagnósticos sectoriales. Desde la academia, la investigación futura puede estar orientada al diseño de metodologías particulares que permitan encontrar, de manera eficiente, datos e información que sean de utilidad para el crecimiento económico de un sector.

Agradecimientos: Al Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia) por el apoyo bajo el proyecto No. 2-15-599-19.

Palabras clave: diagnóstico sectorial, análisis sectorial, revisión de la literatura

Tabla de contenidos

	Página		
1. Introducción	3	4. Resultados de la revisión de la literatura	8
2. Metodologías y herramientas de diagnóstico sectorial	4	5. Variables empleadas en los diagnósticos sectoriales	13
3. Metodología	7	6. Conclusiones	27
		7. Contribución de autores	28
		Referencias	28

1. Introducción

En el marco de una situación económica inestable, de la evaluación de oportunidades y limitantes o del interés sobre el comportamiento de una variable en específico de un sector económico, la importancia de los diagnósticos sectoriales aumenta en el ámbito académico. Los diagnósticos tienen como función el análisis para determinar la situación actual y la identificación de tendencias (1) no obstante se observa que en la literatura revisada el diseño de una metodología de diagnóstico sectorial es escaso. Adicionalmente, el alcance de los diagnósticos sectoriales puede encontrarse sin delimitar claramente, con resultados innecesariamente extensos o poco abarcadores e incompletos (2).

Los diagnósticos sectoriales son de ayuda para tener un mejor entendimiento de la naturaleza y los recursos de los problemas de gobernanza y las restricciones de capacidad (3). Se emplean para desarrollar estrategias que sirvan de directriz en el proceso de mejora continua, por ejemplo, en los informes de diagnóstico del sector privado de Nepal y del sector minero colombiano del World Bank Group. El propósito es evaluar las oportunidades y restricciones de la competitividad y el crecimiento por medio del análisis de datos y la síntesis de investigaciones existentes (3,4), así como evaluar leyes, políticas, regulaciones, fortalezas y debilidades del sector de estudio.

Es importante destacar el conocimiento de la estructura y la dinámica de las interrelaciones e interacciones económicas, sociales y ambientales para anticipar el comportamiento del sector, que en gran cantidad de diagnósticos sectoriales no se emplea y por esta razón se proponen metodologías de estudio que ayuden a mejorar la generación de estrategias para el aumento de la productividad y la competitividad (5), incluso se han realizado, de manera parcial, diagnósticos a partes en específico de un sector, como en el caso del sector de medicamentos al evaluar la cadena de valor, describiendo los operadores logísticos (3). Es evidente la importancia que tienen los diagnósticos sectoriales, ya que son una herramienta de apoyo para la toma de decisiones, las políticas y el diseño de estrategias a nivel sectorial de un país, que en un ambiente complejo se pueden convertir en arduas tareas, debido a la incapacidad de percibir y entender la estructura y los cambios que se llevan a cabo tanto a nivel intrasectorial como intersectorial.

Como base de análisis, el grupo ARCOSES en (1) desarrolló en 2015 una metodología de diagnóstico sectorial aplicada al sector electro-electrónico identificando un conjunto de 10 variables globales para caracterizar este sector. El objetivo de la presente revisión de la literatura es brindar información sobre los diagnósticos sectoriales aplicados en Colombia y compararlos con la metodología desarrollada, y diferentes países, para así poder encontrar qué variables debería manejar un diagnóstico sectorial, las diferencias entre los diagnósticos aplicados a nivel nacional e internacional, qué metodologías han sido diseñadas o empleadas de acuerdo a la revisión de la literatura y la importancia a nivel económico y social de esta herramienta.

Por consiguiente, el presente artículo se organiza en cinco secciones. La primera sección describe la metodología y las herramientas de diagnóstico sectorial, y presenta la metodología

propuesta por el grupo ARCOSES. La segunda sección muestra la documentación consultada por año, por sectores aplicados y por tipos de documentos. En la tercera sección se menciona las metodologías encontradas y las principales herramientas que son usadas para la elaboración de diagnósticos sectoriales. La cuarta sección consiste en la comparación de la metodología del grupo ARCOSES con la de los distintos diagnósticos consultados, cotejando las variables de primer y segundo nivel, para posteriormente mencionar otros aspectos y dimensiones que se han empleado. Finalmente se presentarán las conclusiones sobre los principales hallazgos encontrados a lo largo de la revisión de la literatura y algunas líneas de investigación para trabajos futuros.

2. Metodologías y herramientas de diagnóstico sectorial

El diagnóstico se considera como una herramienta de construcción de conocimiento de la realidad de determinado sistema, lo que permite evaluar el desempeño, diseñar estrategias y tomar decisiones, esto por medio del análisis de oportunidades y amenazas que tiene el mercado y de los puntos fuertes y débiles propios del sector (6). Para el desarrollo del diagnóstico se requiere recolectar, clasificar y analizar, valorar e interpretar la información relevante sobre varios aspectos que afectan al sistema, permitiendo estudiar el sistema como un todo, interconectando aspectos que normalmente se tienen en cuenta de forma aislada. El diagnóstico permite establecer relaciones causales o funcionales y conocer objetivamente los antecedentes y la situación actual, lo que permitirá identificar fuentes de problemas y áreas de mejora (7).

La definición de sectores de la economía se refiere al primario (minero, extracción y agrícola), secundario (industrial) y terciario (servicios). La mayoría de los estudios relacionados con diagnóstico se ha concentrado en los dos primeros; sin embargo, la importancia de tener en cuenta el sector terciario para la economía es alta, dado que en algunos países puede llegar a representar el 80% del PIB y del empleo (4). Los autores que trabajan en documentos sobre el sector terciario, si bien no proponen un diseño de una metodología para un diagnóstico sectorial, sí manifiestan la relevancia de una discusión con base en el análisis de datos para la caracterización del sector servicios. En (4) se señala la importancia de la complejidad y la tecnología que se encuentra dentro de los distintos sistemas, y se expone la aplicación de Data Surface Mining (DTM), que localizo datos previamente preparados y publicados para someterlos a consideraciones que conlleven a inferencias y conclusiones más profundas de las que se podrían lograr con la información original.

La complejidad de un sistema como lo es un sector de la economía puede llegar a ser bastante alta (5), hay documentos en los cuales se resaltan varias consideraciones sobre los sectores productivos y proponen una metodología para estudiarlos, sustentándose en las herramientas de la dinámica de sistemas, el modelo de las cinco fuerzas de Michael Porter y señalando la importancia de la multidisciplinariedad, estos modelos son empleados en la caracterización del sector farmacéutico (8). En (9) se describe cómo encontrar las diferencias en la evolución de la productividad intersectorial de la industria colombiana, empleando la herramienta de frontera

estocástica de producción *time varying* (la explicación de esta herramienta es tan extensa que queda fuera del alcance de la presente revisión, pero se puede asegurar la utilidad de la misma) se concluyen dos maneras de explicar las diferencias entre sectores: la primera es por ganancias en la eficiencia promedio y la segunda por la reasignación de recursos al interior de la industria.

A nivel metodológico se ha empleado la productividad total de factores, que es estimada por medio de la función de producción Cobb-Douglas (10), la cual se puede modificar para ampliar su alcance con otras variables que no se tienen en cuenta con la función original (esta establece que la producción se encuentra en función del capital, la mano de obra, un factor tecnológico y un residuo que puede representar externalidades u otras variables). En los modelos que se empleaban para años anteriores se rescataba la importancia de tener enfoques cuantitativos o al menos parcialmente cuantitativos-cualitativos (11) y se daba prioridad a corroborar empíricamente para las recomendaciones y políticas a diseñar; además uno de los autores brinda una clasificación de acuerdo con el alcance donde se encuentran los niveles: granja (F), distrito (D), región (R), sector agricultor (A), economía nacional (E) y economía mundial (W), los cuales se pueden abordar mediante herramientas como modelos de planeación multinivel, modelos microeconómicos dinámicos, modelos de sistemas simulados y modelos generales de equilibrio-consistencia; dependiendo de las conexiones que pueda tener el sector a diagnosticar y la definición inicial del alcance, puede ser más conveniente un modelo que otro (2).

También es destacable la aplicación de modelos económicos de descomposición para caracterizar los factores que forman parte de un sector y se recalca la conveniencia de aplicar diagnósticos en periodos de expansión y recesión económica (12), todo lo anterior enfocado en la variable empleo; además de los estudios de la escasez de mano de obra cualificada en el sector metalúrgico y eléctrico (13), que proporcionan una metodología donde definen el análisis sectorial como un instrumento para el acceso exacto a un sector y lo consideran necesario para asegurar la información disponible en la estructura organizacional, se describen la importancia económica, el empleo, la delimitación del sector, la estructura de trabajadores cualificados, entre otros aspectos. El procedimiento empleado consiste en la definición y la delimitación del sector, esta última con la ayuda de criterios sustentados en datos y estudios de cobertura, posteriormente se diseña una encuesta para caracterizar el sector que permitirá la preparación de un panorama general detallado, la presentación de la posición económica del sector, la importancia en el mercado, la situación de la variable de estudio (en el caso, la escasez de trabajadores cualificados) y el impacto de esta misma.

Los diagnósticos realizados por el World Bank Group y la CEPAL poseen una metodología similar en la que si bien no se describe explícitamente, se detalla un conjunto de aspectos relevantes del sector como lo pueden ser el empleo, el impacto en el medio ambiente, el crecimiento económico y productivo del sector, la competitividad; por medio del análisis de los datos que se obtienen a través de las instituciones de captación de información especificadas (departamentos de estadística, organizaciones de consultoría, entre otras) o mediante instrumentos previamente diseñados, como entrevistas o encuestas aplicadas a los

agentes de interés del sector (14–18). También cabe destacar estudios de las Pymes del sector industrial, buscando dar explicación a la importancia de estas mediante la evidencia que se encuentra por medio de estadística descriptiva (19). Por otro lado, en (20) tienen como objetivo diagnosticar varios de los sectores que componen para brindar información en la planificación de territorio y recursos; y en (21) se orientan a estudiar la evolución del sector turismo de un país para compararla con otra, contrastando los alcances, las limitaciones, las acciones incorrectas y correctas que conllevan al beneficio de la productividad y la competitividad. Estos últimos diagnósticos descritos, que a nivel metodológico se encuentran alejados de la metodología diseñada en (1), son de interés debido a la manera en que abordan una situación en específica, como lo es evaluar varios sectores de un municipio o región, o comparar evoluciones interregionales/interestatales de algún sector en específico.

Los trabajos revisados permiten establecer que no se han encontrado diferencias significativas en cuanto a nivel metodológico en los diagnósticos sectoriales aplicados en Colombia con los de otros países, sin embargo, las diferencias que se pueden observar están en función de la coyuntura actual del sector económico, debido a que la variable de principal interés depende de la importancia que tenga el sector en el crecimiento económico y de las estrategias de cada país.

El número de documentos que se puede encontrar en la literatura con el objetivo de diseñar una metodología de diagnóstico sectorial es bajo. El Grupo de Investigación ARCOSES elaboró un documento donde se diseña la metodología para posteriormente aplicarla al sector electro-electrónico (1). Dicha metodología consiste en la descripción y caracterización de una serie de variables que se encuentran en tres niveles (según sea necesario profundizar más sobre algún aspecto), para así poder realizar conclusiones y recomendaciones; cabe destacar que esta metodología se encuentra enfocada en el sector primario y secundario, no obstante, es posible su aplicación en el sector terciario. Como resultado previo se identificaron 10 factores principales: aspectos generales, cadena de valor, análisis de competencia, factores macroeconómicos, capital humano, empresas, procesos de investigación, desarrollo e innovación, medio ambiente y normatividad. En la Tabla I se muestran las variables de primer y segundo nivel.

Para su implementación el grupo de investigación ARCOSES propone el flujo de proceso dado en Fig. 1. La primera fase de adquisición de conocimiento consiste en la búsqueda de información en un sector seleccionado y su sistematización de acuerdo con los grupos de variables de la Tabla I. La segunda fase de representación de conocimiento corresponde al desarrollo del prototipo de diagnóstico en un sector en particular y las relaciones entre las variables. Un resultado de esta aplicación se puede encontrar en (22).

El alcance de este documento es realizar una comparación de literatura con las variables propuestas en esta metodología con estudios relacionados en Colombia y Latinoamérica principalmente, dado las similitudes en comportamiento de estos países en vía de desarrollo.

Tabla I. Variables de primer y segundo nivel empleadas en la metodología de (1)

Primer nivel	Segundo nivel
Aspectos generales	<ul style="list-style-type: none"> • Objetivo del diagnóstico • Descripción del sector • Antecedentes
Cadena de valor	<ul style="list-style-type: none"> • Cadena productiva • Tipos de productos • Sistemas de transporte y canales de distribución
Competencia	<ul style="list-style-type: none"> • Acuerdos comerciales internacionales • Países/Regiones fuertes vs emergentes • Nivel de atractividad de los segmentos del mercado
Factores macroeconómicos	<ul style="list-style-type: none"> • Participación/Relevancia del sector en el PIB • Comercio internacional • Comercio de importaciones • Demanda interna • Estructura de precios • Impacto fiscal • Flujos financieros • Articulación intersectorial o intrasectorial
Capital humano	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensión sociocultural • Empleo • Nivel de educación de población ocupada en el sector
Empresas	<ul style="list-style-type: none"> • Número y tamaño de las empresas del sector • Localización de las empresas del sector y su influencia
Investigación, desarrollo e innovación	<ul style="list-style-type: none"> • Estado tecnológico, prácticas productivas y transferencia tecnológica • Capacidad instalada vs capacidad utilizada
Medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto ambiental
Normatividad	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de calidad • Instituciones de captación de información sobre el sector • Marco legal • Marco institucional
Problemáticas, oportunidades y perspectivas	<ul style="list-style-type: none"> • Debilidades, oportunidades y prospectiva • Prospectiva y recomendaciones

3. Metodología

La revisión de la literatura de la temática de diagnóstico sectorial se realizó en las bases de datos científicas de Dialnet, Iseek, ScienceResearch, Lareferencia, Scielo, Redib, BASE, Springer Link, Scopus y Science Direct. Se emplearon las palabras clave en español: diagnóstico sectorial, análisis sectorial y caracterización sectorial, y en inglés: sector diagnostic, sector analysis, economic sector diagnostic y sectorial assessment. Se encontraron principalmente artículos, informes, monografías y ensayos donde se aplican metodologías para el diagnóstico de sectores

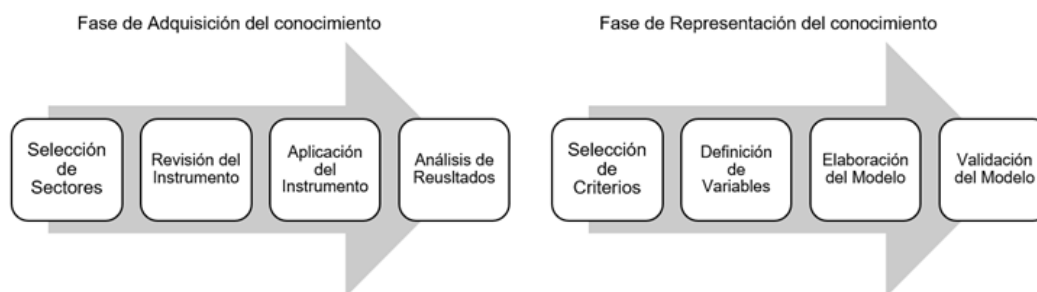


Figura 1. Adquisición y representación del conocimiento – Metodología ARCOSES propuesta en (22)

específicos de la economía, y estudios más generales donde se realiza el diagnóstico de varios sectores de todo un país. Se planteó la meta de encontrar al menos 60 documentos que aplicara un diagnóstico sectorial o similares.

Las preguntas guía para la revisión de la literatura fueron las siguientes: ¿Cuáles han sido los diagnósticos sectoriales realizados en Colombia en los últimos años?, ¿Cuáles han sido los diagnósticos sectoriales realizados en el exterior en los últimos años?, ¿Cuáles son las diferencias entre las metodologías de diagnóstico sectoriales nacionales e internacionales?, ¿Se han diseñado nuevas metodologías para el diagnóstico sectorial? y ¿Qué factores y variables incluyen los diagnósticos sectoriales?

Este trabajo cuenta con tres principales fases para su elaboración, como se observa en la Fig. 2: se inicia con la búsqueda de documentos, posteriormente se realiza la selección y clasificación de los documentos encontrados, donde se leerán sus apartados más significativos y se clasificarán con base en el tipo de documento (artículo, monografía, ensayo, etc.), año de publicación y los sectores a los cuales aplicaron un diagnóstico (o si no aplicaron ninguno). Finalmente, para cada documento seleccionado y clasificado, se realiza un análisis donde se pretende encontrar similitudes con la metodología del grupo ARCOSES, y desarrollar una breve reseña sobre los resultados encontrados del diagnóstico y describir las herramientas empleadas.

El resultado del análisis de los distintos documentos se expresa en una tabla donde se pueden encontrar qué variables aplicaron los diagnósticos sectoriales consultados, lo cual se mostrará con mayor detalle en el apartado de variables empleadas en los diagnósticos sectoriales.

4. Resultados de la revisión de la literatura

En esta sección se clasifica la literatura consultada respecto al año de publicación, el tipo de documento y los sectores a los cuales aplicaron. Se pueden encontrar tendencias y la evolución de la investigación en torno a los diagnósticos sectoriales, además de mencionar los aspectos más relevantes de varios de los trabajos elaborados en ciertos periodos de tiempo.

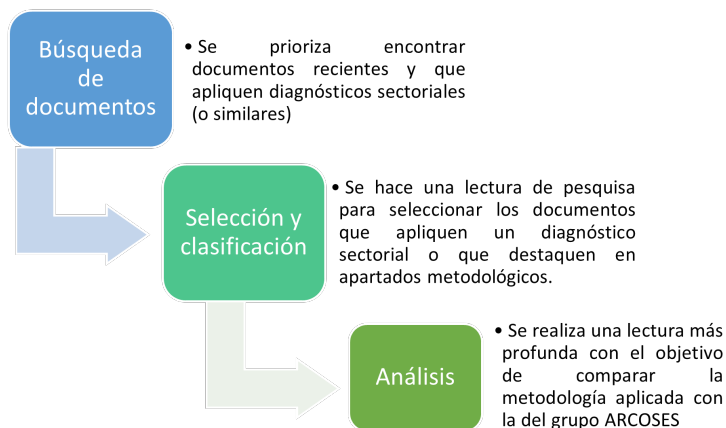


Figura 2. Diagrama de metodología para la revisión de la literatura de diagnósticos sectoriales

a. Año de publicación en la literatura consultada

En la Fig. 3 se presenta la distribución de los artículos consultados en el tiempo. Alrededor del 80% de la literatura consultada (que consta de 78 artículos, de los cuales 66 aplicaron un diagnóstico sectorial o similares) se encuentra publicada entre los años 2011 y 2020. Se evidencia un aumento en la aplicación de diagnósticos sectoriales por parte de organizaciones privadas y empresas de consultoría. Dichos diagnósticos son extensos y abarcadores y brindan una mayor cantidad de información para la toma de decisiones y políticas.

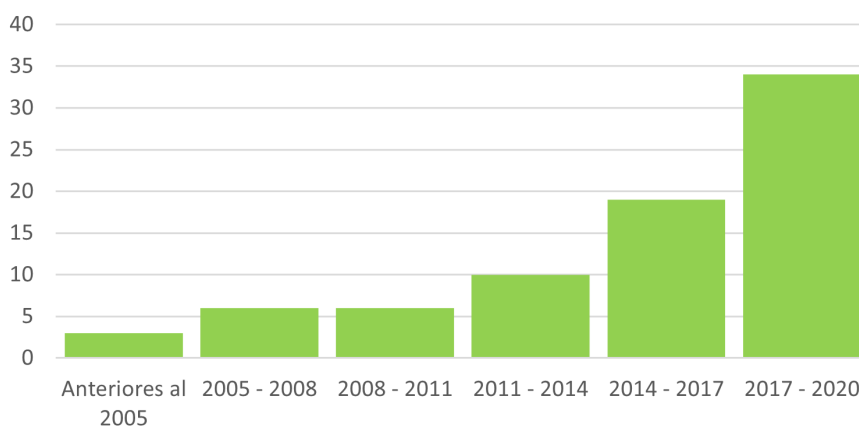


Figura 3. Intervalos de años de publicación de la literatura consultada

En los periodos de 2005 a 2011 la literatura consultada es poca, pero aporta información de relevancia para observar la evolución de las metodologías de diagnóstico sectorial. Se encontró un artículo donde se mencionan las actuales herramientas de diagnóstico del World Bank Group, que son empleadas por la misma organización en diversos estudios. Otros documentos

muestran el análisis a un sector específico y se enfoca en un aspecto principal del mismo, como la competencia (23), los acuerdos comerciales internacionales (24), los inconvenientes con la falta de trabajadores cualificados en una industria (13) o la logística y la administración de las empresas en el sector (3,19,25,26).

En años anteriores a 2005 se revisaron dos artículos, debido a su aporte en lo que tiene que ver con aspectos metodológicos que son de ayuda para evaluar las características que han cambiado a lo largo del tiempo en este ámbito, por ejemplo, en uno de estos se realiza una revisión crítica del número de modelos que se han empleado para el sector de la agricultura, que ayudan a contextualizar las diferentes variables de estudio del sector en el momento (2). En el otro documento se encontró un informe sobre el análisis sectorial de Nicaragua (18) donde se observa una metodología enfocada en aspectos políticos y económicos que se asemeja a las actuales (este es más que todo descriptivo, no se llegan a aplicar modelos económicos o estadísticos para sustentar sus recomendaciones).

b. Descripción de la literatura consultada

De la literatura revisada, el 85% corresponde a artículos por parte del sector académico e informes por parte de organizaciones privadas, como se muestra en la Fig. 4. Sin embargo en cuanto a aspectos de crítica y revisión se encontró un ensayo que si bien no aplicó un diagnóstico en específico (debido a que el documento se centra en describir el sector turismo de dos países: México y Japón, para posteriormente realizar una comparación), recoge puntos importantes a nivel metodológico y práctico para los futuros diagnósticos sectoriales (21). Por otra parte, un conjunto de monografías aplicaron diagnósticos sectoriales al sector madera, al sector de cerámica plana y porcelanato, al sector manufacturero, el sector arrocero y el sector de alimentos (24,27–30); el enfoque es el aumento de la competitividad, la aplicación de modelos teóricos y el uso de herramientas económicas para el análisis del sector, respectivamente. Dichos documentos poseen una mayor explicación de las herramientas empleadas, sobre todo a nivel económico, lo cual es de utilidad en el caso de ser requeridas posteriormente para un sector específico.

Cabe destacar que se tienen documentos que si bien no mencionan explícitamente la aplicación de diagnósticos a un sector económico, aportan metodologías a ciertos elementos. Por ejemplo, en el análisis de la cadena productiva del cacao (31) se evalúan los flujos físicos del producto, los precios y costos, los actores involucrados y se dan consideraciones finales en pro de mejorar la situación del sector en general. En el informe del sector azucarero (32) se trabaja profundamente el apartado de aspectos generales, realizando comparaciones con el desempeño transnacional y recogiendo aspectos de prospectiva para evaluar el futuro del sector. Por otra parte, se tienen documentos que si bien no aplican como diagnósticos sectoriales, tienen apartados que podrían contribuir en aspectos metodológicos en la realización de uno, como se puede observar en la caracterización del mercado y la estructura tecnológica del sector de alimentos, donde se determinan puntos clave en el mercado por medio de la recopilación

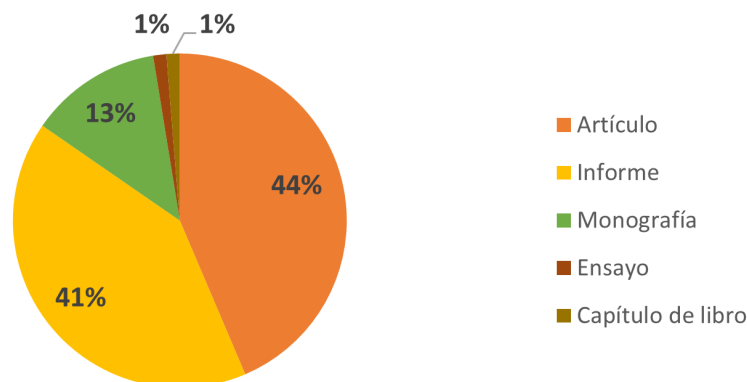


Figura 4. Tipos de documentos revisados

bibliográfica de artículos, libros y documentos web (30). También los distintos estudios de mercado donde el enfoque es describir e identificar todos los aspectos posibles de un mercado en particular, con el fin de poder encontrar manchas blancas (es decir, segmentos del mercado en los que la participación de las empresas es baja o nula) (33, 34) o realizar una descripción profunda son de utilidad en proyectos de investigación, como en los casos del análisis del mercado mundial de carnes y mercado del café (35,36).

c. Sectores aplicados

Como se observa en la Tabla II, la aplicación de diagnósticos sectoriales en la literatura consultada ha sido variada en cada uno de los principales sectores económicos. En el caso del sector primario, el sector agricultor y minero, muestran gran relevancia para la economía, los sectores como el caprinocultor y acuicultor presentan potencial de crecimiento económico (37–39), sectores como azucarero, cafetero y piscicultor muestran alta participación por parte de Colombia en el mercado a nivel global (32, 35, 39, 40). También es destacable el impacto ambiental que se genera por parte de estos sectores, donde el sector silvicultor, el minero y el agricultor tiene un papel de gran importancia, debido a la contaminación generada por las distintas actividades productivas (15, 24, 41, 42).

Para el caso del sector secundario, se contempla que los diagnósticos son llevados a cabo como partes de proyectos de mejora de la competitividad y la productividad, como es en el caso del diagnóstico al sector naval de Mar del Plata (43) o del análisis del mercado del café (35). También se encuentran como herramientas para determinar la contribución del sector a la economía del país, tal cual se observa en el diagnóstico aplicado al sector de construcción (10), sector de cárnicos (36), sector agrícola en Ecuador (44) y el sector farmacéutico (8, 25, 45). Por último, para observar la evolución y el comportamiento general del sector en el país (12, 38, 46).

Tabla II. Sectores diagnosticados en la literatura consultada

Sector	Aplicaciones		
Sector primario (extractor)	<ul style="list-style-type: none"> • Sector oleaginoso • Sector acuífero • Sector agrícola • Sector arracachero • Sector arrocerero • Sector bananero • Sector cacaotero • Sector cafetero • Sector azucarero • Sector capricultor • Sector ganadero • Sector lácteos • Sector minero • Sector ovino • Sector piscícola • Sector silvicultor 		
	Sector secundario (transformador)	<ul style="list-style-type: none"> • Sector alimentos • Sector cárnicos • Sector confecciones • Sector construcción • Sector cuero • Sector farmacéutico • Sector manufacturero • Sector petrolero • Sector plásticos • Sector textil • Sector calzado • Sector madera • Sector cannabis 	
		Sector terciario (servicios)	<ul style="list-style-type: none"> • Sector académico • Sector bancario • Sector construcción • Sector educación • Sector energía • Sector financiero • Sector naval • Sector salud • Sector servicios • Sector servicios de acueducto y alcantarillado • Sector turismo • Sector vivienda • Sector transporte • Sector ambiental

El sector terciario tuvo gran aplicación, como es en el tema del sector financiero donde la importancia radica en la evaluación de retos y potenciales vulnerabilidades debido a la naturaleza de este sector, esto se evidencia en el resumen de la evaluación del sector financiero en Moldavia (47) y el impacto de la participación de la banca islámica en Malasia (48), o en el estudio del sector vivienda donde se busca proveer evidencias y bases para iniciativas de reformas y recomendaciones generales para la mejora del sector en general, aplicado en el diagnóstico al sector de vivienda de Azerbaiyán (14). Cabe aclarar que los diagnósticos en varias ocasiones no son aplicados a un sector específico, sino que pueden ser aplicados a un conjunto de sectores que se encuentran relacionados, por ejemplo, en uno de los documentos consultados se diagnostica el sector del cuero y el del calzado para evaluar la competitividad sectorial internacional (23), mientras que en otros se hace un revisión de un gran número de sectores para encontrar el impacto asociado a un efecto en particular, como lo es en el caso del documento donde se desea estudiar el efecto del precio del petróleo y el rendimiento de las acciones de diferentes sectores (49).

En la Fig. 5 se observa una aplicación aproximadamente proporcional a cada uno de los sectores de la economía, con el 37% para el sector primario, 30% para el sector secundario y 33% para el sector terciario. Sin embargo, es evidente la ligera tendencia por la aplicación al sector primario, dado que muchos de los documentos consultados tienen como objetivo la mejora de aspectos del sector en países en vía de desarrollo (15,17,50-52).

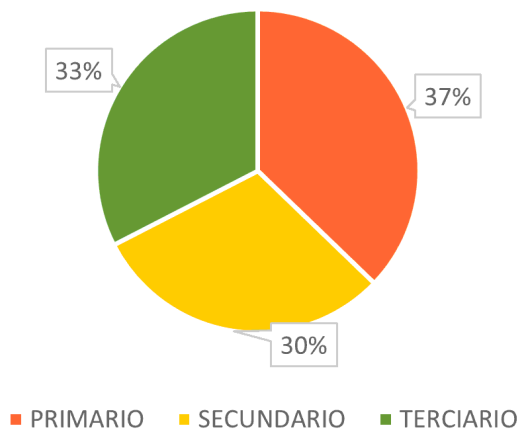


Figura 5. Distribución de la aplicación de diagnósticos sectoriales por sector económico

5. Variables empleadas en los diagnósticos sectoriales

Para determinar las variables que son empleadas en el sector es conveniente partir de una metodología y compararla con otras, de esta manera se puede encontrar la frecuencia con que se aplican las variables y la aplicación de nuevas variables que pueden ser de utilidad en diagnósticos posteriores. De acuerdo con la metodología propuesta por (1), se comparan las

variables de primer y segundo nivel (destacadas entre paréntesis en las figuras), cabe mencionar que si se aplicó en un diagnóstico una variable de primer nivel, se da por hecho que se aplicaron las variables de segundo nivel correspondientes, no obstante, las variables de segundo nivel que se exponen más adelante en las distintas figuras aluden a su aplicación individual.

a. Aspectos generales

La variable aspectos generales, según la Fig. 6, tiene una participación en el 80% de la literatura consultada, estando en 62 de los 78 documentos consultados. No obstante, algunos diagnósticos excluyeron variables de segundo nivel como la descripción del sector de manera completa y los antecedentes para centrarse en el diagnóstico económico del sector en términos de un factor específico (53,54), o cuyo objetivo está enfocado en la caracterización de la industria sin profundizar en otros aspectos (8,25,45).

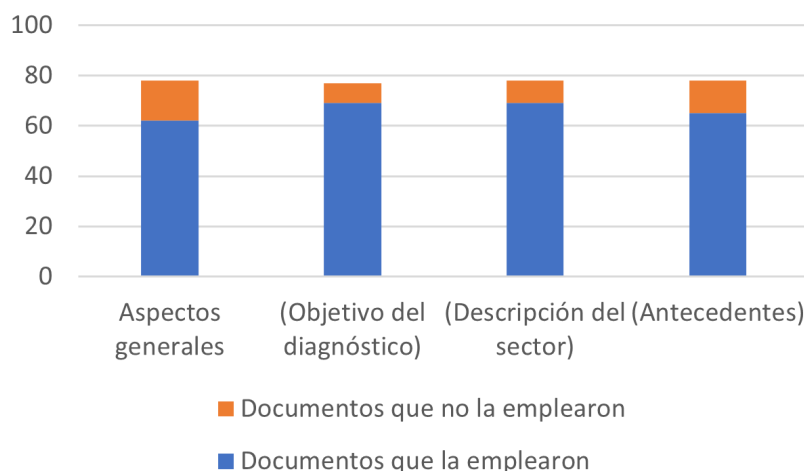


Figura 6. Empleo de las variables aspectos generales

También están aquellos documentos que no aplicaron un diagnóstico como tal, ya que se enfocan en caracterizar o describir partes específicas de las empresas de un sector, pero aportan a nivel metodológico en los apartados de un diagnóstico sectorial completo (4,5,30,32,34,55-57). Por otra parte, en informes con un alto nivel de detalle (14,15,42,58) se evidencia una alta frecuencia de uso de esta variable, resultando oportuna en el planteamiento del objetivo del diagnóstico, siendo bastante concisos en la descripción del sector y abarcando de la mejor manera los antecedentes, haciendo posible que se entre rápidamente en contexto con la situación actual. Se encontraron documentos en los que se trabaja este apartado de manera exclusiva, donde los resultados de los informes elaborados pueden servir de insumo para futuros diagnósticos más exhaustivos, además de establecer metodologías de interés para la descripción del sector en el caso de aplicar a sectores similares (32,35,36).

Esta variable es la que mayor participación tiene de todas, y generalmente un diagnóstico debe tener al menos la descripción del sector junto con el objetivo, dado que la primera permite que se entre en contexto con la situación en general (si se tienen los antecedentes es todavía mejor) y la segunda da a entender al lector el fin del diagnóstico y cómo se pretende llegar a este.

b. Cadena de valor

La cadena de valor, según Michael Porter es la herramienta empresarial básica para analizar las fuentes de ventaja competitiva, que sistemáticamente permite examinar todas las actividades que se realizan y sus interacciones para poder dividir la empresa estratégicamente en actividades que permitan entender el comportamiento de los costos, las fuentes actuales y los potenciales de diferenciación (59). En la literatura consultada (Fig. 7) se encuentra un uso parcial elevado y uno completo significativamente bajo (21 documentos la aplicaron totalmente). En documentos como el diagnóstico aplicado al sector ganadero, la descripción de la cadena de valor es necesaria para el análisis cuantitativo del rendimiento técnico del sector y su aporte a la economía nacional (42); en el diagnóstico de la cadena ovina se realiza una descripción completa para poder encontrar restricciones que limitan el desarrollo integral y diversos inconvenientes a nivel impositivo, sanitario y comercial (60).

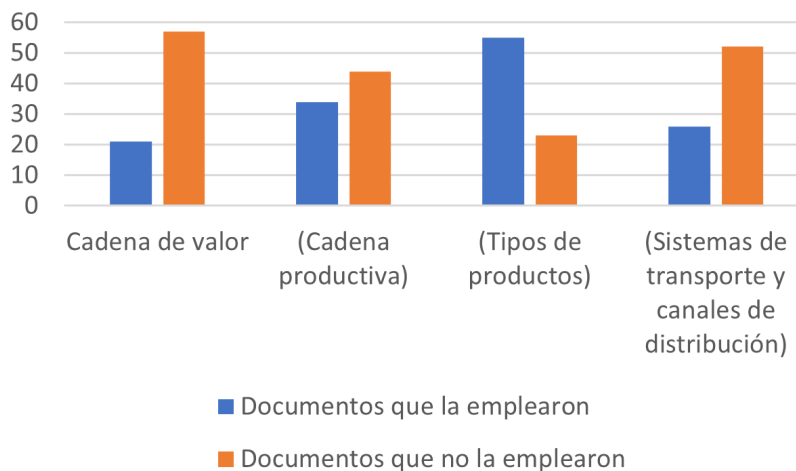


Figura 7. Empleo de la variable Cadena de valor

En lo relativo a las variables de segundo nivel, se encontró un bajo uso de variables similares a la descripción de la cadena productiva, se puede ver en el análisis de mercado del café y los diagnósticos al sector farmacéutico, cacaoero, arracachero y ovino (25, 31, 35, 51, 60, 61). Los sectores de sistemas de transporte y canales de distribución presentan una participación regular en la literatura consultada, se mencionaba en su mayoría en los informes más completos, como los del World Bank Group (17, 50) y en los análisis como el aplicado al sector de plásticos (26) o el diagnóstico sobre las unidades productivas piscícolas (40), donde este tiene alta trascendencia, ya que la cadena de valor se ve afectada por las condiciones actuales de transporte; tipos de

productos tiene un alta participación, ya que en muchos diagnósticos se considera importante caracterizar los principales productos del sector, excluyendo los documentos que no aplicaron diagnósticos sectoriales y solo se enfocaron en revisar aspectos metodológicos.

Se consultaron documentos dentro de la literatura revisada dedicados exclusivamente a este apartado, como por ejemplo la caracterización de la cadena de valor del sector lácteo en Colombia y Chile (31, 37, 56, 59, 62), que si bien no aplican para ser diagnósticos sectoriales completos, tienen aspectos a nivel metodológico en común con la metodología propuesta por (1). Estos describen la cadena de valor por medio de la identificación de los actores y los principales problemas que les afectan en ámbitos de transporte, canales de distribución y diversidad del portafolio de productos.

c. Competencia

La competencia está asociada al termino competitividad, cuya definición depende en muchos casos del punto de análisis, la región y el sector a que se refiere pero que en términos generales se define como la capacidad de una industria o sector de producir con patrones de calidad específicos de manera más eficiente que las demás empresas (51). En lo relacionado con su aplicación (Fig. 8), 25 diagnósticos la emplearon y 53 no le dieron un uso completo. Por ejemplo, en el diagnóstico del sector privado de Nepal (17) las restricciones de competitividad y crecimiento son el objeto de estudio a partir del análisis de datos, mientras que en estudios como el análisis sectorial para determinar la causalidad temporal entre productos y exportaciones no se emplea, dado que el enfoque es demostrar la hipótesis de crecimiento económico basado en las exportaciones (54), sin entrar a detallar directamente las variables de competencia, ya que no se aplica a un sector específico. Otro ejemplo es el diagnóstico al sector bananero en Ecuador, donde el principal énfasis de los autores es en los efectos subyacentes por el cambio climático, y se excluyen varios de los aspectos de competencia, aunque se tiene en cuenta la atractividad de los segmentos del mercado (52).

De las variables de segundo nivel, los acuerdos comerciales internacionales se desarrollan en conjunto los diagnósticos realizados en otras variable, por ejemplo en el marco de un TLC (24) o en el análisis al sector de dátiles en Perú, donde la fuerte participación de países del Medio Oriente hace que sea necesario identificar los acuerdos comerciales entre países junto con apartados como medidas arancelarias (63). De estos resultados, 49 documentos emplearon directamente la descripción de países/regiones fuertes vs emergentes y 47 el nivel de atractividad de los segmentos del mercado, tal cual se evidencia en el documento donde se detalla el diagnóstico al sector de maquinaria agrícola (64) y en el del sector de confecciones en el Norte de Santander (Colombia), donde la competencia se percibe afectada por la participación de países como China en el mercado nacional (65). Por otro lado, se observa la aplicación de estas últimas variables en el diagnóstico al estado de los centros de distribución de medicamentos [62], que parte de las herramientas empleadas en Colombia y realiza una comparación con los países líderes en el sector a nivel mundial, o en la evaluación sectorial al sector de energía en Filipinas,

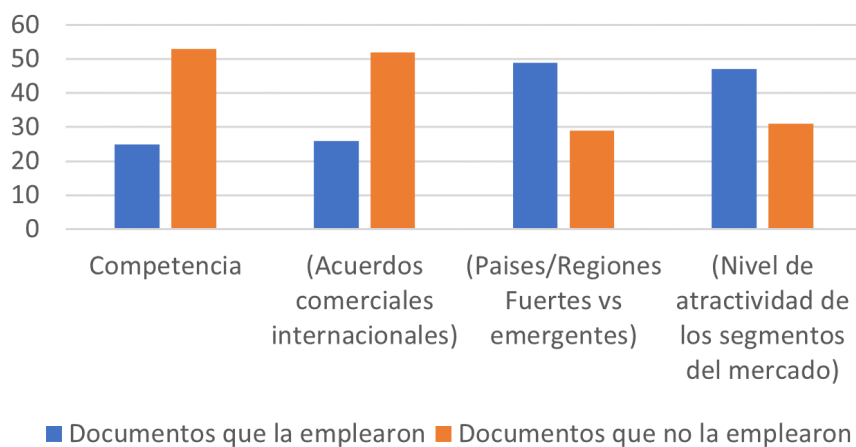


Figura 8. Empleo de la variable Competencia

donde se busca encontrar oportunidades de mercado para continuar manteniendo las tasas de crecimiento del país (66).

Es de resaltar que la probabilidad de encontrar empleada la variable de competencia en un diagnóstico sectorial es alta cuando el objetivo es brindar estrategias para aumentar la productividad y el crecimiento económico del sector, esto tanto a nivel nacional como internacional, ya que la competitividad es un factor clave para permanecer en un mercado y el análisis de lo concerniente a esta variable aportará información que ayudará a los encargados de tomar decisiones sobre el sector.

d. Factores macroeconómicos

Un diagnóstico sectorial completo debería de aplicar factores macroeconómicos en su desarrollo (10), sin embargo en la Fig. 9 se percibe que el número de artículos que no emplearon completamente esta variable es elevado (alrededor de 65 documentos), principalmente por el alcance que se define, por ejemplo, en los documentos donde se realiza un diagnóstico que se encuentra a nivel municipal (20, 51, 67, 68). Los efectos de varias variables de segundo nivel no son necesarios, o en el caso de documentos como el diagnóstico al sector académico en el que, debido su naturaleza, no se tiene en cuenta ningún factor macroeconómico (3, 8, 25, 69).

Por otra parte, el empleo de modelos económicos y herramientas de la econometría es de interés para abordar esta variable, como se puede ver en la aplicación del modelo de fronteras estocásticas *time varying*, que aporta un procedimiento para analizar las diferencias evolutivas en la productividad de sectores y regiones (abordando la variable de articulación intersectorial o intrasectorial) (9), o en el documento de análisis de la evolución del sector de la construcción que también emplea un modelo económico (productividad total de los factores con base en la

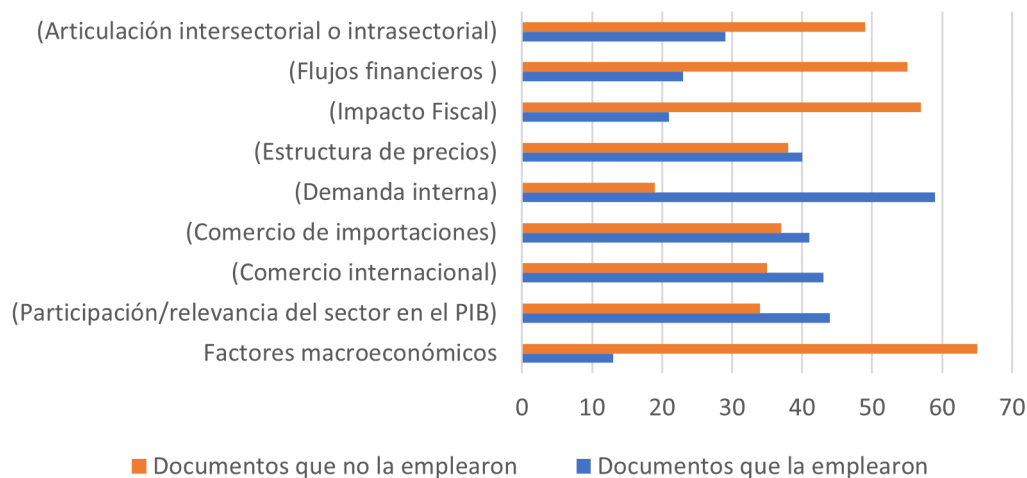


Figura 9. Empleo de la variable Factores macroeconómicos

función de producción Cobb-Douglas), describiendo variables como participación/relevancia del sector en el PIB y demanda interna (10). En algunos de los documentos de la literatura consultada se destaca su enfoque en el comercio internacional, sobre todo en la influencia que tienen las importaciones y exportaciones, como en el análisis sectorial realizado en Turquía, que con base en Tablas de entradas y salidas (IOTs) sobre varios sectores productivos y con ayuda de herramientas como la matriz inversa de Leontief, se puede cuantificar la dependencia de un sector a sus exportaciones o importaciones (46).

En otros documentos se trabaja sobre la causalidad temporal entre producto y exportaciones, investigando la relación del PIB y las exportaciones en el caso de Colombia, encontrando soportes a la hipótesis de crecimiento que se expone a mayor detalle en (54). Mientras que otros plantean modelos aplicados al sector agricultor, exponiendo varias de las variables de segundo nivel que se encuentran en la Fig. 9 (2, 44). En algunos informes se destaca el diagnóstico completo de los factores macroeconómicos, como por ejemplo en el diagnóstico sectorial a Ruanda por parte del World Bank Group donde se analiza principalmente el sector agroindustrial y de viviendas asequibles, ya que presenta oportunidades en las que se puede trabajar para lograr un desarrollo económico formidable, esto se sugiere dados los hallazgos principales de las variables factores macroeconómicos y competitividad (50).

También cabe destacar la escasa aplicación de variables como flujos financieros, empleada en solo 23 diagnósticos, articulación intersectorial o intrasectorial, observada en 29 documentos, e impacto fiscal, destacada en tan solo 21 de los diagnósticos consultados, lo que sugiere una oportunidad de aplicación en futuros diagnósticos para aumentar la contribución de información sobre un sector económico.

En consecuencia, los factores macroeconómicos en caso de ser aplicados tienen gran relevancia en los estudios a sectores económicos, específicamente en la aplicación de herramientas para el análisis de variables macroeconómicas. Sin embargo, esto se encuentra en función del alcance del diagnóstico, puesto que si se encuentra limitado a sectores municipales o aún menores, los efectos macroeconómicos serán menos relevantes, a diferencia de sectores de nivel región/país.

e. Capital humano

El capital humano abarca las condiciones de la población y en qué medida el sector le genera beneficios con el desarrollo de sus actividades (1). En los diferentes diagnósticos revisados se observa que su aplicación fue poco usual, con apenas 16 diagnósticos empleándola completamente y un elevado número que no la emplearon o la emplearon parcialmente (Fig. 10). El diagnóstico al sector salud a nivel regional hace hincapié en esta variable debido a la importancia que tiene, como se observa en la parte de “respuesta social organizada”, donde se mencionan aspectos sobre los recursos humanos en cuanto a la demanda interna y niveles de formación (67). Se encuentra de una manera detallada en el diagnóstico del sector agricultor en Tonga, donde se describe ampliamente la dimensión sociocultural y el nivel de educación de la población ocupada en el sector, y en cada subactividad que se analiza en el sector se tiene en cuenta el tema del empleo, ya que el país considera este factor junto con las remesas (utilidades que los habitantes que emigran envían a su país), un componente importante de la economía (70).

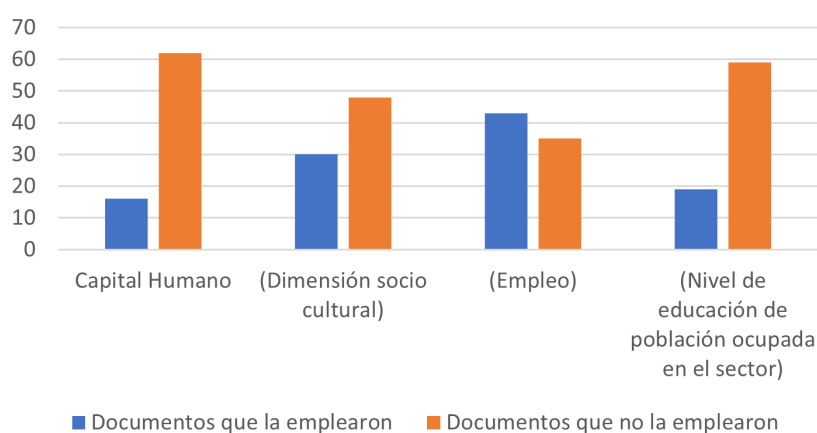


Figura 10. Empleo de la variable Capital humano

También cabe destacar el diagnóstico de las unidades productivas en el departamento colombiano de Santander, que si bien no es un diagnóstico sectorial aplicado, realiza una caracterización bastante completa sobre el capital humano en la región (40). En lo relativo a la variable empleo, en varios documentos tiene una alta importancia (además de que su aplicación fue significativamente alta, con 43 documentos empleándola), como lo es en el análisis del impacto del sector construcción en la economía colombiana, donde se menciona la población

empleada por este sector y la tasa de variación del empleo, mostrando que la inversión pública puede llegar a disminuir el desempleo (71) o en el análisis regional de la región de Sierra Calderona (España), que describe el empleo generado por el turismo en el sector y además trabaja profundamente en los aspectos socioculturales, representando densidad poblacional, nivel de educación, proporción de hombres y mujeres, entre otros aspectos (72).

En (73), se realizó un diagnóstico donde el capital humano considerado uno de los retos debido a la ineficiencia laboral, la emigración y la falta de trabajadores cualificados, proponiéndose así estrategias que aseguren la educación en función de las necesidades de los sectores privados. En (74), se presenta un diagnóstico en lo referente al capital humano en el marco de las varias crisis económicas que sufrió España en el periodo 2007-2010, incluso se emplea como un indicador económico de estas situaciones. Sin embargo, varios documentos no emplearon lo relativo al capital humano, véase el artículo donde se busca determinar los factores que incentivan la inversión extranjera directa en Colombia (53) o el diagnóstico al sector de seguros para la agricultura (75), en el que se plantea como objetivo la identificación de un conjunto de factores que afectan al consumo directo de seguros.

Las variables pertinentes al capital humano se emplean según el objetivo principal del diagnóstico, ya que en algunos casos se considera no influyente en las variables de estudio (como inversión o consumo directo, en los diagnósticos mencionados anteriormente). Sin embargo, la utilización de esta variable brinda un buen sustento para la toma de decisiones o políticas a nivel empresarial o social, ya que se puede identificar el capital humano disponible y adecuado, o las falencias que resultan en la escasez de trabajadores cualificados, como se encuentra en el diagnóstico al empleo del sector manufacturero (13).

f. Empresas

La caracterización de la variable empresas es una de las más altas en la literatura revisada, con aproximadamente el 71 % del total de diagnósticos consultados (ver Fig. 11), lo que da a entender la relevancia de caracterizar las empresas del sector, tanto en número, tamaño, localización como su influencia en el sector económico.

La aplicación de la variable empresas se detalla profundamente en el diagnóstico al sector de maquinaria agrícola (64), donde incluso se realiza un seguimiento histórico en la sección de antecedentes, y se caracteriza cualitativamente aplicando las variables de segundo nivel correspondientes (número, tamaño, localización e influencia). En el diagnóstico en Nepal también se realiza una caracterización de esta variable, aplicando un análisis a la situación actual de las empresas privadas, brindando información base para posibles reformas al sector (17), como en todos los informes del World Bank Group consultados, que por norma general tienen como fin encontrar oportunidades en los mercados nacionales para el desarrollo económico de un país (14, 15, 42, 50, 66).

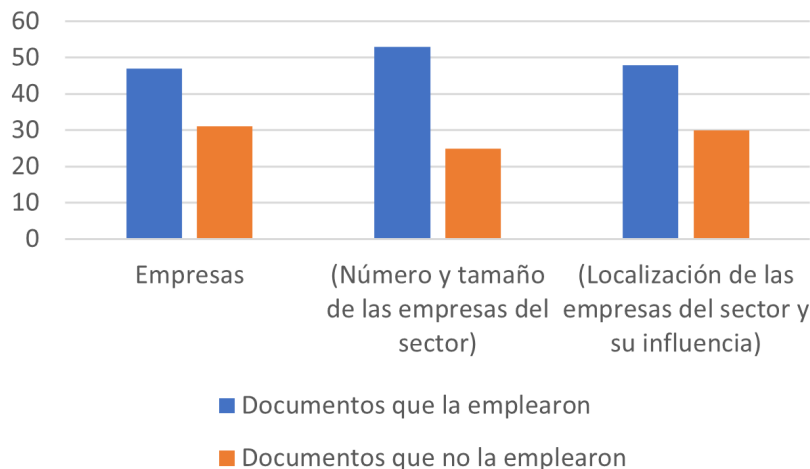


Figura 11. Empleo de la variable Empresas

Otros autores buscan encontrar si las variables empresariales son determinantes en el comportamiento de las inversiones directas de las empresas del sector alimentos, para lo cual realiza la caracterización de las 38 empresas a las que posteriormente se les aplicó una encuesta para obtener información que comprobara su hipótesis (76); si bien no es un diagnóstico sectorial abarcador y profundo, ofrece una herramienta para evaluar las inversiones de las empresas de un sector. Otro ejemplo de aplicación de la variable empresas es el diagnóstico al sector acuicultor que se enfoca en reconocer los factores del creciente ritmo del sector, pese a defectos tales como falta de planeación, descoordinación y desorden, llegando incluso a abordar un análisis del mercado con los productos internos y, evidentemente, las empresas productoras (teniendo en cuenta también la informalidad) (39). En estudios donde el enfoque es una caracterización o estudio del mercado se emplea con gran detalle la variable empresas, dado que es de importancia para encontrar las debilidades, fortalezas, amenazas y oportunidades dentro del sector, tal como se puede encontrar en los diagnósticos al sector textil y de confecciones (34,57,65) o en los análisis a sectores farmacéutico, de plásticos, lácteo y cacaoero (26,31,56,59,62).

De acuerdo con lo anterior es evidente que la inclusión de la variable empresas en futuros diagnósticos sectoriales debe ser prioritaria, puesto que es un elemento clave del sector que determina en gran parte el futuro de este. Sobre cómo abordar esta variable, ya se ha citado gran cantidad de referencias, sin embargo la metodología desarrollada (1), que se está comparando, sigue siendo un buen punto de partida, claro está, sujeta a modificaciones dependiendo el enfoque del sector a estudiar.

g. Investigación, desarrollo e innovación

El análisis del estado tecnológico del sector objeto de diagnóstico puede establecer las ventajas competitivas y evaluar las debilidades que se presenten actualmente a nivel región/país (1). Para

encontrar dicho estado es necesaria la descripción de procesos productivos del sector, el grado de tecnología con el que se cuenta, el acceso a nuevas tecnologías y los medios de financiación que utilizan las empresas para obtener lo anterior, incluidas las PYME, resultando en un análisis de las brechas competitivas entre las compañías de un sector. Esto último es abarcado en el diagnóstico aplicado al sector de energía en la India, donde se busca establecer recomendaciones para aumentar la efectividad de la entrega del servicio, para lo que se requiere un análisis de la capacidad actual y la utilizada, junto con la identificación y descripción de las tecnologías actuales y nuevas que puedan resultar de utilidad para la distribución de la energía (77). Pese a la importancia de la variable según lo anteriormente expuesto, se observa en la Fig. 12 que su aplicación en la literatura fue baja, con una frecuencia de 15 sobre los 66 diagnósticos consultados (los documentos consultados son 78, no obstante, 12 de estos no aplicaron ningún diagnóstico, por lo tanto, son 66 los diagnósticos sectoriales consultados).

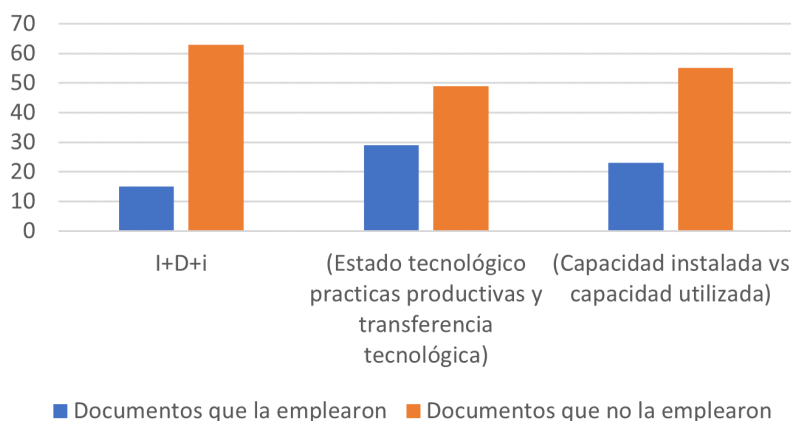


Figura 12. Empleo de la variable Innovación, investigación y desarrollo

En el estudio al sector de alcantarillado y acueducto, en la sección de aspectos técnicos y operativos de los servicios, se observa una descripción de las tecnologías empleadas, junto con la identificación de capacidades, además de la mención de proyectos para los tratamientos de aguas residuales; con todo esto se llega a establecer cuál es la situación tecnológica del sector, (68). Por otra parte, también la emplean en el diagnóstico al sector agricultor en Tonga, donde es imprescindible su caracterización debido a la importancia que tiene al tratar aspectos como la competitividad y la productividad en el campo, los autores describen los distintos tipos de sistemas actuales de granjeo y utilización de la tierra, identifican los principales elementos de entrada a los procesos de agricultura (materias primas, maquinaria, mano de obra, etc.) y mencionan los aspectos relevantes de varias actividades inherentes del sector, como ganadería, alimentación animal, producción avícola y varios más (70).

Para algunos sectores esta variable representa una ventaja competitiva respecto a las demás empresas del sector, es así como en estudios sobre el sector farmacéutico o de industrias

relativamente recientes como la del cannabis tenga un apartado específico donde se describa la tecnología actual dentro de la cadena productiva y cómo esta genera valor (62,78).

Los diagnósticos sectoriales que tengan como objeto evaluar la competitividad y la productividad del sector deberían emplear la variable de innovación, desarrollo e investigación, ya que se pueden obtener aspectos relevantes sobre las actividades productivas y la descripción de la tecnología empleada actualmente. Esto resulta ser útil para determinar estrategias que mejoren las tecnologías por medio de la identificación de nuevas prácticas, para que por consiguiente aumente la competitividad y la productividad del sector.

h. Medio ambiente

El aspecto ambiental ha incrementado su importancia a lo largo de los años, por ejemplo, en diagnósticos anteriores al año 2000 no se tuvieron en consideración aspectos ambientales en los modelos aplicados para el sector de la agricultura (2, 18). Los diagnósticos se encuentran enfocados únicamente en los aspectos sociales, económicos, técnicos y en políticas de la época. Los diagnósticos recientes han aplicado esta variable, si bien no son una mayoría significativa, solo 18 diagnósticos la han considerado (Fig. 13). El procedimiento para evaluar esta variable en un sector no es uniforme, y puede variar dependiendo del sector objeto de estudio; por ejemplo, se encuentran diagnósticos al sector ambiente totalmente enfocados en el desarrollo de esta variable, describiendo las principales problemáticas, detallando causas, consecuencias, población afectada y prioridades de intervención (41,52,72,79), siendo incluso más profundos que en la descripción realizada por el diagnóstico aplicado al sector electro-electrónico (1).

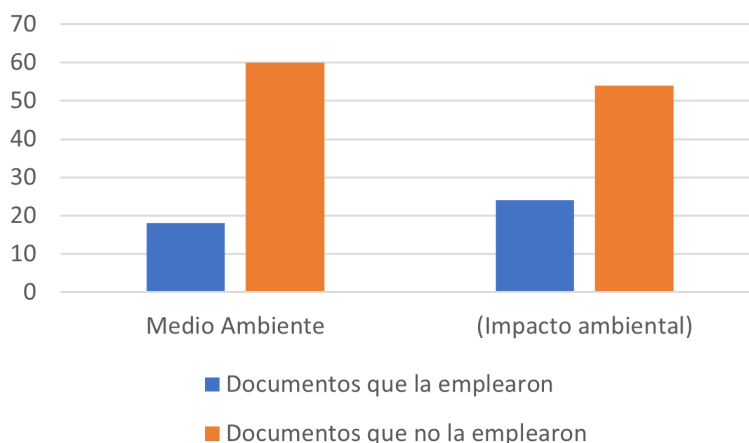


Figura 13. Empleo de la variable Medio ambiente

En los diagnósticos al sector energía, las consideraciones ambientales también son amplias, debido a los aspectos técnicos relacionados con la distribución de la energía (66,77), así como también es el caso de diagnósticos aplicados a los sectores primarios de la economía como el sector agricultor, el sector minero y el sector acuicultor (15, 32, 39, 50, 70), donde se ve más

explícitamente el impacto al medio ambiente de acuerdo con las distintas actividades productivas que se presentan en el sector.

Por otra parte, la evaluación del impacto ambiental es menos influyente en el sector servicios. Por ejemplo, en el análisis al sector financiero de Moldavia se excluye el análisis de esta variable (47), o en el diagnóstico al sector plásticos que se enfoca en aspectos competitivos sobre el sector (26). No obstante, en otros sectores la relevancia es alta, como se observa en el estudio al sector de seguros para la agricultura, o en el diagnóstico al sector acueducto y alcantarillado (68, 75), donde se describe ampliamente el impacto ambiental de los distintos procesos productivos que abarcan los sectores de estudio.

De lo anterior resulta necesario resaltar que la aplicación de la variable impacto ambiental está en función de su trascendencia en el sector a evaluar, dado que si no tiene ningún efecto, evaluar la variable conllevará a caracterizaciones innecesarias que no aportarán información para plantear tácticas, estrategias y recomendaciones para la mejora de la competitividad y la productividad del sector (factores comunes en los que se han consultado).

i. Normatividad

La normatividad sobre el sector es una variable que tuvo una utilización baja en la documentación consultada, como se observa en la Fig. 14. Sin embargo, eso no le quita importancia en los diagnósticos sectoriales, ya que en teoría todo sector se encuentra regulado de una u otra manera. La descripción de sistemas de calidad, marco legal y marco institucional es importante para conocer limitantes al momento de esbozar las recomendaciones sobre el sector. Una de las aplicaciones más completas de la variable normatividad se encuentra en los documentos de diagnóstico de distintos sectores (cerámica y porcelanatos, vivienda, minero, bananero y privado) (14, 15, 17, 27, 52), al realizar una descripción sobre las instituciones que se encuentran en el marco legal, identificar las normas de calidad que aplican para el sector y enumerar leyes, regulaciones y acuerdos que afectan directamente al sector. Otro de los casos es el diagnóstico sobre la acuicultura en Colombia, donde también se toca el tema de la normatividad que regula el impacto ambiental, además de dar un contexto en términos de las distintas leyes para conocer las limitantes y describir las instituciones de las que se obtuvo información (39), cabe destacar que esta variable adquiere gran importancia cuando el uso de un producto asociado a una industria genera debate, como el caso del cannabis medicinal, donde se mencionan varios acuerdos a nivel nacional e internacional sobre el uso regulado del producto (78).

Todos los diagnósticos consultados tienen como factor común la mención de las instituciones de captación de información sobre el sector, además de que varios también describen detalladamente los instrumentos adicionales como lo son el diseño de encuestas y entrevistas a los agentes de interés del sector (por lo general, las empresas), esto se puede ver en el diagnóstico aplicado al sector PYME o al sector público y privado del municipio San Pedro de la Cueva, México (19, 20).

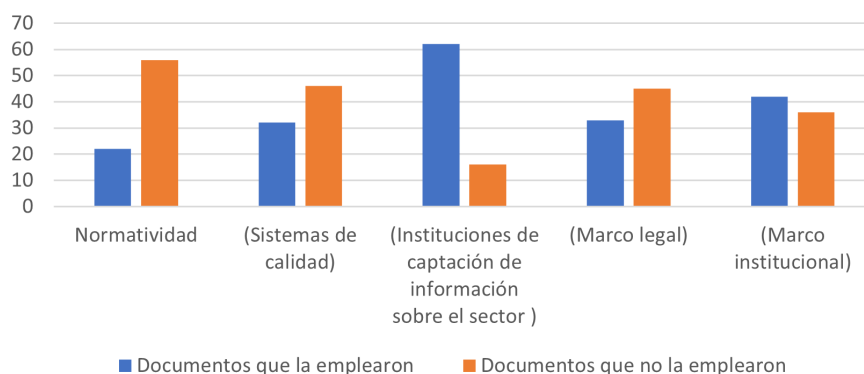


Figura 14. Empleo de la variable Normatividad

En vista de lo descrito en la literatura consultada es clara la importancia de reconocer la normatividad del sector al momento de realizar un diagnóstico sectorial, no es posible dejarla de lado, debido a que se estarían excluyendo limitantes importantes para la toma de decisiones ulteriores al estudio.

j. Problemáticas, oportunidades y prospectiva

La descripción de problemáticas, oportunidades y perspectivas es el objetivo de muchos diagnósticos sectoriales, su aplicación fue en más del 84% de la literatura consultada (exceptuando aquellos documentos donde solo se trataron aspectos metodológicos) (Fig. 15). Sin embargo, un factor que se percibió sin desarrollar fue la prospectiva, debido a que realizarla conduciría a temas que quedan fuera del alcance planteado inicialmente por varios estudios, y en el caso de haber aplicado, la prospectiva no fue detallada y abarcadora como se esperaría con base en la metodología de (1).

Sin embargo, es posible encontrar informes donde se encuentre solo lo relativo a esta variable junto con un corto contexto sobre los estudios previos, como es en el caso del estudio al sector educativo, donde solo se mencionan algunos aspectos metodológicos y de trasfondo, junto con la presentación de una estrategia sectorial gubernamental para analizar las problemáticas, oportunidades, y perspectivas (80). Otros autores solo hacen una mención de la importancia de la innovación en las tendencias que se observan para el sector farmacéutico (3, 8, 25, 45). Por otro lado, todos los informes del World Bank Group son extensos en cuanto la aplicación de este factor, brindando políticas, cursos de acción y diversas recomendaciones para ser aplicadas al sector y herramientas que servirán para el control por medio de diagnósticos posteriores (14, 15, 17, 50).

La aplicación de esta variable es teóricamente obligatoria, dado que la intención de un diagnóstico es describir problemáticas, oportunidades y perspectivas sobre el sector. Por otro lado, el propósito de un diagnóstico sectorial es brindar recomendaciones que sean factibles junto con las diversas tácticas o estrategias que conlleven a cumplir el objetivo general del diagnóstico,

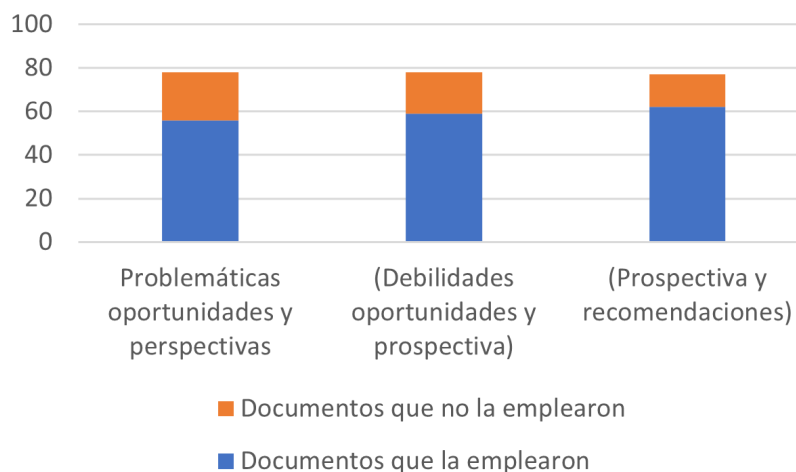


Figura 15. Empleo de la variable Problemáticas, oportunidades y perspectivas

como lo pueden ser: aumentar la competitividad o productividad, identificar restricciones, detallar el impacto en la economía, determinar la evolución del sector, continuar con estudios anteriores y demás.

k. Otros aspectos y dimensiones de los diagnósticos sectoriales

De acuerdo con el sector a evaluar, el número de aspectos y dimensiones es elevado si se quisiera proponer una metodología de diagnóstico sectorial general. Por ejemplo, en la literatura consultada se recalca la relevancia de tener que aplicar diagnósticos en diferentes etapas de la economía de un país, debido a que las variables macroeconómicas se perciben afectadas dependiendo si se encuentra en recesión o crecimiento (12). Por otra parte, se menciona la importancia de que los diagnósticos sectoriales puedan dar respuesta a una inquietud previa sobre el sector, por ejemplo, en el caso del diagnóstico al sector metalúrgico y eléctrico se quiere averiguar sobre los factores que inciden en el déficit de mano de obra calificada en el sector de estudio (13), o en el diagnóstico de la economía española (74), que se orienta a buscar explicaciones del aumento anómalo de la tasa de desempleo en el periodo 2007-2010.

También es de importancia identificar los modelos de producción empleados y realizar comparaciones con otros modelos aplicados en otros países, como se hace en el diagnóstico al sector de energía (77) y al sector turismo (21). Aunado a lo anterior, es conveniente que en el marco de los antecedentes se tenga en cuenta lo relacionado con el impacto que han tenido reformas, políticas y programas aplicados (75).

Cabe destacar que la investigación en este ámbito cobrará más importancia en el futuro, ya que las problemáticas asociadas a varios sectores económicos por factores ambientales, sociales y políticos conllevan a realizar un diagnóstico sectorial que será de gran valor para la

toma de decisiones, el planteamiento de políticas y estrategias que contribuyan al desarrollo. Las líneas de investigación asociadas a este campo se detallan en un artículo que realiza una revisión crítica de la literatura sobre los análisis sectoriales, encontrando cuatro principalmente: agregación de datos, herramientas estadísticas, calidad de la información contable e indicadores financieros (81), las anteriores herramientas han sido empleadas en gran parte de la literatura consultada que realiza un diagnóstico sectorial y han sido mencionadas por los documentos que se enfocan en los aspectos metodológicos (5, 16, 49, 55).

Si bien la metodología propuesta por (1) cubre un gran número de aspectos sobre un sector económico, en los diagnósticos realizados por el World Bank Group se detallan variables como el mantenimiento, la informalidad y la ilegalidad (14), principalmente por la relevancia que llegan a tener en el sector vivienda, como también pueden ser una situación específica, por ejemplo, la entrada en tratados de libre comercio en el caso del sector madera (24) o la opinión que tengan las partes interesadas inmersas en el sector (empresas, pequeños productores, consumidores, etc.), tal cual se trabaja para el campo capricultor (37) o en la industria del cannabis (78).

6. Conclusiones

Frente a la literatura consultada sobre diagnósticos sectoriales es posible resaltar la dificultad del diseño de una metodología de uso general, debido a que esto podría actuar como una limitante para el estudio. No obstante, el uso de las metodologías ya diseñadas es ventajoso como punto de partida para realizar modificaciones excluyendo y agregando variables, teniendo en cuenta la complejidad y el dinamismo de los diferentes aspectos que puedan abordar un sector económico.

La metodología propuesta por ARCOSES para elaborar los diagnósticos sectoriales presenta unas ventajas que superan las diferentes falencias de los documentos consultados, al seguirla integralmente, de manera adecuada, de forma sistemática y con las suficientes y confiables fuentes de información, se logra crear una base de conocimiento lo suficientemente buena para poder aplicarlas en el diseño de políticas y planes de desarrollo sectorial. Pero también se reconoce que esta metodología en el caso colombiano es muy exigente para los investigadores pues no se dispone de toda la información que se requiere, hay pocas fuentes de contraste y cuando se quieren comparar distan unas de otras de manera estadísticamente significativa, todo impide cumplir rigurosamente el despliegue metodológico diseñado.

El factor común en gran mayoría de diagnósticos sectoriales aplicados es la recolección de datos e información principalmente de fuentes secundarias, informes de instituciones asociadas al sector de estudio o mediante el diseño de entrevistas, encuestas u otras herramientas de recolección que permiten aplicar estadística descriptiva. Sin embargo, esta parte puede representar una gran variedad de retos para cualquier diagnóstico sectorial, ya que los registros de datos o información pueden estar incompletos, desactualizados o bien ni siquiera estar disponibles, haciendo que el tiempo para llevar a cabo la elaboración de un documento completo

se incrementa sustancialmente. Por otra parte, es también de interés mencionar que algunos diagnósticos tienen un apartado conceptual y teórico sobre el sector, donde describen el producto principal o realizan una revisión sobre los conceptos clave que se manejan a lo largo del diagnóstico, estos apartados normalmente no son exhaustivos, pero son útiles para hacer entrar en contexto al lector.

Dentro de la revisión elaborada es pertinente señalar que no se encontraron diferencias significativas en los aspectos metodológicos de los distintos diagnósticos realizados en Colombia y en otros países, y la aplicación de otros aspectos para los sectores aparte de los sugeridos por (1) fue escasa, además de que el número de documentos relacionados con este tema está en aumento. Sin embargo, el uso de herramientas para poder cuantificar o hacer inferencias sobre una medida de desempeño de un sector llega a ser variado, encontrando herramientas econométricas como función de producción de Cobb Douglas, matriz inversa de Leontief, modelos de frontera estocástica, modelos multivariantes, métodos ARDL (Autoregressive Distributed Lag), índices de concentración y de dominancia; distintas técnicas descriptivas que permiten identificar factores específicos como los modelos asociativos, análisis DOFA, funciones básicas de diseño, *benchmarking*, análisis de las cinco fuerzas de Porter y análisis estructural (compuesto por análisis de hacinamiento, panorama competitivo, fuerzas del mercado y estudio de competidores) y finalmente diagnósticos que se orientaban a comprobar hipótesis por medio de la estadística inferencial.

En vista de la creciente importancia que han tenido los diagnósticos sectoriales, es importante desde el ámbito académico la elaboración de herramientas que brinden mayor confiabilidad al momento de recolectar información, así como de modelos que permitan obtener información de importancia con los datos actuales del sector. En este sentido, un prototipo estandarizado es útil para consolidar la información y poder tratarla con el fin de extraer conclusiones para la toma de decisiones. Por otro lado, también cabe la posibilidad de trabajar en diseños de metodologías específicas para algunos sectores, en especial para aquellos sectores cuyos aspectos y dimensiones presentan gran dinamismo y complejidad.

7. Contribución de autores

Todos los autores contribuyeron de la misma forma en la investigación.

Referencias

- [1] A. Beltrán, S. Casasbuenas, and G. Méndez, "Design of a diagnosis methodology for economic sectors", *IIE Annu. Conf. Expo 2015*, pp. 2689-2698, 2015. ↑3, 6, 7, 13, 16, 19, 21, 23, 25, 27, 28
- [2] E. Thorbecke, "Sector analysis and models of agriculture in developing countries", London, 1971. <https://ageconsearch.umn.edu/record/135315/files/fris-1973-12-01-231.pdf> ↑3, 5, 10, 18, 23

- [3] B. M. Vallejo, J. E. Cortés y E. Olaya, "Estudio descriptivo de los operadores logísticos como componentes estratégicos dentro de la cadena de valor del medicamento en Bogotá", *Rev. Colomb. Ciencias Químico - Farm.*, vol. 39, no. 2, pp. 168-187, 2010. ↑3, 10, 17, 25
- [4] D. Berg, "Analysis of the service sector", *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.*, vol. 05, no. 04, pp. 699-701, 2006. <https://doi.org/10.1142/S0219622006002246> ↑3, 4, 14
- [5] J. Garza Flores y G. Solares Martinez, "La complejidad y el diagnóstico sectorial", *Obs. la Econ. Latinoam.*, 2018. <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/12/complejidad.html> ↑3, 4, 14, 27
- [6] A. B. Sarquis, N. K. Pizzinatto, R. Galeano, T. C. D. T. Pitombo y M. F. Pereira, "Modelo de diagnóstico mercadológico en el sector de servicios", *Invenio*, vol. 15, no. 29, pp. 29-44, 2012. ↑4
- [7] "Conceptuación del diagnóstico pedagógico", pp. 1-11, 2014. ↑4
- [8] R. G. Ardila, "Caracterización de la industria farmacéutica en Colombia y análisis de la competencia desde la perspectiva de la planeación estratégica", *Teckne*, vol. 12, no. 2, pp. 23-28, 2016. ↑4, 11, 14, 17, 25
- [9] L. M. Gómez, "Diferencias en la evolución de la productividad regional en la industria colombiana: un análisis sectorial a partir de fronteras estocásticas de producción time varying: 1992- 2010", *Desarro. Soc.*, no. 75, pp. 101-152, 2015. <https://doi.org/10.13043/dys.75.3> ↑4, 17
- [10] B. J. Idrovo-Aguirre y V. D. Serey, "Productividad total de factores del sector construcción en Chile (1986-2015)", *Rev. Anal. Econ.*, vol. 33, no. 1, pp. 29-54, 2018. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-88702018000100029> ↑5, 11, 17, 18
- [11] N. Apolo, D. García y L.-F. Brito-Gaona, "Análisis sectorial de la productividad y de la estructura productiva periodo 2007-2017: caso provincia de El Oro - Ecuador", en M. A. Muñoz (comp.), *Gestión Estratégica, crecimiento económico y productividad*, UTMACH, pp. 1-34, 2020. ↑5
- [12] A. Urtasun, M. Izquierdo y E. Ortega, "Un análisis sectorial de la relación entre la actividad y el empleo en la economía española", *Boletín económico - Banco de España*, no. 7-8, pp. 91-98, 2012. ↑5, 11, 26
- [13] M. Schnitger, and L. Windelband, "Shortage of skilled workers in the manufacturing sector in Germany: Results from the sector analysis", *ITB-Forschungsberichte*, vol. 31, Bremen: Universität Bremen, Institut Technik und Bildung (ITB), 2008. ↑5, 10, 20, 26
- [14] World Bank Group, "Greater Baku: Housing Sector Diagnostic", Other Analytic Work, 2016. <https://collaboration.worldbank.org/content/sites/collaboration-fordevelopment/en/groups/research-partnership-for-sustainable-urban-development/groups/other-analytic-> ↑6, 13, 14, 20, 24, 25, 27
- [15] World Bank Group, "Colombia Mining Sector Diagnostic (MSD): Final Report", 2019. <http://pubdocs.worldbank.org/en/726871566230943596/pdf/Colombia-MSD-Descriptive-Report-January-15-2019-FINAL.pdf> ↑ 6, 11, 13, 14, 20, 23, 24, 25

- [16] World Bank Group, "The public sector governance reform cycle", *PREMNotes*, 88, 2004. <http://www1.worldbank.org/prem/PREMNotes/premnote88.pdf> ↑6, 27
- [17] World Bank Group, "Creating Markets in Nepal: Country Private Sector Diagnostic", Washington, DC, International Finance Corporation, 2018. <http://hdl.handle.net/10986/31006> ↑6, 13, 15, 16, 20, 24, 25
- [18] O. Castro, "Nicaragua: un análisis sectorial, principales políticas y programas perspectivas de cooperación", Comisión Económica para América Latina y el Caribe - Cepal, 1993. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/27064/LCMEXR427_es.pdf ↑6, 10, 23
- [19] B. E. Arroyo Ramírez, R. Espinosa Mosqueda y F. Erazo Ordaz, "Diagnóstico de las PYME del sector industrial en el estado de Guanajuato, México y su visión de negocios", *Sierra*, no. 201, pp. 364-386, 2012. ↑6, 10, 24
- [20] J. C. Avilés, C. S. Rivera y V. G. Santiago, "Análisis sectorial y diseño de propuestas integrales para el desarrollo local, caso municipio San Pedro de la Cueva, Sonora", en *El desarrollo regional frente al cambio ambiental global y la transición hacia la sustentabilidad*, México: Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional, 2016. <http://ru.iiec.unam.mx/3284/1/103-Aviles-Rivera-Santiago.pdf> ↑6, 17, 24
- [21] M. Barranco, *La evolución del turismo de México y Japón: un análisis comparativo (Tesis de Licenciatura)*, Universidad Autónoma del Estado de México, 2012. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/99816> ↑6, 10, 26
- [22] E. López Santana, G. A. Mendez Giraldo y C. Franco, "Prototipo de metodología de diagnóstico sectorial en Colombia", *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI*, 202. <https://doi.org/10.26507/ponencia.1630> ↑6, 8
- [23] D. C. Villegas Álvarez y H. Zapata, "Competitividad sectorial internacional, caso: sector del cuero y del calzado", *Entramado*, vol. 3, no. 1, pp. 24-49, 2007. ↑10, 13
- [24] C. I. Castillo y N. C. Garay, *Diagnóstico sectorial de la madera de la ciudad de Cartagena con miras al tratado de libre comercio (TLC) (Tesis de pregrado)*, Universidad Tecnológica de Bolívar, 2005. <https://hdl.handle.net/20.500.12585/895> ↑10, 11, 16, 27
- [25] E. Olaya, R. García, N. Torres, D. Ferro y S. Torres, "Caracterización del proceso productivo, logístico y regulatorio de los medicamentos", *Vitae*, vol. 13, no. 2, pp. 69-82, 2006. ↑10, 11, 14, 15, 17, 25
- [26] D. C. Gómez, *Análisis estructural del sector estratégico de plásticos (Trabajo de grado)*, Universidad del Rosario, 2010. <http://repository.urosario.edu.co/handle/10336/2204> ↑10, 15, 21, 24
- [27] M. A. González y G. D. Chávez, *Análisis de la industria ecuatoriana de cerámica plana y porcelanato: estrategias para su competitividad (Trabajo de grado)*, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2017. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/7999> ↑10, 24

- [28] J. S. Correa y S. R. Mejía, "Análisis del sector manufacturero en la provincia del Azuay 2012-2013" (Trabajo de grado), Universidad del Azuay, 2017. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7188> ↑10
- [29] D. A. Delgado and K. L. Saavedra, "Industria molinera de arroz en colombia", Esc. Colomb. Ing. Julio Garavito, p. 59, 2016. ↑10
- [30] J. L. Bonilla y J. H. Meléndez, "Caracterización preliminar del mercado, estructura y tecnología del sector de alimentos en Bogotá-Cundinamarca" (Trabajo de grado), Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017. <http://hdl.handle.net/11349/5881> ↑10, 11, 14
- [31] P. C. Abbott et al., "An Analysis of the Supply Chain of Cacao in Colombia", Cali, Colombia, United States Agency for International Development - USAID, 2019. <https://hdl.handle.net/10568/96636> ↑10, 15, 16, 21
- [32] Asocaña, "Informe anual de Asocaña con aspectos generales del sector agroindustrial de la caña de Colombia 2018-2019", Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia, 2019. <https://www.asocana.org/modules/documentos/3/362.aspx> ↑10, 11, 14, 23
- [33] Ronderos y Cárdenas, "Sector aceites y grasas: estudio de mercado", 2017. <https://sistemas.mre.gov.br/kitweb/datafiles/Bogota/es-es/file/Estudio%20de%20Mercado%20-%20Aceites%20y%20Grasas.pdf> ↑11
- [34] Legiscomex, "Textiles y confecciones en Colombia", 2012. <https://www.legiscomex.com/BancoMedios/DocumentosPDF/documento-completo-estudio-de-mercado-sector-textil-confecciones-colombia-2012-actualizado-legiscomex.pdf> ↑11, 14, 21
- [35] A. C. Argoti Chamorro y N. A. Belalcazar Benavides, "El mercado del café en los contextos mundial, nacional y regional", *Unimar*, vol. 35, no. 2, pp. 325-348, 2017. ↑11, 14, 15
- [36] V. Errecart, "Análisis del mercado mundial de carnes", CERE - Centro de Economía Regional - UNSAM, 2015. https://www.unsam.edu.ar/escuelas/economia/economia_regional/cere-mayo-2015.pdf ↑11, 14
- [37] A. Chacón-Villalobos y D. Mora-Valverde, "Caracterización sectorial de la caprinocultura en Costa Rica", *Nutr. Anim. Trop.*, vol. 11, no. 2, pp. 23-60, 2017. ↑11, 16, 27
- [38] M. M. Cruz, "Innovación , conocimiento y competitividad: análisis de la evolución y desarrollo del sector de la acuicultura en España", *AquaTIC*, no. 37, pp. 139-142, 2012. ↑11
- [39] M. C. Merino, S. P. Bonilla, F. Bages y A. Flores nava, "Diagnóstico del Estado de la Acuicultura en Colombia, Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca", 2013. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/36592> ↑11, 21, 23, 24
- [40] G. Rueda-Barrios et al. "Diagnóstico de las unidades productivas en el sector piscícola de Santander (Colombia)." *Diagnóstico* 40.28 (2019). ↑11, 15, 19
- [41] A. Álvarez-Espinosa, et al. "Análisis macroeconómico de los impactos sectoriales de cambio climático en Colombia". Departamento Nacional de Planeación, 2014. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Econmicos/422.pdf> ↑11, 23

- [42] B. Shapiro et al., "Ethiopia Livestock Sector Analysis, International Livestock Research Institute", 2017. https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/92057/LSA_Ethiopia.pdf ↑11, 14, 15, 20
- [43] Cámara de la Industria Naval de Mar del Plata, "Estudio del sector naval de Mar del Plata Prólogo", Cámara de la Industria Naval de Mar del Plata, 2006. <https://eco.mdp.edu.ar/cendocu/repositorio/00286.pdf> ↑11
- [44] S. Ruiz-Cedeño, "El sector agroalimentario y su competitividad a partir de modelos asociativos", *Ing. Ind.*, vol. 37, no. 3, pp. 323-332, 2016. ↑11, 18
- [45] S. J. Limas Suárez, "El sector farmacéutico, eje de desarrollo estratégico: una perspectiva desde el ámbito local", *Innovar*, vol. 28, no. 69, pp. 149-173, 2015. <https://doi.org/10.15446/innovar.v28n69.71733> ↑11, 14, 25
- [46] Y. Erduman, O. Eren, and S. Gül, "Import content of Turkish production and exports: A sectoral analysis", *Cent. Bank Rev.*, vol. 20, no. 4, pp. 155-168, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cbrev.2020.07.001> ↑11, 18
- [47] J. Vadasz, S. Brajovic-Bratanovic, S. Gonulal, S. Rutledge, and M.-T. Camilleri, "Financial Sector Assessment: Moldova", 2008. ↑13, 24
- [48] I. W. Indrawan, and M. P. Rahman, "Sectoral analysis on the impact of Islamic banks to the Malaysian economy", *J. Islam. Monet. Econ. Financ.*, vol. 6, no. 1, pp. 163-188, 2020. <https://doi.org/10.21098/jimf.v6i1.1119> ↑13
- [49] M. Bahmani-Oskooee, S. H. Ghodsi, and M. Hadzic, "Asymmetric causality between oil price and stock returns: A sectoral analysis", *Econ. Anal. Policy*, vol. 63, pp. 165-174, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2019.06.002> ↑13, 27
- [50] World Bank Group, "Creating Markets in Rwanda: Transforming for the Jobs of Tomorrow", Washington, DC, International Finance Corporation, 2019. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/32400> ↑13, 15, 18, 20, 23, 25
- [51] D. L. Rojas y P. C. Barreto, "Diagnóstico de competitividad del sector productor de arracacha: caso municipio de Boyacá (Colombia) 2014", *Apunt. del CENES*, vol. 35, no. 62, pp. 245-278, 2016. <https://doi.org/10.19053/22565779.5229> ↑13, 15, 16, 17
- [52] A. Elbehri (Ed.), Ecuador's Banana Sector Under Climate Change: An Economic and Biophysical Assessment to Promote a Sustainable and Climate-Compatible Strategy, Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2016. ↑13, 16, 23, 24
- [53] L. Ortega y J. E. Gómez, Determinantes de inversión extranjera directa: análisis sectorial (Trabajo de grado), Universidad de los Andes, 2015. <http://hdl.handle.net/1992/18579> ↑14, 20
- [54] L. V. Rendón Vallejo, "Causalidad temporal entre producto y exportaciones para Colombia: análisis sectorial", *Rev. Soc. y Econ.*, no. 12, pp. 28-47, 2007. ↑14, 16, 18
- [55] R. A. Ávila y C. A. Jaramillo, "Competitividad y política sectorial en Colombia: un análisis para discusión", *Perspectivas*, no. 1, 2015. ↑14, 27

- [56] G. Fernández y C. Farías Pérez, "Descripción de la cadena láctea en Chile", Oficina de Estudios y Políticas Agrarias - Odepa, 2019. <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/descripcion-de-la-cadena-lactea-en-chile> ↑ 14, 16, 21
- [57] F. Hernández y M. Galvis, Estudio analítico del sector estratégico de confecciones para el direccionamiento estratégico: caso Confecciones Sifer Ltda. (Trabajo de grado), Universidad del Rosario, 2013. <http://repository.urosario.edu.co/handle/10336/4581> ↑ 14, 21
- [58] I. Onugha, M. Iooty, A. Kilroy, and V. Palmade, "Georgia Competitive Industries Preliminary Sector Diagnostic", Washington, DC, World Bank, 2013. <http://hdl.handle.net/10986/16069> ↑ 14
- [59] J. Murillo Aguirre y D. Lopez Pedraza, "Caracterización de la cadena de valor del sector lácteo colombiano (Trabajo de grado), Bogotá", Universidad de La Salle, 2016. https://ciencia.lasalle.edu.co/administracion_de_empresas/799/ ↑ 15, 16, 21
- [60] D. Agüero, V. Freire, M. Peralta, M. Vigliocco y G. Sandoval, "Diagnóstico De la cadena ovina en la provincia de Córdoba, Argentina", *Rev. Mex. Agronegocios*, no. 26, pp. 161-177, 2010. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14111976003> ↑ 15
- [61] M. R. Páez Navarro, "Evaluación financiera de los sistemas de aprovisionamiento de medicamentos para la regional Costa en la cadena Supertiendas Olímpica y Droguerías Olímpica S.A. (Trabajo de grado), Barranquilla, Universidad de la Costa", 2013. <http://hdl.handle.net/11323/571> ↑ 15
- [62] L. M. Palacios, Diagnóstico sobre el estado actual de centros de distribución de medicamentos y dispositivos médicos para la operación logística del sector salud en Colombia (Trabajo de grado), Universidad Militar Nueva Granada, 2015. <http://hdl.handle.net/10654/7100> ↑ 16, 21, 23
- [63] O. Y. Rosales Romero, "Análisis sectorial del mercado de dátiles (Tesis de maestría), Lima, Universidad de Piura", 2020. <https://hdl.handle.net/11042/4633> ↑ 16
- [64] J. A. Hilbert, "Diagnóstico sectorial maquinaria agrícola en la Argentina", Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA, 2016. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13398.86080> ↑ 16, 20
- [65] J. A. Pinillos Villamizar, M. F. Jaimes Ramírez y S. Ortiz Ramírez, "Análisis sectorial de las confecciones en Norte de Santander 2013-2016", *Interfaces*, vol. 2, no. 1, pp. 7-10, 2019. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/interfaces/article/view/8272> ↑ 16, 21
- [66] Asian Development Bank, "Philippines: Energy Sector Assessment, Strategy, and Road Map, Manila, Philippines", Asian Development Bank, 2018. <http://dx.doi.org/10.22617/TCS189616> ↑ 17, 20, 23
- [67] Gobierno de Zacatecas, "Diagnóstico Estatal Sectorial de Salud, Servicios de Salud Estado de Zacatecas", 2017. http://www.saludzac.gob.mx/home/docs/Transparencia/sector_salud/2017/DESS%202017.pdf ↑ 17, 19

- [68] A. M. Parra, D. M. Castillo, J. F. Rojas, C. F. Puerto y N. A. Villalba, Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado 2014-2017, Superintendencia Servicios Públicos Domiciliarios, Departamento Nacional de Planeación, 2018. https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/informe_sectorial-cuatrenio_2014-2017_%20%281%29.pdf ↑17, 22, 24
- [69] F. Moya Anegón, Informe de diagnóstico sobre la producción científica de Colombia (Scopus, 2003-2010), 2011. <http://repositorio.colciencias.gov.co/handle/11146/485> ↑17
- [70] A.-M. Arts, J. Prescott, and P. Luxton, Tongan Agricultural Sector Diagnostic Study, 2018. ↑19, 22, 23
- [71] J.-A. Sarmiento-Rojas, J. S. González-Sanabria, and C. G. Hernández-Carrillo, "Analysis of the impact of the construction sector on Colombian economy", *Tecnura*, vol. 24, no. 66, pp. 109-118, 2020. <https://doi.org/10.14483/22487638.16194> ↑20
- [72] J. Galan, *Analysis and Strategies for Sustainable Regional Planning*, Springer, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-96508-6> ↑20, 23
- [73] The Economist, "Private sector development in Glasgow", 2014. <https://www.glasgow.gov.uk/ChttpHandler.ashx?id=36137> ↑20
- [74] A. R. Peña Sánchez, M. Jiménez García y J. Ruiz Chico, "Impacto de la crisis económica en el empleo de las regiones españolas: un análisis sectorial en el periodo 2007-2010", *Finanz. polit. econ.*, vol. 6, no. 1, pp. 43-71, 2014. <https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2014.6.1.3> ↑20, 26
- [75] C. M. R. Tsikirayi, E. Makoni, and J. Matiza, "Analysis of the uptake of agricultural insurance services by the agricultural sector in Zimbabwe", *J. Int. Bus. Cult. Stud.*, vol. 7, 2012. ↑20, 24, 26
- [76] D. Bernal y M. Saavedra, "Inductores de valor empresarial y decisiones de inversión: un análisis sectorial", *Actual. Contab. Faces*, vol. 15, no. 25, pp. 26-40, 2012. ↑21
- [77] S. Pargal, and S. G. Banerjee, *India Power Sector Diagnostic Review: More Power to India - The Challenge of Distribution*, Washington, DC, World Bank, 2014. <http://hdl.handle.net/10986/18868> ↑22, 23, 26
- [78] J. M. Ramírez, *La industria del cannabis medicinal en Colombia*, Fedesarrollo, 2019. <http://hdl.handle.net/11445/3823> ↑23, 24, 27
- [79] Secretaria Distrital de Ambiente, Jardín Botánico José Celestino Mútis, Instituto Distrital de Protección y Bienestar Animal, Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, Diagnóstico Sectorial: Sector Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá, 2019. ↑23
- [80] N. Larocque, "Summary of Indonesia's Education Sector Assessment", *ADB Papers on Indonesia*, 2015. <https://www.adb.org/publications/summary-indonesias-education-sector-assessment> ↑25
- [81] E. Rondos-Casas, M. A. Farreras-Noguer, and S. Linares-Mustarós, "A critical review of the literature on sectorial analysis: Its application to the Catalan agricultural sector", in *Modelling and Simulation in Management Sciences, Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 894, , pp. 83-96, Springer, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15413-4_7 ↑27

Eduyn López-Santana

Ingeniero Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Especialista en Gestión de Proyectos de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes. Doctor en Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Profesor de tiempo completo del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Investigador del grupo de Investigación Adquisición y Representación de Conocimiento - Simulación y Sistemas Expertos (ARCOSES) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Email: erlopezs@udistrital.edu.co

Germán Andrés Méndez Giraldo

Ingeniero Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Especialista en Informática Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes. Doctor en Ciencias Técnicas de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara, Cuba. Profesor de tiempo completo del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Investigador del grupo de Investigación Adquisición y Representación de Conocimiento - Simulación y Sistemas Expertos (ARCOSES) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Email: gmendez@udistrital.edu.co

Harol Andrey Ávila Choconta

Ingeniero Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

Email: haavilac@correo.udistrital.edu.co

Carlos Franco

Ingeniero Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Magíster de Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes. Doctor en Logística y Gestión de Cadenas de Suministro de la Universidad de La Sabana. Profesor de tiempo completo de la Universidad del Rosario. Investigador del grupo de Investigación en Dirección y Gerencia de la Universidad del Rosario.

Email: carlosa.franco@urosario.edu.co

Feizar Rueda-Velasco

Ingeniero Industrial en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia. Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Doctor en Ingeniería Industria y Organizaciones de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Profesor de tiempo completo del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Director del grupo de Investigación Adquisición y Representación de Conocimiento - Simulación y Sistemas Expertos (ARCOSES) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Email: fjruedav@udistrital.edu.co





Research

A Bibliometric Study of Scientific Production on Self-Sovereign Identity

Estudio bibliométrico de la producción científica sobre identidad auto-soberana

Roberto Albeiro Pava Díaz¹*, Rafael Vicente Páez Méndez², and Luis Fernando Niño Vásquez³

¹Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

²Pontificia Universidad Javeriana.

³Universidad Nacional de Colombia.

Abstract

Context: Self-sovereign identity (SSI) enables the creation of user-centric, privacy-by-design, secure, and decentralized identity management systems. The aim of this paper is to carry out a bibliometric analysis of the scientific production on SSI during the 2017-2022 period.

Method: A complete bibliometric analysis of all publications on SSI indexed in Scopus and Web of Science was carried out. A corpus of 143 articles was examined by processing their bibliographic metadata via a bibliometric tool. To this effect, the Bibliometrix package and the R programming language were used.

Results: A bibliometric characterization of the publications on SSI was obtained for the 2017-2022 period. The most important keywords used in these publications were identified, as well as their use tendencies throughout this period. Moreover, the most influential authors in the area and the most relevant publication sources were identified.

Conclusions: The results of the bibliometric analysis show that Lotka and Bradford's laws apply for academic publications on SSI, which means that the most relevant publications in this area are concentrated in a relatively small group of authors and journals. Paul Jenkins, Nitin Naik, Yang Liu, and Aijun An were the most impactful authors, and *Lecture Notes in Computer Science*, *Frontiers in Blockchain*, and *IEEE Access* were the most influential journals. Finally, the keyword analysis showed that *blockchain*, *authentication*, *identity management*, *electronic document identification systems*, and *digital identity* are currently the most relevant concepts for research on SSI.

Keywords: self-sovereign identity, SSI, DLT, blockchain, identity management, bibliometric analysis

Article history

Received:
11th /Jul/2021

Modified:
17th /Sep/2022

Accepted:
20th /Jan/2023

Ing., vol. 28,
no. suppl, 2023.
e19656

©The authors;
reproduction
right holder
Universidad
Distrital
Francisco José de
Caldas.

Open access



*Correspondence: rapavad@udistrital.edu.co

Resumen

Contexto: La identidad auto-soberana (SSI) permite la creación de sistemas de gestión de identidad centrados en el usuario, con privacidad desde el diseño, seguros y descentralizados. El objetivo de este artículo es realizar un análisis bibliométrico de la producción científica sobre SSI durante el periodo 2017-2022.

Método: Se realizó un análisis bibliométrico completo de las publicaciones sobre SSI indexadas en Scopus y Web of Science. Se examinó un corpus de 143 artículos mediante el procesamiento de sus metadatos bibliográficos mediante una herramienta de análisis bibliométrico. Para ello se utilizaron el paquete Bibliometrix y el lenguaje de programación R.

Resultados: Se obtuvo una caracterización bibliométrica de las publicaciones sobre SSI durante el periodo 2017-2022. Se identificaron las palabras clave más importantes, así como las tendencias de uso de las mismas durante este periodo. Además, se identificaron los autores de mayor influencia en el área y las fuentes de publicación más relevantes.

Conclusiones: Los resultados del análisis bibliométrico completo muestran que la ley de Lotka y la ley de Bradford se cumplen en las publicaciones sobre SSI. Esto quiere decir que las publicaciones de mayor alcance e impacto están concentradas en unos pocos autores y revistas. Paul Jenkins, Nitin Naik, Yang Liu y Aijun An resultaron ser los autores más representativos, y *Lecture Notes in Computer Science*, *IEEE Access* y *Frontiers in Blockchain* resultaron ser las revistas más influyentes. Finalmente, el análisis de las palabras clave mostró que *blockchain*, *authentication*, *identity management*, *electronic document identification systems* y *digital identity* son actualmente los conceptos más importantes para la investigación sobre SSI.

Palabras clave: identidad digital auto-soberana, SSI, DLT, blockchain, gestión de identidad, análisis bibliométrico

Table of contents

		4.2.1. Geographical distribution	12
		4.3. Most relevant sources	12
		4.4. Keywords	14
		4.5. Citations analysis	19
		4.5.1. Most cited articles	19
1. Introduction	2	5. Conclusions	20
2. Self-sovereign identity	3	6. Author contributions	20
3. Search protocol	4	References	20
4. Results and discussion	5		
4.1. Productivity analysis	5		
4.2. Bibliometric analysis of authors	7		

1. Introduction

Technological advancements can sometimes create as many problems as they solve. For instance, the Internet has improved the lives of billions of people around the world by

democratizing the access to information, but it has also facilitated breaches of privacy, identity theft, and the misuse of personal data. Protecting and preserving digital identity is thus one of the most pressing technological challenges currently weighing on researchers and developers. The purpose of this paper is to apply a bibliometric analysis to the scientific literature in order to determine the extent to which the protection of digital identity has been lately addressed. The authors of (39) claimed that individuals have a fundamental right to be able to prove, manage, and preserve their identities, both physical and digital. For this reason, governments around the world ought to establish mechanisms that allow for the identification of citizens, the regulation of personal data use, and the protection of their privacy. However, current research on centralized identity management systems shows that they are often vulnerable to attacks to user privacy and identity theft (39), (19), (18), (28). Moreover, a centralized or federated approach to personal data management has generated a fragmented identity, which entails a loss of control over the information on the part of its owners. Since people have no say in the way that their data are stored, they will remain vulnerable to having it used in unintended ways. For instance, when leaks from several centralized sources are contrasted with one another, the identity of users whose data was stored anonymously in any of those sources might be revealed (17), (12). Hence, self-sovereign identity (SSI) was created, in order to allow users to manage their own personal data. With this technology, for instance, users may have a multifaceted identity, composed of a subset of identities, which would allow them to provide any platform or company only with the bare minimum data necessary to obtain the service that users wish to acquire (24). Thus, SSI grants users control of all their information (60) in a secure and decentralized fashion. As an example, Sovrin (64), uPort (16), ShoCard (55), and Civic (15) are frameworks for the deployment of SSI. In order to evaluate the spread of SSIs, this study analyzes the metadata of all articles published on this topic between 2017 and 2022 in the Web of Science and Scopus scientific databases. Moreover, this article provides useful information on the publishing dynamics of articles about SSI. This study was carried out with the bibliometrix package (6) of R (53), given its mathematical functions, statistics, and graphical capacity. The partial results obtained of the bibliometric analysis are available in (52). This article is structured as follows: Section 2 presents a general contextualization of SSI; Section 3 explains the implemented search protocol; Section 4 outlines and analyzes the main findings of the bibliometric study; and Section 5 presents the conclusions.

2. Self-sovereign identity

SSI is a type of decentralized identity protocol in which all information is managed directly by its owner. This system encourages its users to generate a set of unique decentralized identifiers in order to better control, manage, and store their personal data. For instance, SSI provides its users with the possibility of adjusting the amount of identifying information that they are willing to provide to third parties in different contexts. Indeed, not all services require the same type nor amount of data to function: a financial platform does not need access to the user's medical history, for instance, nor does a social network need to know their financial information. With such a system in place, each service would only be granted targeted access

to its user's personal information. (62) define *identity* as the set of attributes of a person (which may be further divided into subsets) that allows them to identify themselves as having this or that role in the real world. Thus, with the aid of a SSI, each of the roles of a person may have a unique and single identifier that acts as a reference to one dimension of their real physical identity.

The ten principles of SSI may be grouped into three categories: (i) security: existence, protection, and persistence; (ii) self-sovereignty: control, consent, and minimization; and (iii) trust: interoperability, transparency, access, and portability. However, proper SSIs must be able to face the problem posed by Zooko's Triangle (40), *i.e.*, to create decentralized unique identifiers that are (i) readable by humans, (ii) secure, and (iii) decentralized. Take, for instance, the case of a hypothetical identity protocol based on a Blockchain address. Any identifier produced in this system would of course be secure, since data could not be modified once it entered the protocol; and it would also be decentralized, since the whole network would guarantee that the same identifier is not assigned to two or more users. However, such an identifier would not be easily readable by humans, given that each identifier would be represented as a long string of hexadecimal characters.

3. Search protocol

This study is based on a bibliometric analysis of the Scopus and Web of Science (WoS) scientific databases. Scopus is a high-quality peer-reviewed database containing more than 82 million documents, over seven thousand publishers, and more than 80 thousand institutions (20). WoS, on its part, contains information from seven indexed databases and four multidisciplinary repositories: (1) The Science Citation Index Expanded, with around 9.200 journals and more than 53 million documents; (2) The Social Sciences Citation Index, with about 3.400 journals and more than 9 million documents; (3) The Arts and Humanities Citation Index, with about 1.800 journals and more than 4,9 million papers; and (4) The Current Chemical Reactions and Index Chemicals (5).

The dataset of bibliographical references analyzed in this study was built by searching documents (articles, conference papers, or article reviews) written in English between January 1, 2017, and April 8, 2022. In order to arrive at a final document list, three iterations of the same process were carried out. In each iteration, a search string was introduced in the search engine of both databases, which resulted in a list of references in the BibTeX format. Thus, the metadata of each reference (author, title, volume, year, keywords, keywords-plus, abstract, publisher, DOI, affiliation, type of document, and references) were downloaded. Then, the entire dataset was analyzed with a reproducible approach, using a script designed with the bibliometrix 4.0 package (6) of the R programming language (version 4.1.3) in the RStudio 2022.02.1+46 editor. This package provides many functions for processing bibliographic references. For instance, it allows for the extraction of terms, the elimination of duplicates, the production of general descriptive data, and the visualization of the networks of interaction among different bibliometric metadata. Finally, the obtained bibliometric outputs were compared, and the search string was adjusted for the next iteration of the process. Table I shows the search string used in the last iteration of the

process.

Table I. Description of the search string used in the last iteration of the process for retrieving the publications on SSI to be analyzed in this study

Scientific databases	Scopus	132
	Web of Science	37
Search terms by	Title	“self-sovereign identity” OR (blockchain-based AND “identity management” OR “digital identity”)
	Keywords	(“Identity Management” OR idm) AND (ssi OR self-sovereign)
Document types	Article, conference paper or review article	
Report date	April 6th, 2022	
Timespan	2017 - 2022	
Language	English	

This process yielded 132 results in Scopus and 37 in WoS. After eliminating 26 duplicate documents, the final set to be analyzed had 143 publications. The BibTeX files downloaded from the databases, as well as their pre-processed version (bibliometrix) are available at (52).

Since the aim of this article is to carry out a bibliometric analysis (section 4), the following research questions will be answered: a) Who are the most productive authors in SSI and what is their distribution? b) What are the main or most relevant publications on SSI? c) Which keywords are the most widely used in SSI and which ones are lately rising in popularity? d) Which journals publish the most articles on SSI?

4. Results and discussion

4.1. Productivity analysis

Table II contains the general bibliometric description of the set of publications obtained after the final iteration of the search process. The 143 documents found between 2017 and 2022 were distributed in 92 sources. However, three journals had a clear advantage in this area over the others: *Lecture notes in computer science* (10 publications), *Frontiers in blockchain* (8 publications), and *IEEE Access* (7 publications), covering 17,48% of the total documents. The results also showed a 43,1% annual growth rate in the publication of articles on SSI.

In addition, it was established that the total 143 articles were written by 366 authors, which shows that collaboration is a key feature of research in this area. Indeed, the results show that there are 0,391 articles per author and 2,56 authors per article; only 19 documents (13,29% of the total) were written by a single author. On the other hand, the analysis showed that the average number of citations per document during the analyzed period was 4,713, which means that each document had an average citation rate of 1,323 per year. Finally, 361 keywords and 639 keywords-plus were found in total.

Table II. General description of the obtained dataset

	Timespan	[2017,2022]
Main information about data	Sources	92
	Annual growth rate	43.1 %
	Total citations	4.495
	Average citations per document	4.713
	Average citations per year per document	1,323
Documents (Total: 143)	Articles	40
	conference papers	97
	Review articles	6
Keywords	Keyword-plus (ID)	639
	Keywords (DE)	361
Authors	All authors	366
	Author appearances	467
	Single-authored documents	19
	Documents per author	0.391
	Authors per documents	2.56

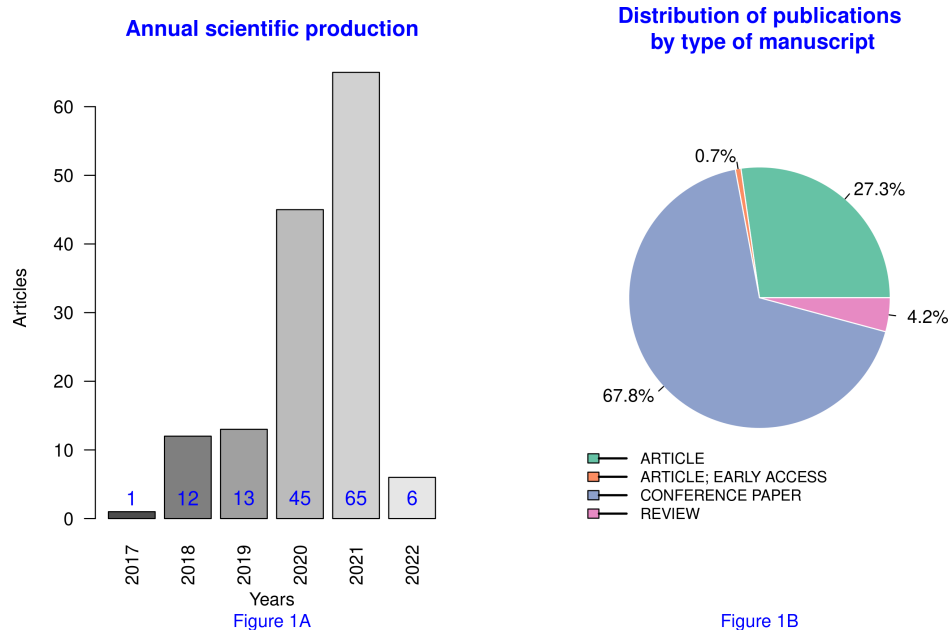
**Figure 1.** Annual scientific production (left) and distribution of publications by type of manuscript (right)

Fig. 1a illustrates the growing trend of publications on this topic, for the vast majority of scientific literature was produced in the second half of the analyzed period; 31, 47% and 45, 45% of the total articles published on SSI appeared during 2020 and 2021, respectively. Fig. 1b classifies the analyzed documents by type and shows that the majority of them were conference papers.

4.2. Bibliometric analysis of authors

Table III shows the top 15 authors analyzed in this study in terms of volume of publications.

Table III. Top 15 most productive authors

Author	Frequency	Author	Frequency (fractional)
JENKINS P	7	JENKINS P	3,333333
NAIK N	7	NAIK N	3,333333
LIU Y	5	KULABUKHOVA N	2,250000
AN A	4	PANAIT A	2,166667
BANDARA E	4	LOCKWOOD M	2,000000
FOYTIK P	4	ANTONIDOSS A	1,500000
LIANG X	4	GIANNOPOULOU A	1,500000
LU Q	4	LIU Y	1,366667
MEINEL C	4	AN A	1,333333
NGUYEN U	4	NGUYEN U	1,333333
PANAIT A	4	SOLTANI R	1,333333
SHETTY S	4	ISHMAEV G	1,250000
SOLTANI R	4	KUBACH M	1,250000
ABRAHAM A	3	MEINEL C	1,166667
ANTONIDOSS A	3	OLIMID R	1,166667
Table III-A		Table III-B	

Despite them being a mere 4,10% of the total number of authors, they wrote 45,45% of the total articles. The frequency column of Table IIIa reports the total number of documents published by each author. The fractional frequency column of IIIb shows the distribution value, across all published documents, of each author. This value was normalized by dividing each document by the number of authors, which allowed assigning a numeric “contribution value” to each author for each of the documents that they published. Finally, the total fractional frequency for each author was calculated by adding all of their individual contribution values.

The relationship of authors per document shows an asymmetric distribution, is positive skewed with skewness values of 3,865335 for the 366 authors and 1,508548 for the top of 15 authors with the highest production, and leptokurtic with kurtosis values of 21,27048 for all authors and 4,325208 for the 15 most productive ones (Table IV). A high number of authors can be seen in a single publication, 84,43% (309 of 366), compared to 9,02% (33 of 366) with two documents and 6,56% (34 of 366) with three or more publications (Fig. 2a). Fig. 2b shows the distribution for the 15 most productive authors. Table IV presents the values of asymmetry, kurtosis, mean, median, variance, and standard deviation for both the 366 authors and the top 15.

Table V lists the citation metrics for the top 15 authors. The h-index measures productivity and impact by showing the number of articles (x) of a given author that have at least that number (x) of citations. This means that an author’s h-index cannot be higher than their total number of publications. The g-index, on the other hand, compares the accumulated citation frequency of

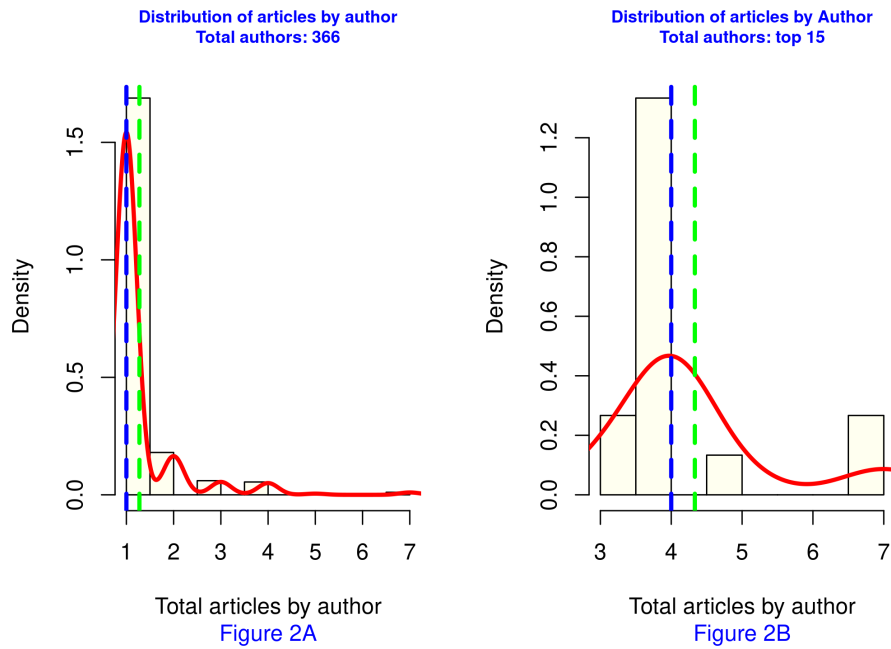


Figure 2. Distribution of documents by author. All authors (left) and top 15 authors (right)

Table IV. Values of the main statistic measurements for all authors and the top 15 ones

	Skewness	Kurtosis	Mean	Median	Variance	Standard Deviation
All Authors	3.863535	21.27048	1.275956	1	0.6222696	0.7888407
Top 15 Authors	1.508548	4.325208	4.333333	4	1.380952	1.175139

each author against their number of published articles squared. Finally, the m-index divides the h-index by the number of years during which a given author has been publishing.

The first two authors featured in Table V, Paul Jenkins and Nitin Naik, began publishing in 2020. They have co-authored 7 documents, 6 of which have been cited. They both have an h-index of 4, a g-index of 1,333, and a total of 48 citations. These authors have published on SSI frameworks such as Sovrin (45) (46) and Uport (43); security risk analysis in SSI (41); access control and regulations such as GDPR (44); the principles of SSI (42); and digital wallets for SSI (42). Aijun An, Reza Soltani, and Uyen Trang Nguyen, positions 3, 5, and 6 in Table V, are co-authors of 4 articles, 3 of which have been cited. They have an h-index of 3, g-index of 4, and 27 citations. The topics of their articles are SSI ecosystem reviews (58), cryptographic key management (57), (56), and platform development for SSI (59). The author in the fourth position is Yang Liu, who has 5 published articles, an h-index of 3, a g-index of 5, and 42 citations. His research topics are review on identity management with blockchain (35) and platforms design

Table V. h-index, m-index and g-index of the top-15 authors

Author	h-index	g-index	m-index	Citations	Documents	Start year
JENKINS P	4	6	1.3333333	48	6	2020
NAIK N	4	6	1.3333333	48	6	2020
AN A	3	4	0.6000000	27	4	2018
LIU Y	3	5	0.7500000	42	5	2019
NGUYEN U	3	4	0.6000000	27	4	2018
SOLTANI R	3	4	0.6000000	27	4	2018
ABRAHAM A	2	2	0.6666667	7	2	2020
LU Q	2	4	0.6666667	16	4	2020
MEINEL C	2	2	0.4000000	15	2	2018
PANAIT A	2	2	0.6666667	9	4	2020
BANDARA E	1	1	0.5000000	2	2	2021
FOYTIK P	1	1	0.5000000	2	2	2021
LIANG X	1	1	0.5000000	2	2	2021
SHETTY S	1	1	0.5000000	2	2	2021

for SSI (36), (37), (35), (65). Qinghua Lu has an h-index of 2, a g-index of 4, and 16 citations. Furthermore, he co-authored 3 articles with Yang Liu. He also co-authored a paper on identity and the Internet of Things (IoT) (13). Eranga Bandara, Xueping Liang, Peter Foytik, and Sachin Shetty have co-authored 4 articles since 2021. They have an h-index of 1, a g-index of 1, and 2 citations in total. Their research topics are information exchange in SSI (7); development of platforms for SSI (9), (10); and privacy (8). Then comes Andreas Abraham, with an h-index of 2, a g-index of 2, and 17 citations. His research topics are digital wallets for SSI (3); verifiable credentials (2); and privacy (1). Christoph Meinel comes next, with an h-index of 2, a g-index of 2, and 15 citations. His articles are related to architecture for SSI (27), (26); SSI ecosystem reviews (54); and trust (25). Finally, the last author featured in Table V is Andreea-Elena Panait, with an h-index of 2, a g-index of 2, and 9 citations. Her research topics are security and privacy (51); zero-knowledge proofs (49); blockchain and digital identity (48); and frameworks for SSI (50). In summary, the top 15 authors on SSI can be grouped according to their collaborations. The authors that exclusively publish as a team are grouped in the first category: A1(Paul Jenkins and Nitin Naik), A2(Aijun An, Reza Soltani, and Uyen Trang Nguyen), and A3(Eranga Bandara, Xueping Liang, Peter Foytik, and Sachin Shetty). The authors that sometimes collaborate with each other are grouped in the second category: B1(Yang Liu and Qinghua Lu). Finally, the authors without co-authorships are grouped in the third category: Andreas Abraham, Christoph Meinel, and Andrea-Elena Panait.

Fig. 3a shows the participation of each top-15 author in the total 65 articles written by this upper section of researchers on SSI. This information may be used to prioritize the most important articles for a literature review on this topic. Fig. 3b shows the number of authors per document of the total 143 articles analyzed. Thus, an overview on cooperation among researchers on SSI was obtained.

The Most Productive Authors
Total articles: 65

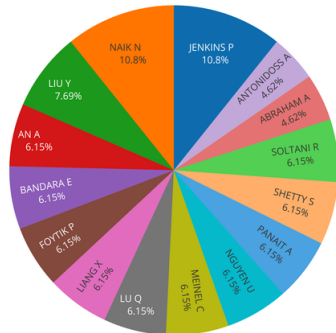


Figure 3A

Number of authors per article
Total articles: 143

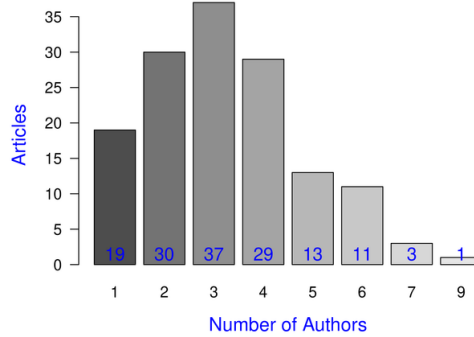


Figure 3B

Figure 3. Productivity of the top 15 authors (left) and number of authors per document in the total articles on SSI (right)

Fig. 4 shows the publication timeline of the top 15 authors in SSI. The size of the circles in the graph is proportional to the number of documents published by each author, and the intensity of their color varies according to their citation index. Moreover, this figure shows which authors have had a constant output throughout the years. Considering all of these factors at once allows tracking the relevance of each author in the field. For instance, it could be noted that some authors had a high volume of publications in some years, but not so many citations, which indicates that some of their publications were not so influential.



Figure 4. Author-productivity timeline (top 15)

Finally, Fig. 5 and Table VI show how Lotka's law applies to the articles analyzed in this study. This law states that there is always an unequal distribution of impact and productivity among

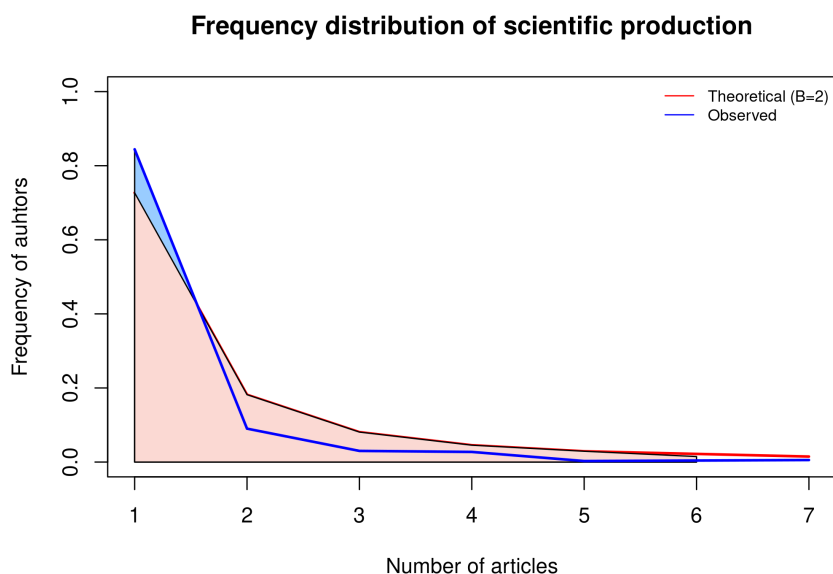


Figure 5. Author distribution (according to Lotka's law)

the authors researching any given topic (38). Thus, the most relevant publications, regardless of the research area, will most likely be concentrated in a reduced number of authors. This common distribution makes it possible to quickly identify the most important authors in a given research field, but other factors must always be taken into account. Indeed, the quality of the top publications in different areas may vary, for instance, according to the popularity and nature of each research topic. Considering additional factors is always useful to compensate for the possible biases in some fields, which may lead to the exclusion of quality articles and authors from the (allegedly) most impactful group. To sum up, the application of Lotka's law entails the creation of an inverse square model, where the number of authors A_n with n publications is inversely proportional to n^2 .

Table VI. Author participation in academic production on SSI

Authored or co-authored documents	Authors	Frequency observed
1	309	0.8442623
2	33	0,0901639
3	11	0,0300546
4	10	0,0273224
5	1	0,0027322
7	2	0,0054645

Table VI shows the results of applying Lotka's law to the dataset chosen for this study. Of the total 366 authors evaluated, 309 (84,43%) participated only in one publication, 33 (9,02%) in two, 11 (3,01%) in three, 10 (2,73%) in four, one (0,27%) in five, and finally two (0,55%)

in seven articles. Moreover, the actual beta coefficient was 2,8038, as opposed to the theoretical value of 2, with a constant of 0,7269 and a Kolmogorov-Smirnoff K-S goodness of fit of 0,910035 (p-value = 0,89278, independent samples t-test). Finally, the Kolmogorov-Smirnoff K-S test allowed concluding that the null hypothesis (H0), *i.e.*, the distribution follows the Lotka model, was most likely correct. Thus, given the p-value of the test, the null hypothesis was not rejected, with a confidence level of 85 %.

4.2.1. Geographical distribution

Table VII groups the publications according to the country of origin of the authors and classifies them into two categories: single-country publications (SCP), publications with authors of a single nationality; and multiple-country publications (MCP), publications by authors of different nationalities.

Table VII. Geographical distribution the authors

Country	Documents	Citation frequency	SCP	MCP	MCP-rate
CHINA	12	0,1875	7	5	0,417
NETHERLANDS	5	0,0781	4	1	0,200
ROMANIA	5	0,0781	4	1	0,200
USA	5	0,0781	3	2	0,400
GERMANY	4	0,0625	4	0	0,000
INDIA	4	0,0625	4	0	0,000
ITALY	4	0,0625	4	0	0,000
BANGLADESH	3	0,0469	2	1	0,333
UNITED KINGDOM	3	0,0469	3	0	0,000
AUSTRALIA	2	0,0312	1	1	0,500

Moreover, Table VII shows that China has positioned itself as a relevant player in the blockchain ecosystem, since 18,75 % of the total analyzed citations were of Chinese authors (63). The Netherlands ranks second, followed by Romania and the United States. The latter had a 7,81 % frequency of citation and a lower level of international cooperation.

4.3. Most relevant sources

Table VIII contains the 15 sources with the highest number of publications on SSI, *i.e.*, 41,96 % of the total evaluated documents appeared in one of said sources. The total number of published documents, the h-index, and the quartile is indicated when available in the Scimago index (32). It is worth noting that 11 of the top 15 sources are periodic conferences that publish the papers presented in them, which reflects a high positive impact on the dissemination of research results on SSI in this type of events. *IEEE Access* was the most influential source, according to its ranking (Q1) and its h-index (127), followed by *Frontiers in Blockchain*, a peer-reviewed and open-access journal with a multidisciplinary approach to blockchain.

Table VIII. Most relevant sources (top 15)

Sources	Documents	Type	h-index	Rank
Lecture Notes in Computer Science	10	Conference Proceedings, Book Series	400	Q3
		https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=25674&tip=sid&clean=0		
Frontiers in Blockchain	8	Journal	-	-
		https://www.frontiersin.org/journals/blockchain		
IEEE Access	7	Journal	127	Q1
		https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100374601&tip=sid&clean=0		
Lecture Notes in Informatics (Lni) Proceedings	5	Conference Proceedings	25	-
		https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100229106&tip=sid&clean=0		
ACM International Conference Proceeding Series	4	Conference Proceedings	123	-
		https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=11600154611&tip=sid&clean=0		
Lecture Notes in Networks and Systems	4	Conference Proceedings	14	Q4
		https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100901469&tip=sid&clean=0		
2018 IEEE International Conference on Internet of Things and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom)	4	Conference Proceedings	-	-
		https://www.computer.org/csdl/proceedings/1800308		
Ifip Advances in Information and Communication Technology	3	Conference Proceedings	53	Q3
		https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=19400157163&tip=sid&clean=0		
Lecture Notes in Business Information Processing	3	Conference Proceedings, Book Series	49	Q3
		https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=17500155101&tip=sid&clean=0		
2ND Conference On Blockchain Research & Applications for Innovative Networks And Services	2	Conference Proceedings	-	-
		https://brains.dnac.org/2020/		
2020 International Symposium On Networks Computers And Communications Isncc 2020	2	Conference Proceedings	-	-
		https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9297148/proceeding		
Advances In Intelligent Systems And Computing	2	Conference Proceedings, Book Series	41	-
		https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=5100152904&tip=sid&clean=0		
Applied Sciences	2	Journal	52	Q2
		https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100829268&tip=sid&clean=0		
Future Internet	2	Journal	28	Q2
		https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100409311&tip=sid&clean=0		
Global Internet of Things Summit (GIoTS)	2	Conference Proceedings	-	-
		https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9116578/proceedin		

Bradford's law divides a set of sources into three zones, each one of which contains approximately one third of the total number of articles on a given topic. The first zone is the core zone, as it groups the documents of the journals that have published the most on a given topic (14). The documents grouped in the second zone are those of journals with a relatively low impact. A greater number of these low-impact journals would be required to match the impact of any of the journals grouped in the core zone. Finally, the third zone groups the articles that have an even lower impact than those in the second zone. The impact of the articles decreases exponentially with each step from one zone to the next. Bradford's law identifies the distribution

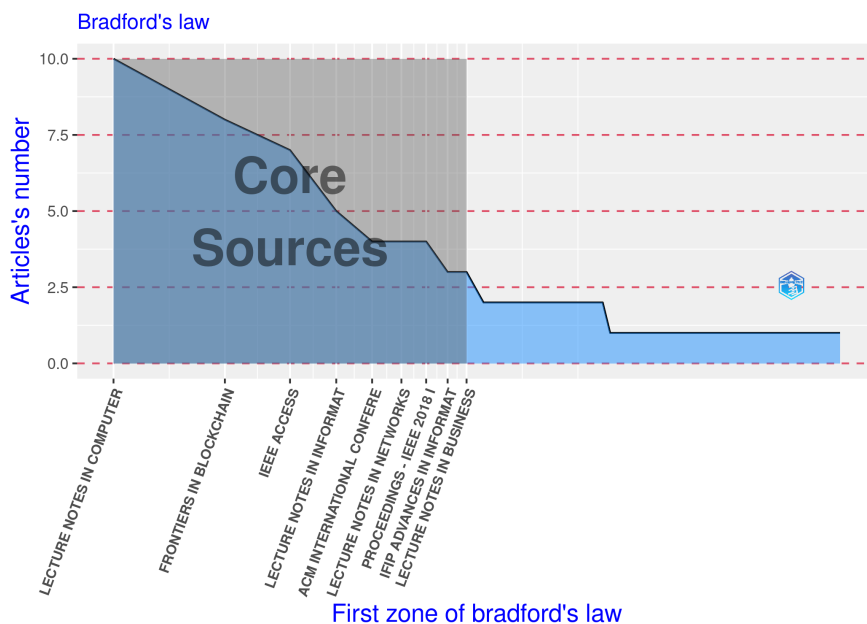


Figure 6. Bradford's law applied to the set of publications on SSI

of the sources in a given research area, and, for this reason, it can be used as a selection/exclusion criterion in a systematic literature review. Considering journals outside of the core zone would entail diminishing returns, increasingly, as one moves further away from it. Fig. 6 shows the results of applying Bradford's law to our research topic: the core zone, in this case, is made up of 48 articles (33,57% of the total) and 9 sources (9,78% of the total); the second zone comprises 48 articles (33,57%) and 36 sources (39,13%); the third zone contains 47 articles (32,86%) and 47 sources (51,09%). Thus, a linear regression analysis shows a strong negative correlation between the number of journals grouped in each zone and the impact of the documents of said journals. Indeed, a correlation coefficient (Pearson's r) of $-0,72341$ and a coefficient of determination (R^2) of $0,523322$ were obtained.

4.4. Keywords

Fig. 7 depicts, through a word cloud, the keyword frequency (Fig. 7a) and the keywords-plus frequency (Fig. 7b) of the set of publications analyzed.

It is clear that technological elements such as distributed ledger technology, zero-knowledge proofs, and frameworks for SSI are crucial for research on this topic. Additionally, the principles and characteristics of SSI, such as decentralized identifiers, authentication, verifiable credentials, privacy, security, trust, access control, sovereignty, decentralization, and data protection (GDPR, EIDAS), are often given much attention. On the other hand, the analysis of keywords-plus (*i.e.*, a keyword list created by an algorithm that scans certain parts of the contents of each article) showed the importance of the IoT, data privacy, design for privacy, digital identity management,

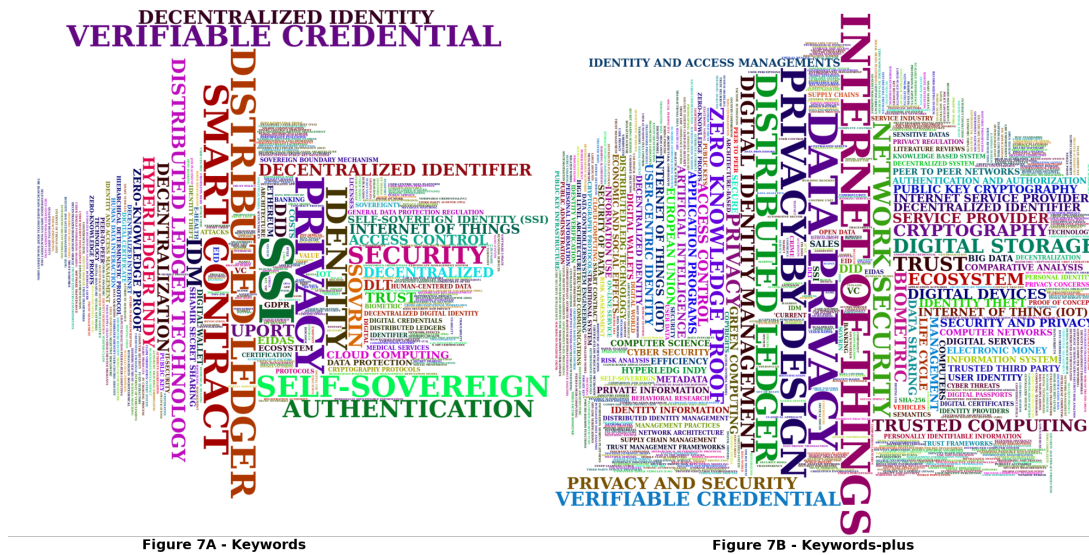


Figure 7. Keyword and keyword-plus cloud

and network security for researchers on SSI. Moreover, the 361 keywords featured in the articles of the dataset had a cumulative frequency of 811. The 15 keywords with the highest frequency were blockchain (11,47%), self-sovereign identity (8,88%), identity management (4,81%), digital identity (2,84%), SSI (2,22%), privacy (1,85%), distributed ledger (1,6%), identity management system (1,6%), smart contract (1,6%), identity (1,36%), self-sovereign (1,36%), verifiable credential (1,36%), authentication (1,11%), security (1,11%), and IDM (0,99%). On the other hand, the 639 terms identified as keywords-plus had a cumulative frequency of 1,255. The 15 keywords-plus with the highest frequency were blockchain (7,25%), authentication (3,51%), identity management (3,51%), electronic document identification system (2,71%), digital identity (2,55%), self-sovereign identity (2,07%), identity management system (1,99%), data privacy (1,20%), Internet of Things (1,20%), information management (1,04%), privacy by design (1,04%), decentralized (0,88%), distributed ledger (0,88%), network security (0,72%), and privacy preserving (0,72%).

Table IX groups keywords and keywords-plus into four different categories: identity (C1), SSI (C2), attributes and principles (C3), and technological elements (C4). Fig. 8 presents the keyword-interconnection map (Fig. 8a) and the keyword-plus-interconnection map (Fig. 8b) obtained by determining the relationships between the terms collected and organized in Table IX.

The keyword-interconnection map comprises two main sections (red and blue), while the keyword-plus-interconnection map has three (red, green, and purple) surrounding a core concept: blockchain. Fig. 8a shows that authors have a tendency, in their keyword selection, to relate sovereign identity with security, trust, regulations for personal digital identification process —such as the Digital Identification Regulation in Europe (EIDAS)—, privacy, access

Table IX. Most frequent keywords and keywords-plus and their use by the top 15 authors

Category	Keywords	Keywords (361)	Keywords-plus (639)
C1- Identity	DIGITAL IDENTITY	23	32
	IDENTITY MANAGEMENT	39	44
	IDENTITY MANAGEMENT SYSTEM	13	25
	IDM	8	
	IDENTITY	11	
C2 - SSI	SELF-SOVEREIGN IDENTITY	72	26
	SSI	18	
	PRIVACY	15	
C3 - Attributes, principles	DATA PRIVACY		15
	PRIVACY BY DESIGN		13
	PRIVACY PRESERVING		9
	AUTHENTICATION	9	44
	SECURITY	9	
	VERIFIABLE CREDENTIAL	11	
	SELF-SOVEREIGN	11	
	DECENTRALIZED		11
C4 - Technological elements	DISTRIBUTED LEDGER	13	11
	BLOCKCHAIN	93	91
	SMART CONTRACT	13	
	ELECTRONIC DOCUMENT IDENTIFICATION SYSTEM		34
	INTERNET OF THINGS		15
	INFORMATION MANAGEMENT		13
	NETWORK SECURITY		11

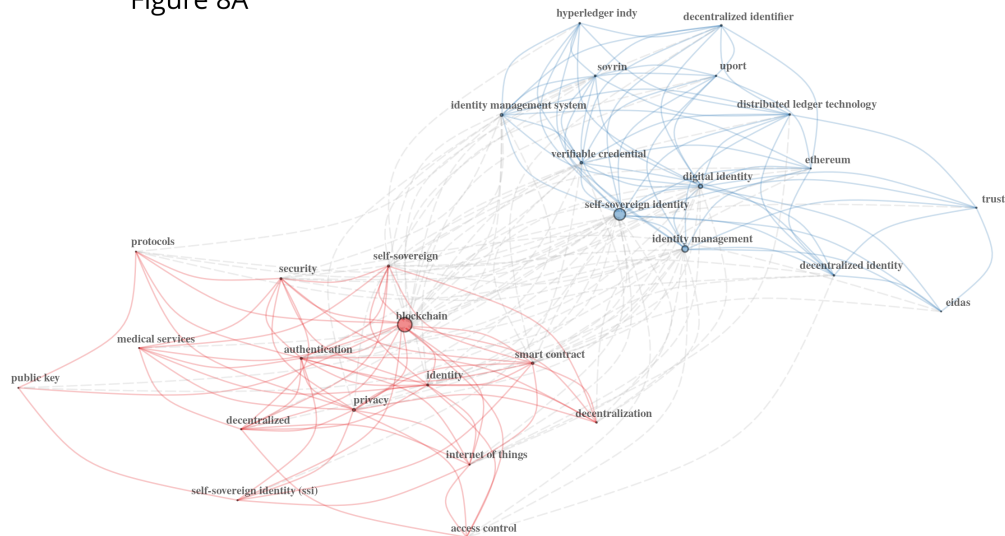
control, and authentication. They also tend to associate the concept of identity management with decentralization and self-sovereignty, distributed ledger technology, the Ethereum blockchain, decentralized identifiers, verifiable credentials, and frameworks for SSI such as Uport, Hyperledger Indy, and Sovrin. The blue section of the map roughly corresponds to the keywords in the C1 and C4 categories described in Table IX, while the red section corresponds to the C2 and C3 categories.

In Fig. 8b, on the other hand, the purple section of the map covers some of the keywords-plus grouped in the C3 category, in addition to some other important terms such as cryptography, zero-knowledge proofs, reliable computing, and cybersecurity. The green section of the map is focused on digital identity, linking identity management with authorization, authentication, security, privacy, and public keys. The terms covered in this section mostly belong to the C1 and C3 categories. Finally, the red section of the map relates concepts from all four categories, plus two additional concepts that were previously uncategorized: (i) user-centric identity with verifiable and decentralized credentials and (ii) identity-theft analyses and risk assessments.

To conclude this section, Fig. 9 shows the accumulated frequency of keyword use between 2018 and 2022. The notable increase in the appearance of blockchain among the keywords of articles on self-sovereign identity highlights the ever-growing importance of this disruptive technology in that area. On the other hand, the growing interest in identity management becomes clear by looking at the increase in the use of the following keywords: identity management,

keywords map

Figure 8A



keywords-plus map

Figure 8B

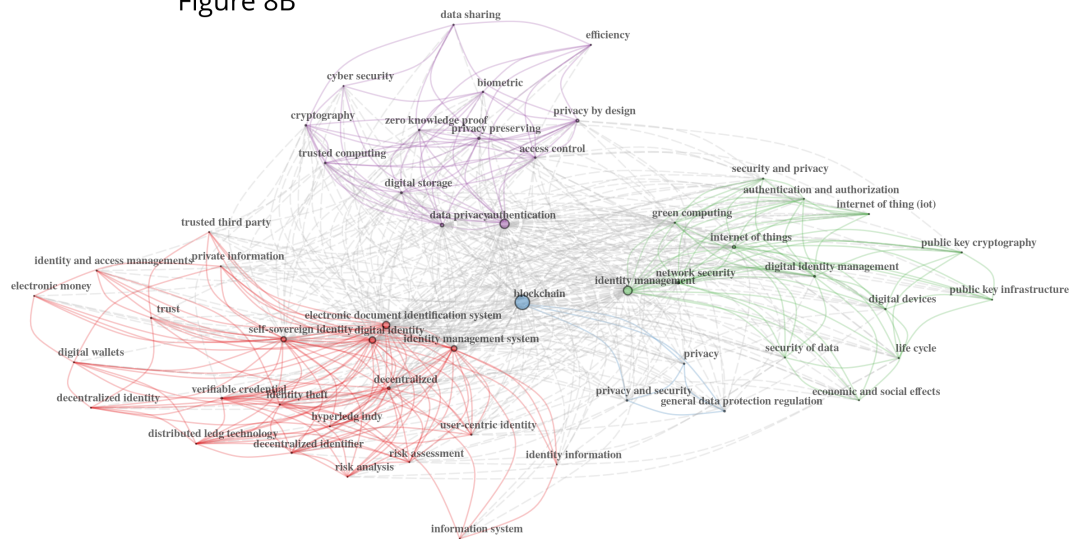


Figure 8. Keyword-interconnection and keyword-plus-interconnection maps

electronic document identification systems, digital identity, identity management systems, and self-sovereign identity. Finally, the data shows that research has focused on authentication, privacy by design, and data regulations such as GDPR.

Finally, Fig. 10 shows the keyword use tendencies, as a percentage of the total number of articles published in a given year, for the top 15 keywords in the 2018-2022 period. The fact that

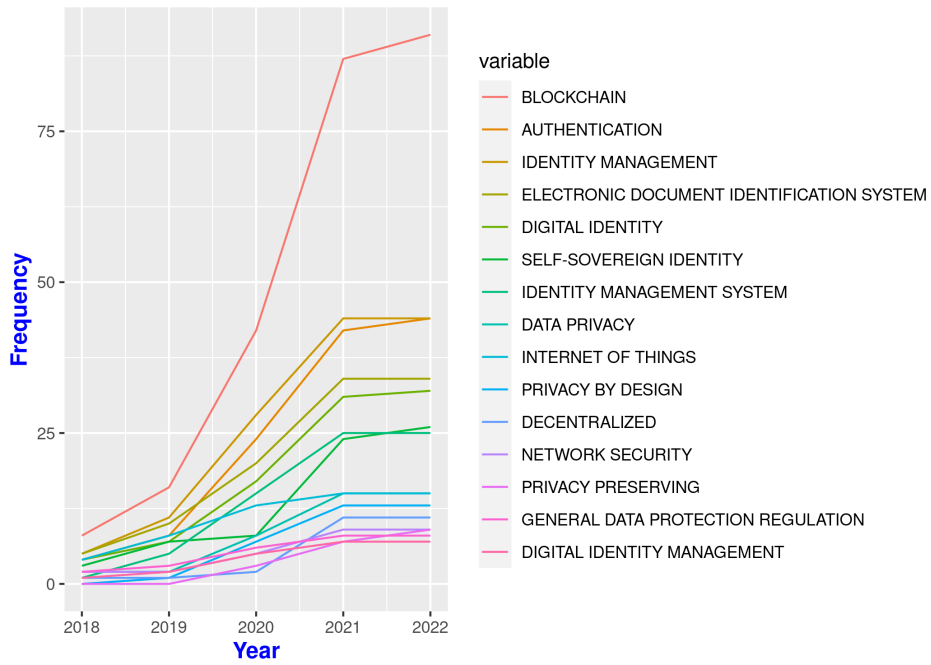


Figure 9. Cumulative frequency of the top 15 keywords (2018-2022)

Keyword use tendencies (2018-2022)

(as a % of the total published articles)

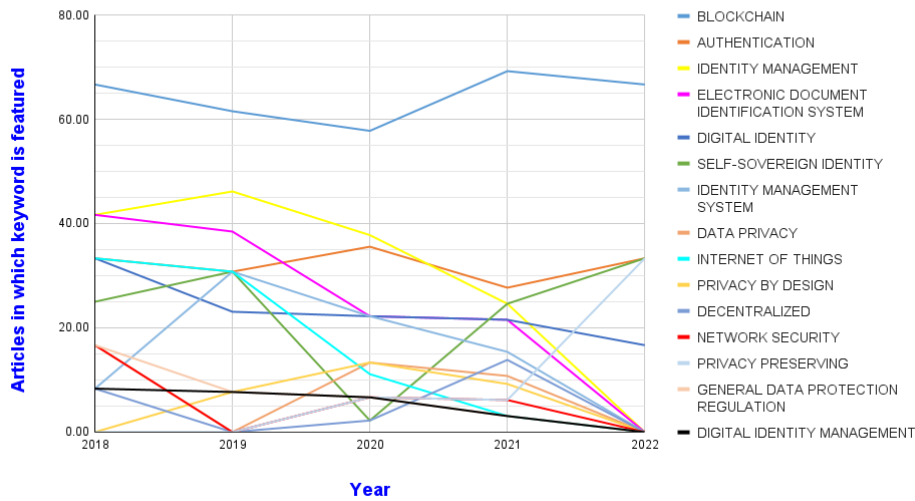


Figure 10. Keyword use tendencies (2018-2022)

blockchain has been included as a keyword in more than half of the articles on SSI throughout the whole timeframe under study, even taking into account the overall increase in academic production on that topic, also goes to show the importance of this technology for the development of new approaches to personal identity management.

4.5. Citations analysis

4.5.1. Most cited articles

A high citation index in an article is often telling of its quality and relevance. Moreover, highly cited articles are useful for analyzing the evolution of and the interactions within a line of research. Table X lists the 15 articles with the highest number of citations, along with their average number of citations per year.

Table X. Top 15 most cited articles

Ref.	Article title	Year	Citations	Average per year
(40)	A survey on essential components of a self-sovereign identity	2018	60	12,000000
(61)	Deployment of a blockchain-based self-sovereign identity	2018	35	7,000000
(34)	Blockchain-based identity management systems: A review	2020	27	9,000000
(33)	A new transitively closed undirected graph authentication scheme for blockchain-based identity management systems	2018	27	5,400000
(21)	BPDIMS: A blockchain-based personal data and identity management system	2019	25	6,250000
(23)	Blockchain-based identity management with mobile device	2018	25	5,000000
(22)	In search of self-sovereign identity leveraging Blockchain Technology	2019	23	5,750000
(47)	The horcrux protocol: A method for decentralized biometric-based self-sovereign identity	2018	23	4,600000
(31)	Blockchain-based identity management: A survey from the enterprise and ecosystem perspective	2020	22	7,333333
(11)	WiP: A novel blockchain-based trust model for cloud identity management	2018	21	4,200000
(66)	A survey on blockchain-based identity management systems for the internet of things	2018	20	4,000000
(29)	Analysis of identity management systems using blockchain technology	2019	18	4,500000
(4)	DNS-IdM: A blockchain identity management system to secure personal data sharing in a network	2019	17	4,250000
(62)	Self-sovereign identity in a globalized World: Credentials-based identity systems as a driver for economic inclusion	2020	17	5,666667
(30)	Self-sovereign identity on public blockchains and the GDPR	2020	17	5,666667

The articles published during 2018 focused on two main issues. On the one hand, they dealt with the organization and documentation of the scientific production on SSI, as well as the identity management for devices in the IoT. The article written by (40), with 60 citations and an average of 12 references per year, is particularly noteworthy in this area. Indeed, not only do they use the principles proposed by Christopher Allen (60) in order to contextualize SSI, but they present a general architecture for SSI, describe the authentication and identification operations necessary for it to work, explain the importance of verifiable credentials, and outline some data-storage challenges that would arise in any attempt to implement SSI. On the other hand, the

articles published in 2018 dealt with the design of decentralized systems for the implementation of SSI. The work of Quiinten Stokkink and Johan Pouwelse (61) stands out in particular. They analyze the problems of designing SSI and focus particularly in portability. Moreover, they explore minimization of disclosure, interoperability, and data protection (four out of Christopher Allen's ten principles). Finally, they include systems like TrustChain or Tangle in their design in order to store credentials and their metadata, as well as to verify them in the future.

5. Conclusions

This article presents a comprehensive bibliometric survey of the literature on self-sovereign identity published between 2017 and 2022 and indexed in WoS and Scopus. The analysis offers an overview of the current state of the research on SSI and its changes over the years. The set of evaluated publications is made up of 143 articles, out of which 67,8% are conference papers, 28% are articles and 4,2% are review articles. These articles were written by 366 authors from 274 countries, were published in 92 journals, and were cited 4,479 times. China is currently dominating the academic production in this area (44,44% of the total articles were written by authors of Chinese origin), followed by the Netherlands, Romania, and the USA. Furthermore, there was an annual publication growth rate of 43,09% between 2018 and 2022. Keyword examination considered 361 terms included directly by authors in their articles and 639 keyword-plus terms. A word cloud was constructed to offer an easily-readable depiction of the influence of each term, and the analysis was supplemented with a keyword-interconnection map. This analysis highlighted the impact of crucial terms for SSI, such as blockchain, identity management, electronic document identification system, and digital identity. Regarding the authors, Lotka's law allowed distinguishing specialized authors from transitory ones. Indeed, it could be observed that 24 (6,56%) authors out of a total 366 authored or co-authored 92 (64,34%) of the total 143 publications. Jenkins P., Naik N. (with seven published papers and an observed frequency of 0,0054645), and Liu Y. (with five documents and an observed frequency of 0,0027322) were the most specialized authors of the entire group. Very much in the same vein, Bradford's law helped to determine the main sources where most of the knowledge on SSI is being published: *Lecture Notes in Computer Science*, *Frontiers in Blockchain*, *IEEE Access*, *Lecture Notes in Informatics Proceedings*, *ACM International Conference Proceeding Series*, *Lecture Notes in Networks and Systems*, *2018 IEEE International Conference on Internet of Things and IEEE Green Computing and Communications*, *Advances in Information and Communication Technology*, and *Lecture Notes in Business Information Processing*.

6. Author contributions

All authors contributed equally to the research.

References

- [1] A. Abraham, K. Koch, S. More, S. Ramacher, and M. Stopar, "Privacy-preserving eID derivation to self-sovereign identity systems with offline revocation," in *TrustCom*, pp. 506-513, 2021. <https://doi.org/10.1109/TrustCom53373.2021.00080> ↑9
- [2] A. Abraham, S. More, C. Rabensteiner, and F. Hörandner, "Revocable and offline-verifiable self-sovereign identities," in *TrustCom*, pp. 1020-1027, 2020. <https://doi.org/10.1109/TrustCom50675.2020.00136> ↑9
- [3] A. Abraham, C. Schinnerl, and S. More, "SSI strong authentication using a mobile-phone based identity wallet reaching a high level of assurance," in *Secrypt 2021*, pp. 137-148, 2021. <https://doi.org/10.5220/0010542801370148> ↑9
- [4] J. A. Kassem, S. Sayeed, H. Marco-Gisbert, Z. Pervez, and K. Dahal, "DNS-IdM: A blockchain identity management system to secure personal data sharing in a network," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 15, art. 2953, Jul. 2019. <https://doi.org/10.3390/app9152953> ↑19
- [5] Clarivate Analytics, "Web of science", 2022. [Online]. Available: <https://clarivate.com/> ↑4
- [6] M. Aria and C. Cuccurullo, "bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis," *J. Informetr.*, vol. 11, no. 4, pp. 959-975, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007> ↑3,4
- [7] E. Bandara, X. Liang, P. Foytik, and S. Shetty, "Blockchain and self-sovereign identity empowered cyber threat information sharing platform," in *Smartcomp*, 2021, pp. 258-263. <https://doi.org/10.1109/SMARTCOMP52413.2021.00057> ↑9
- [8] E. Bandara et al., "A blockchain empowered and privacy preserving digital contact tracing platform," *Inf. Process. Manag.*, vol. 58, no. 4, art. 102572, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102572> ↑9
- [9] E. Bandara, X. Liang, P. Foytik, S. Shetty, and K. De Zoysa, "A blockchain and self-sovereign identity empowered digital identity platform," In *2021 ICCCN*, 2021, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1109/ICCCN52240.2021.9522184> ↑9
- [10] E. Bandara et al., "Promize - blockchain and self-sovereign identity empowered mobile atm platform," in *Intelligent Computing. Lecture Notes in Networks and Systems.*, K. Arai, Ed., Berlin, Germany: Springer, 2021, vol. 284, pp. 891-911. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80126-7_63 ↑9
- [11] K. Bendiab, N. Kolokotronis, S. Shiaeles, and S. Boucherkha, "Wip: A novel blockchain-based trust model for cloud identity management," in *2018 IEEE 16th Intl. Conf Dependable, Autonomic Sec. Comp., 16th Int. Conf. Perv. Intell. Comp., 4th Int. Conf. Big Data Intell. Comp. and Cyber Sci. Tech. Congress (DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTech)*, 2018, pp. 724-729. <https://doi.org/10.1109/DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTec.2018.00126> ↑19
- [12] J. Bernal-Bernabe, J. L. Canovas, J. L. Hernández-Ramos, R. Torres-Moreno, and A. Skarmeta, "Privacy-preserving solutions for blockchain: Review and challenges," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1-33, Nov. 2019. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2950872> ↑3

- [13] M. A. Bouras, Q. Lu, S. Dhelim, and H. Ning, "A lightweight blockchain-based IoT identity management approach", *Fut. Int.*, vol. 13, no. 2, art. 24. 2021. <https://doi.org/10.3390/fi13020024> ↑9
- [14] B.C. Brookes, "'Sources of information on specific subjects" by S.C. Bradford," *J. Inf. Sci. Eng.*, vol. 10, no. 4, pp. 173-175, 1985. <https://doi.org/10.1177/016555158501000406> ↑13
- [15] Civic Technologies, "Civic whitepaper," 2017. [Online]. Available: <https://tokensale.civic.com/CivicTokenSaleWhitePaper.pdf> ↑3
- [16] ConsenSys, "uPort – Tools for Decentralized Identity and Trusted Data," 2020. [Online]. Available: <https://www.uport.me/> ↑3
- [17] Y. A. De Montjoye, E. Shmueli, S. S. Wang, and A. S. Pentland, "OpenPDS: Protecting the privacy of metadata through SafeAnswers," *PLoS One*, vol. 9, no. 7, art. 9, 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098790> ↑3
- [18] DIF Foundation, "DIF - decentralized identity foundation," 2020. [Online]. Available: <https://identity.foundation/> ↑3
- [19] P. Dunphy and F. A. P. Petitcolas, "A first look at identity management schemes on the blockchain," *IEEE Secur. Priv.*, vol. 16, no. 4, pp. 20-29, 2018. <https://doi.org/10.1109/MSP.2018.3111247> ↑3
- [20] Elsevier, "Scopus," 2022. [Online]. Available: <https://www.elsevier.com/solutions/scopus> ↑4
- [21] B. Faber, G. Michelet, N. Weidmann, R. R. Mukkamala, and R. Vatrappu, "BPDIMS: A blockchain-based personal data and identity management system," in *52nd Hawaii Int. Conf. Sys. Sci.*, 2019, pp. 6855-6864. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2019.821> ↑19
- [22] Md. S. Ferdous, F. Chowdhury, and M. O. Alassafi, "In search of self-sovereign identity leveraging blockchain technology," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 103059-103079, 2019. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2931173> ↑19
- [23] Z. Gao et al., "Blockchain-based identity management with mobile device," in *CryBlock'18*, 2018, pp. 66-70. <https://doi.org/10.1145/3211933.3211945> ↑19
- [24] G. Goodell and T. Aste, "A decentralized digital identity architecture," *Front. Blockchain*, vol. 2, pp. 1-19, 2019. <https://doi.org/10.3389/fbloc.2019.00017> ↑3
- [25] A. Grüner, A. Mühle, T. Gayvoronskaya, and C. Meinel, "A quantifiable trust model for blockchain-based identity management," in *iThings/ GreenCom/ CPSCOM/ SmartData/ Blockchain/ CIT 2018*, 2018, pp. 1475-1482. https://doi.org/10.1109/Cybermatics_2018.2018.00250 ↑9
- [26] A. Grüner, A. Mühle, and C. Meinel, "An integration architecture to enable service providers for self-sovereign identity," in *2019 IEEE 18th Int. Symp. Network Comp. App. (NCA)*, 2019, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/NCA.2019.8935015> ↑9
- [27] A. Grüner, A. Mühle, and C. Meinel, "ATIB: Design and evaluation of an architecture for brokered self-sovereign identity integration and trust-enhancing attribute aggregation for service provider," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 138553-138570, 2021. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3116095> ↑9

- [28] O. J. Gstrein and D. Kochenov, "Digital identity and distributed ledger technology: Paving the way to a neo-feudal brave new world?" *Front. Blockchain*, vol. 3, art. 00010, 2020. <https://doi.org/10.3389/fbloc.2020.00010> ↑3
- [29] S. El Haddouti and M. Dafir Ech-Cherif El Kettani, "Analysis of identity management systems using blockchain technology" in *CommNet*, 2019, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1109/COMMNET.2019.8742375> ↑19
- [30] G. Kondova and J. Erbguth, "Self-sovereign identity on public blockchains and the GDPR," in *SAC'20*, 2020, pp. 342-345. <https://doi.org/10.1145/3341105.3374066> ↑19
- [31] M. Kuperberg, "Blockchain-based identity management: A survey from the enterprise and ecosystem perspective," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 67, no. 4, pp. 1008-1027, 2020. <https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2926471> ↑19
- [32] Scimago Lab "Scimago journal and country rank," 2022. [Online]. Available: <https://www.scimagojr.com/index.php> ↑12
- [33] C. Lin, D. He, X. Huang, M. K. Khan, and K. Choo, "A new transitively closed undirected graph authentication scheme for blockchain-based identity management systems," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 28203-28212, 2018. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2837650> ↑19
- [34] Y. Liu, D. He, M. S. Obaidat, N. Kumar, M. K. Khan, and K. Choo, "Blockchain-based identity management systems: A review," *J. Network Comp. Appl.*, vol. 166, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102731> ↑19
- [35] Y. Liu, Q. Lu, H.-Y. Paik, and X. Xiwei, "Design patterns for blockchain-based self-sovereign identity," in *EuroPLoP 2020*, 2020, art. 16. <https://doi.org/10.1145/3424771.3424802> ↑8,9
- [36] Y. Liu, Q. Lu, H.-Y. Paik, X. Xu, S. Chen, and L. Zhu, "Design pattern as a service for blockchain-based self-sovereign identity." *IEEE Soft.*, vol. 37, no. 5, pp. 30-36, 2020. <https://doi.org/10.1109/MS.2020.2992783> ↑9
- [37] Y. Liu, Q. Lu, C. Zhu, and Q. Yu, "A blockchain-based platform architecture for multimedia data management," *Multimedia Tools Appl.*, vol. 80, no. 20, pp. 30707-30723, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11042-021-10558-z> ↑9
- [38] A. J. Lotka, "The frequency distribution of scientific productivity," *J. Wash. Acad. Sci.*, vol. 16, no.12, 317-323, 1926. ↑11
- [39] T. Lyons, L. Courcelas, and K. Timsit, "Blockchain and digital identity," 2020. [Online]. Available: <https://www.eublockchainforum.eu/reports/blockchain-and-digital-identity> ↑3
- [40] A. Mühle, A. Grüner, T. Gayvoronskaya, and C. Meinel, "A survey on essential components of a self-sovereign identity," *Comput. Sci. Rev.*, vol. 30, pp. 80-86, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2018.10.002> ↑4, 19
- [41] N. Naik, P. Grace, and P. Jenkins, "An attack tree based risk analysis method for investigating attacks and facilitating their mitigations in self-sovereign identity," in *2021 IEEE Symp. Series*

- Comp. Int. (SSCI)*, 2021, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1109/SSCI50451.2021.9659929> ↑8
- [42] N. Naik and P. Jenkins, "Governing principles of self-sovereign identity applied to blockchain enabled privacy preserving identity management systems", in *ISSE 2020*, 2020, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ISSE49799.2020.9272212> ↑8
- [43] N. Naik and P. Jenkins. "üPort open-source identity management system: An assessment of self-sovereign identity and user-centric data platform built on blockchain," in *ISSE 2020*, 2020, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1109/ISSE49799.2020.9272223> ↑8
- [44] N. Naik and P. Jenkins, "Your identity is yours: Take back control of your identity using GDPR compatible self-sovereign identity," in *2020 7th Int. Conf. Behaviour. Soc. Comp. (BESC)*, 2020, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/BESC51023.2020.9348298> ↑8
- [45] N. Naik and P. Jenkins, "Does Sovrin network offer sovereign identity?" in *ISSE 2021*, 2021, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ISSE51541.2021.9582472> ↑8
- [46] N. Naik and P. Jenkins, "Sovrin network for decentralized digital identity: Analysing a self-sovereign identity system based on distributed ledger technology," in *ISSE 2021*, 2021, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1109/ISSE51541.2021.9582551> ↑8
- [47] A. Othman and J. Callahan, "The horcrux protocol: A method for decentralized biometric-based self-sovereign identity," in *IJCNN 2018*, 2018, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2018.8489316> ↑19
- [48] A.-E. Panait, "Is the user identity perception influenced by the blockchain technology?, in *2020 IEEE Int. Conf. Intell. Sec. Inform. (ISI)*, 2020, pp. 1-3. ↑9
- [49] A.-E. Panait and R. F. Olimid, "On using zk-SNARKs and zk-STARKs in blockchain-based identity management," in *Innovative Security Solutions for Information Technology and Communications. SecITC 2020. Lecture Notes in Computer Science*, D. Maimut, A.-G. Oprina, and D. Sauveron, Eds., Cham, Germany: Springer International Publishing, 2021, vol. 12596, pp. 130-145. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69255-1_9 ↑9
- [50] A.-E. Panait, R. F. Olimid, and A. Stefanescu, "Analysis of uPort Open, an identity management blockchain-based solution," in *Trust, Privacy and Security in Digital Business. TrustBus 2020. Lecture Notes in Computer Science*, S. Gritzalis, E. R. Weippl, G. Kotsis, A. Min Tjoa, and I. Khalil, Eds., Cham, Germany: Springer International Publishing, 2020, vol. 12395, pp. 3-13. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58986-8_1 ↑9
- [51] A.-E. Panait, R. F. Olimid, and A. Stefanescu, "Identity management on blockchain-privacy and security aspects," *Proc. Rom. Acad. Ser. A Math. Phys. Tech. Sci. Inf. Sci.*, vol. 21, no. 1, pp. 45-52, 2020. ↑9
- [52] L. Niño-Vásquez, R. Pava-Díaz, R. Páez-Mendez, and D. López-Sarmiento, "Preprocesamiento de publicaciones acerca de identidad digital descentralizada y autogobernada," 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.19579492> ↑3,5
- [53] R Core Team, R: A language and environment for statistical computing,"2020. [Online]. Available: <https://www.R-project.org/> ↑3

-
- [54] K. Schmidt, A. Mühle, A. Grüner, and C. Meinel, "Clear the fog: Towards a taxonomy of self-sovereign identity ecosystem members," in *2021 18th Int. Conf. Priv. Sec. Trust (PST)*, 2021, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1109/PST52912.2021.9647797> ↑9
- [55] ShoCard Inc., "Identity management verified using the blockchain," 2017. [Online]. Available: <https://shocard.com/wp-content/uploads/2019/02/ShoCard-Whitepaper-2019.pdf> ↑3
- [56] R. Soltani, U. T. Nguyen, and A. An, "Practical key recovery model for self-sovereign identity based digital wallets," in *2019 DASC-PiCom-CBDCom-CyberSciTech*, 2019, pp. 320-325. <https://doi.org/10.1109/DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech.2019.00066> ↑8
- [57] R. Soltani, U. T. Nguyen, and A. An, "Decentralized and privacy-preserving key management model," in *ISNCC 2020*, 2020, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1109/ISNCC49221.2020.9297294> ↑8
- [58] R. Soltani, U. T. Nguyen, and A. An, "A survey of self-sovereign identity ecosystem," *Sec. Commun. Networks.*, vol. 2021, art. 8873429, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8873429> ↑8
- [59] R. Soltani, U. T. Nguyen, and A. An, "A new approach to client onboarding using self-sovereign identity and distributed ledger," in *2018 iThings/GreenCom/CPSCoM/SmartData/Blockchain/CIT*, 2018, pp. 1129-1136. https://doi.org/10.1109/Cybermatics_2018.2018.00205 ↑8
- [60] Sovrin Foundation, "Sovrin governance framework – Sovrin," 2019. [Online]. Available: <https://sovrin.org/library/sovrin-governance-framework/> ↑3, 19
- [61] Q. Stokkink and J. Pouwelse, "Deployment of a blockchain-based self-sovereign identity," in *2018 iThings/GreenCom/CPSCoM/SmartData/Blockchain/CIT*, 2018, pp. 1336-1342. ↑19, 20
- [62] F. Wang and P. De Filippi, "Self-sovereign identity in a globalized world: Credentials-based identity systems as a driver for economic inclusion," *Front. Blockchain*, vol. 2, art. 00028, 2020. <https://doi.org/10.3389/fbloc.2019.00028> ↑4, 19
- [63] Q. Wang, M. Su, and R. Li, "Is China the world's blockchain leader? Evidence, evolution and outlook of China's blockchain research," *J. Clean. Prod.*, vol. 264, art. 121742. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121742> ↑12
- [64] P. Windley and D. Reed, "Sovrin: A protocol and token for self-sovereign identity and decentralized trust," 2018. [Online]. Available: <https://sovrin.org/wp-content/uploads/Sovrin-Protocol-and-Token-White-Paper.pdf> ↑3
- [65] Z. Zhao and Y. Liu, "A blockchain based identity management system considering reputation," in *2019 2nd Int. Conf. Info. Syst. Comp. Aided Ed. (ICISCAE)*, 2019, pp. 32-36. <https://doi.org/10.1109/ICISCAE48440.2019.221582> ↑9
- [66] X. Zhu and Y. Badr, "A survey on blockchain-based identity management systems for the Internet of Things," in *2018 iThings/GreenCom/CPSCoM/SmartData/Blockchain/CIT*, 2018, pp. 1568-1573. ↑19
-

Roberto Albeiro Pava Díaz

Magister en Ingeniería - Ingeniería de sistemas y computación, Universidad Nacional de Colombia; Ingeniero de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia; Docente en Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ingeniería. Carrera 7 # 40B-53 Código postal: 11021-110231588. Bogotá, Colombia.

Email: rapavad@udistrital.edu.co

Rafael Vicente Páez Méndez

Doctor en Ingeniería Telemática, Universidad Politécnica de Cataluña - España; Especialista en Seguridad de Redes Informáticas, Universidad Católica de Colombia; Ingeniero de Sistemas y Computación - Universidad Católica de Colombia - Colombia. Docente en Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería – Depto. de Ingeniería de Sistemas. Carrera 7 # 40-62 Código postal: 111711. Bogotá, Colombia.

Email: paez-r@javeriana.edu.co

Luis Fernando Niño V.

Ph.D Computer Science, The University of Memphis, Estados Unidos; M. Sc. Computer Science, The University of Memphis, Estados Unidos; Magister en Matemáticas, Universidad Nacional de Colombia; Ingeniero de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia. Docente en Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá. Facultad de Ingeniería - Depto. de Ingeniería de Sistemas e Industrial. Carrera 45 # 26-85 Código postal: 11001. Bogotá, Colombia.

Email: lfminov@unal.edu.co





Research

Transient Dynamic Weather Isolines Generated via IoT Temperature and Relative Humidity Analysis Using the NodeMCU ESP8266 in Bogotá

Isolíneas meteorológicas dinámicas transitorias generadas a partir del análisis IoT de temperatura y humedad relativa utilizando el NodeMCU ESP8266 en Bogotá

Edgar Orlando Ladino-Moreno¹   César Augusto García-Ubaque¹ , and Eduardo Zamudio-Huertas¹ 

¹Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

Abstract

Context: This article presents the real-time estimation of temperature (°C) and relative humidity (%) (interval of 16 seconds) for the city of Bogotá DC via the Internet of Things (IoT).

Method: This prototype is based on the Arduino ESP8266 NodeMCU module and the DHT11 sensor, as well as on a server-client HTTP communication protocol via Wi-Fi, with remote access to information. 16 sensors were installed in Bogotá DC. These sensors send the observed data to the MATLAB storage cloud (ThingSpeak) via the Wi-Fi module and can be downloaded in real-time. The temperature (°C) and relative humidity (%) values were calibrated based on measurements made by the TTH002-certified digital thermo-hygrometer.

Results: Based on the average temperature and relative humidity obtained, two maps were elaborated by implementing QGIS: one with the isotherms and another one with isohumes. The inverse distance weighting (IDW) interpolation algorithm was used.

Conclusions: The use of monitoring devices based on the IoT significantly contributes to automating meteorological data and structuring and utilizing robust databases in the field of Civil Engineering. Thus, the real-time transmission of temperature and relative humidity data allows for the online analysis of variables. Finally, the term *adaptive dynamic cartography* is proposed, which is associated with the generation of maps via the IoT, through which changes in the observed variables are displayed in real time, which allows monitoring the variables making adjustments based on an interpolation algorithm, as well as automatically and instantaneously generating isolines, which significantly reduces the uncertainty implied by the spatial-temporal resolution of current cartography.

Keywords: Arduino, Internet of Things, isotherms, isohumas, MATLAB, ThingSpeak, NodeMCU ESP8266, uncertainty

Article history

Received:
06nd /May /2022

Modified:
02th /Oct /2022

Accepted:
18th /Oct /2022

Ing., vol. 28,
no. suppl, 2023.
e19667

©The authors;
reproduction
right holder
Universidad
Distrital
Francisco José de
Caldas.

Open access



*Correspondence: eoladinom@correo.udistrital.edu.co

Resumen

Contexto: Este artículo presenta la estimación de la temperatura (°C) y la humedad relativa (%) en tiempo real (intervalo de 4 segundos) para la ciudad de Bogotá DC a través del Internet de las Cosas (IoT).

Método: Este prototipo se basa en el módulo NodeMCU ESP8266 de Arduino y el sensor DHT11, así como en un protocolo servidor-cliente de comunicación HTTP vía WiFi, con acceso remoto a la información. Se instalaron 16 sensores en Bogotá DC. Estos sensores envían los datos observados a la nube de almacenamiento de MATLAB (ThingSpeak) a través del módulo WiFi y pueden ser descargados en tiempo real. Los valores de temperatura (°C) y humedad relativa (%) fueron calibrados a partir de mediciones realizadas por el termohigrómetro digital certificado TTH002.

Resultados: A partir de la temperatura medias y la humedad relativa obtenidas, se realizaron dos mapas implementando QGIS: uno de isotermas y otro de isohumas. Se utilizó el algoritmo de interpolación por ponderación de distancia inversa (IDW).

Conclusiones: La utilización de dispositivos de monitoreo a partir del Internet de las cosas (IoT) contribuye de manera significativa a la automatización de datos meteorológicos y al uso y estructuración de bases de datos robustas en el campo de la Ingeniería Civil. Así, la transmisión en tiempo real de los datos de temperatura y humedad relativa permiten analizar variables en línea. Finalmente, se propone el término *cartografía dinámica adaptativa*, asociado a la generación de mapas a partir del IoT, mediante el cual se visualizan cambios en la variable observada en tiempo real, lo que permite monitorear la variable y hacer ajustes a partir de un algoritmo de interpolación, así como la generación automática e instantánea de isolíneas, lo cual reduce de forma significativa la incertidumbre existente en la resolución temporal y espacial de la cartografía actual.

Palabras clave: Arduino, Internet de las Cosas, isotermas, MATLAB, ThingSpeak, NodeMCU ESP8266, incertidumbre

Table of contents

	Page		
1. Introduction	3	3.2. Isoline map for temperature (°C)	14
2. Materials and methodology	4	3.3. Isoline map for relative humidity (%)	15
2.1. ESP8266 NodeMCU module . .	4	4. Conclusions	15
2.2. DHT11 Sensor	4	5. Author contributions	16
2.3. Prototype	4	6. Acknowledgements	17
2.4. Data processing	7	References	17
3. Results and discussion	8	7. Appendix A. NodeMCU ESP 8266 (2022) Model ®Arduino Codification	20
3.1. Inverse distance weighting (IDW) interpolation	11		

1. Introduction

It is estimated that, by 2025, there will be more than 75 billion IoT devices linked to the Internet (1). Currently, Industry 4.0 and the advent of the Internet of Things (IoT) are changing the approach to the design, construction, development, and monitoring of different civil engineering projects in Colombia. In this sense, educators in the field face various challenges in terms of the application of new technologies in the classroom. These technologies entail automation, monitoring, and control, thus contributing to the construction of smart cities based on the Internet of Things (IoT) (2). In recent years, educational paradigms have evolved from traditional classroom learning to novel approaches (3). The implementation and systematization of theoretical-practical processes in the classroom in the different disciplines of civil engineering lead to the development of applications and tools that significantly contribute to controlling and monitoring the variables observed in the environment. Consequently, it is necessary to extract the dynamic isolines (in real-time) of the transmission data in order to provide the users with information about the performance of the different variables associated with environmental systems (4).

In this sense, the academic spaces related to programming in different languages taught in the first semesters constitute a fundamental tool for civil engineering students. Based on these tools, students can propose diverse solutions in the form of developments that systematize calculations and establish the correlation between different variables. This type of technology can be implemented in various fields of Civil Engineering, such as geotechnics (slope monitoring, landslide, erosion) and hydrology (flow measurement, monitoring of atmospheric variables). Temperature and humidity monitoring is also needed in different industrial fields, such as biomedical drug development and cell culture methods (5); risk management (early warnings, generation of hazard maps); IoT environmental monitoring applications used in environmental protection or to measure air or water quality (6); roads and transportation (adaptive solutions to improve mobility, intelligent mobility systems, mesh behavior); structures (monitoring buildings and bridges, structural pathology, smart buildings); topography (real-time transfer of altimetric and planimetric, generation of dynamic models); and hydraulics (monitoring drinking water networks, the development of "smart sewer" prototypes, leak identification).

Water level control devices for reservoirs have recently been developed based on the Internet of Things (IoT), using the NodeMCU ESP8266 board as a microcontroller and the Blynk application as a control device (7). Timeless monitoring is currently used to determine the behavior of different meteorological variables, given its low spatial and temporal resolution. The real-time dynamics of the isolines are however not evident, which is why it is necessary to develop an intelligent model for monitoring temperature and relative humidity which is based on the IoT and Adaptive Dynamic Mapping (ADC). Thus, this study aims to present an approach to implementing the IoT in hydrometeorology, namely regarding temperature and relative humidity. To this effect, 16 DHT11 sensors were installed in Bogotá DC, Colombia. This network is part of the IoT project for the following academic spaces: Hydrology (2021-II, undergraduate), and

Computational Hydraulics (2021-III, Master's program in Civil Engineering). These spaces are attached to the Technological Department of Universidad Distrital Francisco José de Caldas, and their information can be downloaded through the following link: <http://www.edgarladino.com>. The communication between the sensor and the web is done via the HTTP protocol, which HTTP is responsible for handling browser requests in order to retrieve the data stored in the cloud (8).

2. Materials and methodology

The methodology employed to carry out this study is divided into four parts: hardware, software, programming, and GIS. Each of these elements, which make up the proposed prototype, is listed below.

2.1. ESP8266 NodeMCU module

The NodeMCU 8266 module is a Wi-Fi-connected board implemented for IoT projects. The board is programmed through the Arduino IDE. The NodeMCU ESP8266 microcontroller has high processing and storage capacity, supports different types of sensors through pins D0-D8, and has a ESP8266 @ 80MHz (3.3V) (ESP-12E) processor. It also has 4 MB of FLASH memory (32 MBit), Wi-Fi 802.11 b/g/n, integrated 3.3V regulator (500mA), and a USB-Serial converter CH340. The board has an auto-reset function (manual), 9 GPIO pins with I2C and SPI, and 1 analog input (1.0 V max.).

2.2. DHT11 Sensor

The hardware consists of the ESP8266 NodeMCU board, and a DHT11 temperature and relative humidity sensor. The DHT11 sensor was selected because it is laboratory-certified. It is an accurate and stable device, generates a digital signal output, and has an NTC (negative temperature coefficient) thermistor (9). This sensor consists of a thermistor for *in-situ* air temperature measurement. It has three terminals: +Vcc (voltage), Gnd (ground), and DATA (signal). The signal is transmitted through pin D3 of the ESP8266 NodeMCU module. The temperature values (°C) were calibrated from the measurements made by a digital thermo-hygrometer (TTH002), with a temperature measurement range between -50 and 70 °C, a resolution of 0.1, and an accuracy of ± 1 °C. Similarly, the device capture range for the relative humidity (%) is between 15 and 95 %, with a resolution of 1 % and an accuracy of ± 5 %.

2.3. Prototype

In order to perform the temperature and relative humidity sensor pilot, the electronic components were connected as follows:

1. The ESP8266 NodeMCU board was connected directly to the computer's USB port via the USB to mini-USB cable (ESP8266 NodeMCU microcontroller input port). This connection

serves as an external power supply and establishes the bridge to send the Python code to the board via the Arduino software.

- The DHT11 sensor was connected to the ESP8266 NodeMCU board via three wires (jumper-female-female). The energy supplied by the board to the sensor flows through the 3v pin, the ground connection through the GND pin, and the digital signal through the D3 pin (Fig. 1).

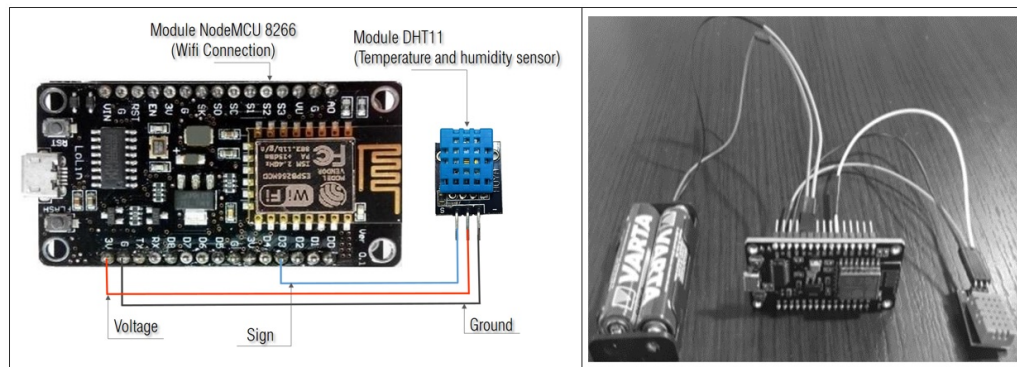


Figure 1. NODEMCU ESP8266 microcontroller

After connecting the prototype, it is necessary to download the following programs:

- Software Arduino (IDE): <https://www.arduino.cc/en/software>
- Register ThingSpeak: <https://thingspeak.com>

For the correct operation of the code and sensor reading, it is necessary to download and install the following libraries, which are obtained through the Arduino library manager:

- Library 1: Wi-Fi
- Library 2: ThingsIoT
- Library 3: DHT sensor library
- Library 4: ConnectThings ESP8266

Next, the additional board URL manager is configured by inserting the following address in the Arduino preferences window:

- URL manager: http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json

Once the programs have been installed, the electronic components have been connected, and the channel has been configured in MATLAB's ThingSpeak, Arduino is executed. The following code is copied into the Arduino window, entering the Wi-Fi network name, the Wi-Fi key, and the apiKey of the channel:

- Download code:

<https://drive.google.com/file/d/1b-QemssEQ6L-Ryeq2G9IxYMvGaf-\BYqL/view>

Finally, the serial monitor (COM4) and the ThingSpeak channel present the readings from the DHT11 sensor. ThingHTTP establishes communication between devices, sites, and web services without having to implement the protocol at the device level (10) (Fig. 2).

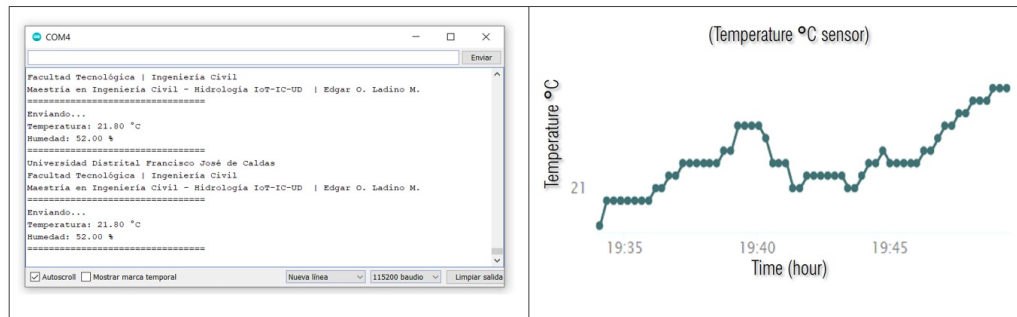


Figure 2. Serial monitor (Arduio), graphical output (ThingSpeak channel)

Using this methodology and this type of technology, it is possible to generate adaptive dynamic cartography (ADC), in which the isolines generated by the interpolation of the data observed in real time express the pattern changes of the spatial-temporal variation of the studied variables. The data captured by the sensor are sent to the cloud, in which an automated process of spatial interpolation is performed by implementing different methods, such as IDW, Kriging, Natural Neighbor, Spline, Spline with barriers, and Topo to raster.

The selection of the algorithm depends on the statistical and probabilistic behavior of the observed variable. According to the above, the use instrumentation and automation in processing hydro-meteorological information can reduce errors in the different phases of the process regarding the generation of the interpolated isolines (Fig. 3).

The development of dynamic models associated with hydro-meteorological variables is currently an open field of study, in which it is possible to integrate Civil Engineering, the Internet of Things, and artificial intelligence to obtain intelligent dynamic isolines (IDI). (4) propose a dynamic interval tree for generating dynamic contours of digital terrain models, where the data values in the sources change over time. This tree is built on the edges of triangle irregular networks (TIN), and the z-span of the edge depends on the values at the sites adjacent to the edge.

In this way, it is possible to detect patterns and trends in the studied variable in real time, as well as to synchronously identify the performance of the spatial-temporal patterns. The current approach for the generation of isolines is strongly associated with deterministic models, which are highly deficient when characterizing the performance of variables correlated with different phenomena and exhibit a transitory and probabilistic performance. In other words, variable

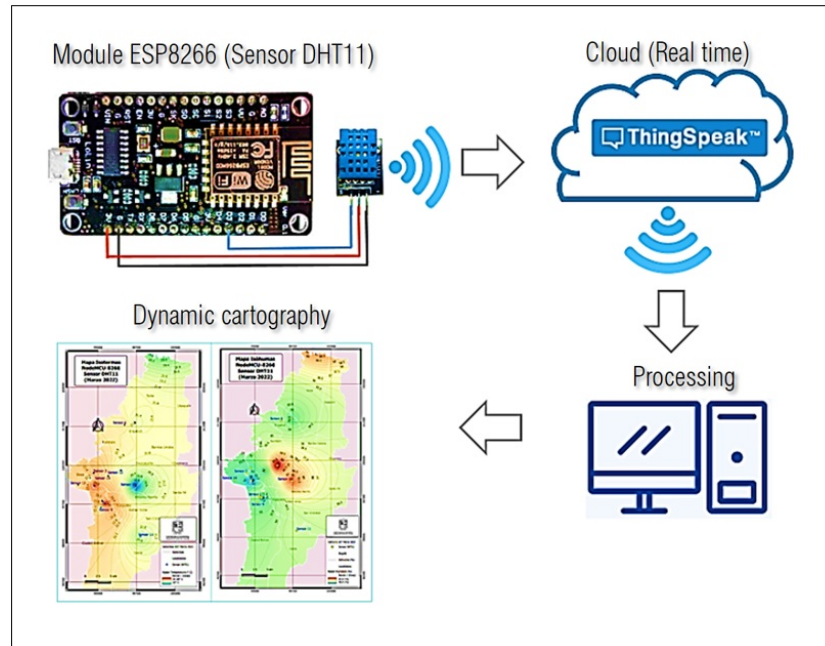


Figure 3. ADC processing

changes in time and space increase the uncertainty of the forecast, which is related to the use of static and deterministic algorithms. These changes can be demonstrated via isotherm maps, where the spatial behavior of the variable depends on the interpolation algorithm used. As a result, different maps are obtained from the same data observed *in situ*. This study proposes the adoption and integration of IoT and artificial intelligence to develop adaptive dynamic isolines.

2.4. Data processing

The data were obtained from 16 DHT11 sensors located in Bogotá DC. These sensors provided 100 temperature (°C) and relative humidity (%) readings, with a temporal resolution of 7 days (March 23, 2022 - March 30, 2022).

Table I presents the spatial position of the sensors, as well as the average temperature (°C) and relative humidity (%) for each location.

It was established that the average temperature for Bogotá DC was 22,046 °C, with a standard deviation of 1,999 °C in the period between March 23, 2022, and March 30, 2022. The kurtosis value of 0,781 indicates that the temperature distribution exhibits a mesocortical behavior, showing a normal concentration of the values around its mean. However, the skewness coefficient shows that the distribution is skewed to the right, causing the tail of the distribution to elongate to the left, an effect produced by temperature values below the mean (Table II).

Table I. Location of the DHT11 sensors

Sensor	Longitude (°)	Latitude (°)	Average Temperature (°C)	Average Relative Humidity (%)
1	-74,1026611	4,7157556	21,185	52,38
2	-74,1752611	4,6282750	23,384	52,00
3	-74,1591028	4,5782750	23,102	57,00
4	-74,1591000	4,5782000	22,797	54,00
5	-74,1605528	4,5795861	23,104	52,67
6	-74,1210380	4,7123694	22,200	53,95
7	-74,1813600	4,6192500	22,150	52,38
8	-74,1740400	4,6059850	24,500	49,00
9	-74,1625000	4,5675000	21,180	52,75
10	-74,1559801	4,5755538	25,931	47,82
11	-74,0934820	4,5170880	20,600	55,00
12	-74,1274444	4,6327194	21,229	66,78
13	-74,0584306	4,8687889	18,435	65,18
14	-74,2026722	4,6073111	22,477	52,15
15	-74,1497278	4,6229194	22,485	51,83
16	-74,1011694	4,6055111	17,980	63,04

Source: IoT 2021 Hydrology Project; Master's Degree in Civil Engineering 2021-III, UDFJC.

Table II. Temperature and relative humidity statistics

Variable	Mean	Common error	Median	Standard deviation	Variance	Kurtosis	Asymmetry coefficient	Minimum	Maximum
Temperature (°C)	22,046	0,500	22,339	1,999	3,996	0,781	-0,386	17,980	25,931
Relative humidity (%)	54,870	1,372	52,710	5,489	30,126	0,670	1,227	47,815	66,780

In the case of relative humidity, the mean was 58,87 %, with a standard deviation of 5,489 %. Regarding the asymmetry coefficient, the distribution was skewed to the left, causing the distribution tail to lengthen to the right. This behavior is caused by relative humidity values that are higher than the mean. Fig. 6 shows the existence of a negative correlation, *i.e.*, the temperature and the relative humidity are inversely related; when the temperature value is high, the relative humidity value is low.

3. Results and discussion

Temperature corresponds to the level of kinetic energy associated with particle motion. Relative humidity establishes the amount of water vapor present in the air at a given temperature, *i.e.*, the water vapor balance in the environment (11). Note that temperature is a factor that directly affects the behavior of the hydrological cycle. For this study, these variables were measured

in situ through 16 DHT11 sensors located in Bogotá DC. The information was sent via Wi-Fi to MATLAB's ThingSpeak server. The data capture block by the sensor was obtained every 2 seconds, generating updated data every 4 seconds in the ThingSpeak server. This information can be visualized through graphs that relate temperature and relative humidity as a function of time (Fig. 4).

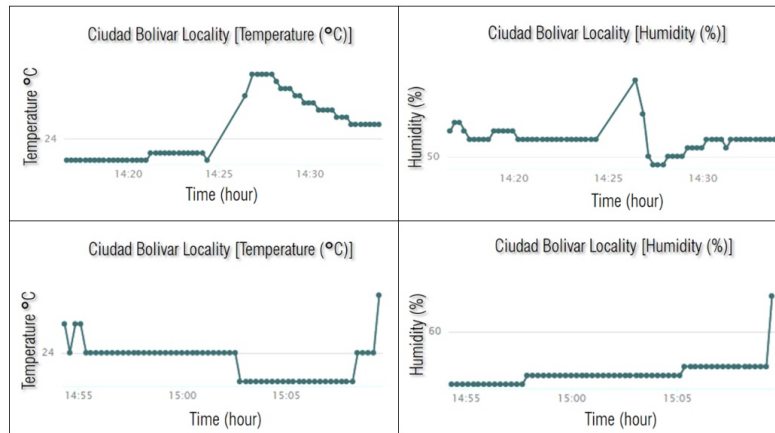


Figure 4. Representation of temperature (°C) and relative humidity (%)

Using the script presented in Table III, it is possible to generate a real-time histogram associated with the temperature and relative humidity behavior. This is done through the ThingSpeak App tool. Fig. 5 shows the behavior of the temperature distribution in frequencies for the last 10 hours of data captured by the DHT11 sensor. Indeed, the histogram shown is updated every 4 seconds due to the time delay associated with the sensor reading time. The production of real-time histograms of the observed variables contributes to describing the evolution of empirical probability distributions over time (stochastic process). Here, it is evident that the temperature directly affects humidity because it acts on the water vapor saturation pressure.

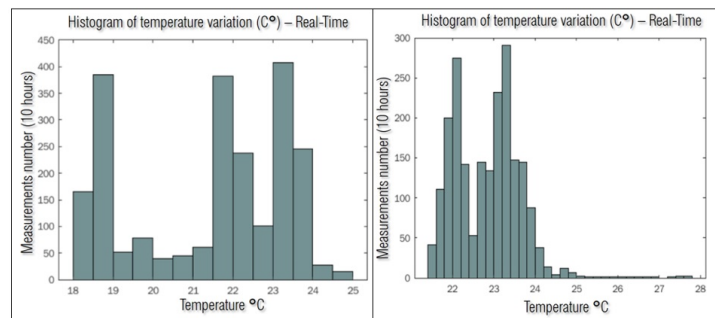


Figure 5. Temperature histogram script (°C)

There are variables such as wind and solar radiation that directly affect temperature and relative humidity. A positive temperature variation of 1 °C causes a decrease in relative humidity of approximately 4%. This behavior is evident in Fig. 6: as the temperature increases, the relative

humidity decreases. Table IV presents the script for calculating the histograms in real-time.

Table III. Temperature histogram script

```
%===== Temperature Histogram (Real-Time) =====
% 1. ID Canal
readChannelID = 1415502;
% 2. Temperature ID
TemperatureFieldID = 1;
% 3. API Key
readAPIKey = 'WQ3JS523CO7UAT8O';
tempF = thingSpeakRead(readChannelID,'Fields',TemperatureFieldID,...
'NumMinutes',10*60,'ReadKey',readAPIKey);
% 4. Histogram
histogram(tempF,'FaceColor','#18494b');
xlabel('Temperature (°C)','Color','#18494b');
ylabel('Measurements number (10 hours)','Color','#18494b');
title('Histogram of temperatura variation (°C) - Real Time', 'Universidad Distrital - Facultad Tecnológica','Color','#18494b');
```

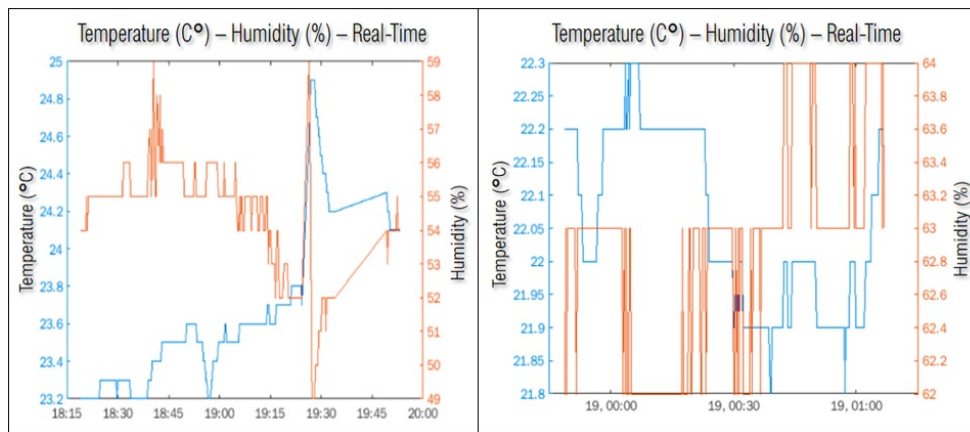


Figure 6. Comparison of temperature (°C) and humidity (%)

Fig. 7 presents the temporal variation of temperature, expressing its behavior for three series along the same axis. By comparing the temperature evolution for the last three days (March 28, 29, and 30, 2022), it is established that the lowest temperature occurs around 10 p.m. on the observed days, reaching up to 18,5° C. The superposition of the data series in the figure shows three different performances in the temperature variation throughout the day. However, it is possible to identify a pattern in terms of minimum and maximum values for minutes 2.800 and 4.000 (Fig. 7). On the other hand, in the spatial-temporal analysis of temperature and relative humidity, it is necessary to add a probabilistic weight to the algorithms proposed for the interpolation of continuous variables. This implies a change of focus, moving from deterministic models to probabilistic algorithms articulated with artificial intelligence, so the systematic and permanent capture of information from the IoT is fundamental to consolidating robust databases. The generation of “Big Hydro-meteorological Data” and a dynamic and continuous dataset, with

Table IV. Temperature vs. relative humidity comparison script

```

%===== Universidad Distrital Francisco José de Caldas =====
%===== Comparison Temperature vs. Humidity =====
% 1. ID canal
readChannelID = 1415502;
% 2. Temperature Field ID
TemperatureFieldID = 1;
% 3. Humidity Field ID
HumidityFieldID = 2;
% 4. API Key
readAPIKey = 'WQ3JS523CO7UAT8O';
% 5. Retraso
[data, timeStamps] = thingSpeakRead(readChannelID, 'Fields',[TemperatureFieldID HumidityFieldID], ...
                                   'NumPoints', 300, ...
                                   'ReadKey', readAPIKey);

% 6. Dato temperatura (°C)
temperatureData = data(:, 1);
% 7. Dato humedad (%)
HumidityData = data(:, 2);
% 8. Grafica
yyaxis left
plot(timeStamps, temperatureData);
ylabel('Temperatura (°C)');
yyaxis right
plot(timeStamps, HumedadData);
ylabel('Humidity (%)');

title('Temperature (°C) - Humidity (%) - Real-Time','Universidad Distrital - Facultad Tecnológica','Color','#18494b');

```

free access for the construction of models that help to understand the studied variables, could constitute the baseline for structuring real-time participatory warning networks to formulate contingency and risk management plans.

3.1. Inverse distance weighting (IDW) interpolation

Interpolation is a method through which new points are obtained from a cloud of known points by implementing different mathematical algorithms (*e.g.*, IDW, Kriging, Natural Neighbor, Spline, Spline with barriers, and Topo to raster). The method used in this study corresponds to the inverse distance weighting (IDW) interpolation algorithm. The deterministic model (IDW) uses the effect (weight) generated by the values closest to the unknown point, estimating the unknown values from the distance-weighted interpolation of the known values. This method is based on the existing hypothesis of a spatial correlation, where the value of the variable to be estimated in cartographic terms decreases its effect with increasing distance regarding the

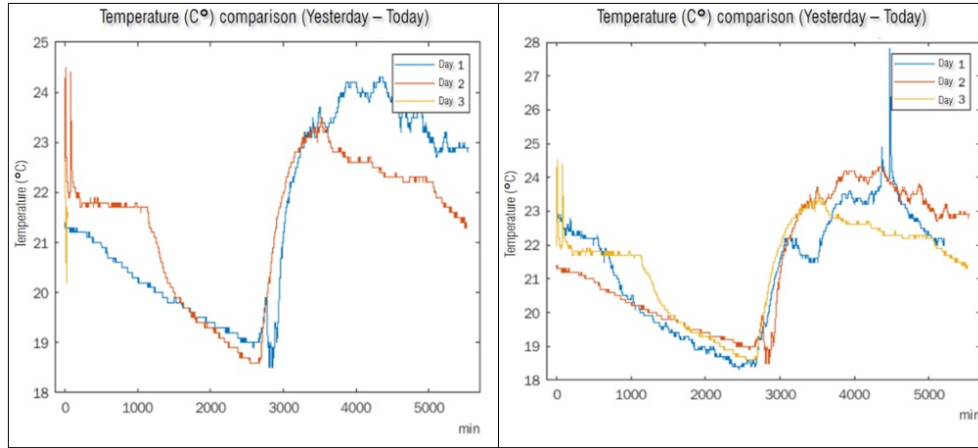


Figure 7. Temporal variation in temperature (°C)

known values of the observed variable. In this study, the DHT11 sensors provide temperature (°C) and relative humidity (%) data, and the spatial location of each sensor is obtained (latitude and longitude). These points are weighted in the interpolation process, in such a way that the weight of observation with respect to their neighbors decreases with the distance from a point in space for which the temperature and relative humidity are unknown.

$$P = \frac{\frac{A}{d_1} + \frac{B}{d_2} + \frac{C}{d_3}}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_3}} \tag{1}$$

As a result of this process, a continuous value represented by an image (raster) is obtained. Based on this image, the isolines referring to temperature (isotherms) and relative humidity (isohumidity) are generated. In this study, the values of the isolines obtained from the raster are within the established range. Nowadays, there is no mathematical or methodological argument to establish the separation interval of the generated isolines; it is likely that this interval is directly related to the density of the observed points.

The more sensors there are, the smaller the interval between isolines. For example, from the temperature reading for three DHT11 sensors, it is possible to estimate the unknown temperature for the location Td (Fig. 8).

$$P = \frac{\frac{23}{1250} + \frac{19}{750} + \frac{15}{557}}{\frac{1}{1250} + \frac{1}{750} + \frac{1}{557}} \tag{2}$$

In this study, an interval of 0,2 °C was set for temperature, as well as 0,5% for relative humidity. Fig. 10 schematizes the construction of an isoline from *in situ* observations. Once the IDW algorithm had been implemented, the observed data were interpolated, and the surface was generated, giving a value to each cell within a grayscale. Each gray level corresponds to a given value for each cell. Thus, from each cell value, the isoline for temperature and relative humidity were obtained. The IDW method can be modified by adding power to the inverse of the distance. This parameter allows controlling the weight of the observed points.

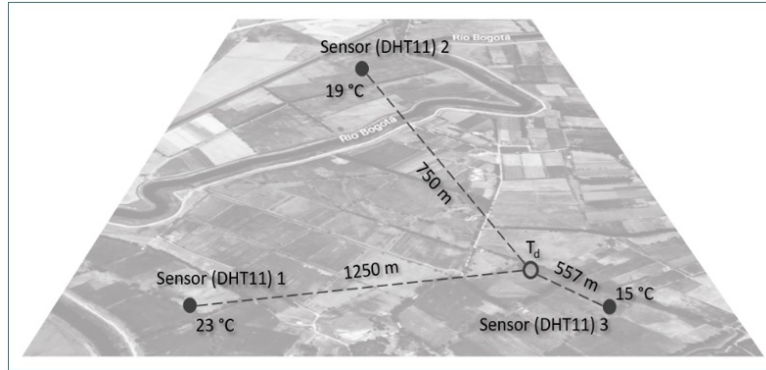


Figure 8. IDW temperature calculation (°C)

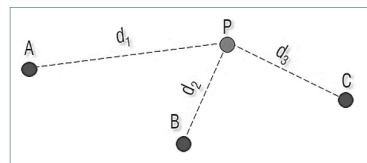


Figure 9. Representation (IDW)

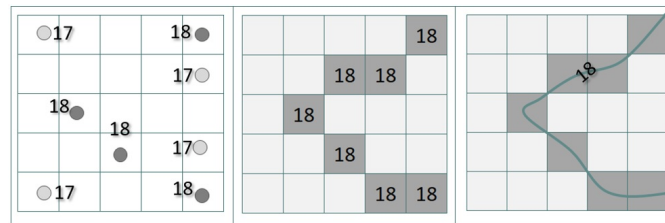


Figure 10. Generation of isolines from continuous data

Currently, cartographic construction involves analyzing the progressive accessibility to static mapping from techniques in dynamic studies without sacrificing robustness and simplicity

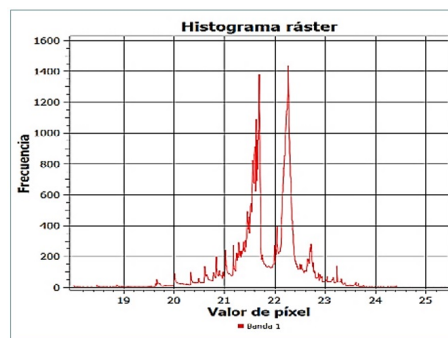


Figure 11. Raster histogram for temperature (°C)

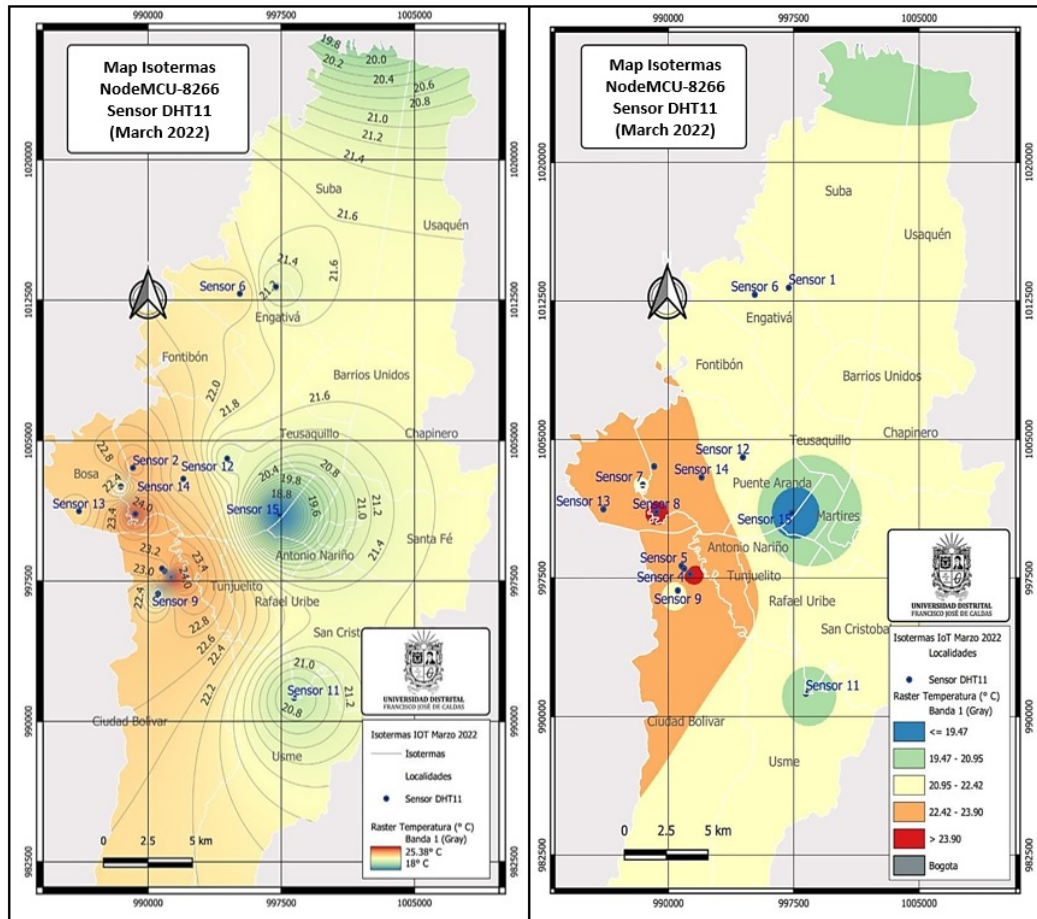


Figure 12. Temperature map (°C)

(12). However, the development of static maps of continuous variables that change in time and space constitutes an obsolete input due to the low spatial-temporal resolution of the cartographic product. This low temporal resolution can be overcome by developing “intelligent isolines” associated with the performance of the studied variable in real-time. This requires the integration of the Internet of Things, artificial intelligence, and web services in order to identify and interpret the spatial-temporal patterns and behaviors of the *in-situ* observed variable. This methodology would significantly reduce the uncertainty in monitoring and in the generation of hydrometeorological variable isolines.

3.2. Isoline map for temperature (°C)

The isotherm map was obtained via IDW interpolation, generating a raster associated with the coordinate reference system (CRS) EPSG:4326 - WGS 84, with a maximum temperature value in the pixel equal to 25,38°C, an average of 21.84 °C, and a standard deviation of 0,68 °C. Fig. 11 presents the frequency distribution of the temperature level for the pixels. A natural

behavior is exhibited by the temperature, due to the data distribution concerning its average and standard deviation values, which entails a type of leptokurtic distribution produced by the high concentration of temperature values around the average. Thus, the highest temperatures were recorded in the localities of Bosa and Ciudad Bolívar. However, the localities of Mártires and Puente Aranda showed the lowest temperatures, reaching a temperature of 18,8 °C. The spatial patterns obtained in the isotherm map (Fig. 12) are in accordance with the performance of the mapping generated by IDEAM corresponding to the 2007 monthly mean temperature distribution map.

3.3. Isoline map for relative humidity (%)

The raster analysis was performed based on the minimum and maximum values for the gray band. Thus, it is observed that the tail of the distribution for relative humidity extends to the right (Fig. 13). This skew is caused by values higher than the distribution average. The maximum relative humidity value for the set of raster pixels was 65,63 %, with a standard deviation of 1,4 %.

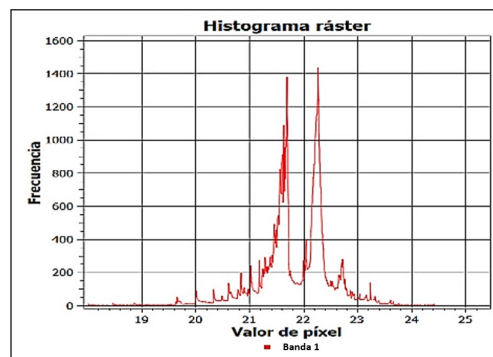


Figure 13. Raster histogram for relative humidity (%).

Fig. 14 shows the spatial distribution of relative humidity generated by the IDW interpolation algorithm. The highest relative humidity values were recorded in the localities of Mártires, Puente Aranda, and the eastern part of Kennedy. By superimposing temperature and relative humidity maps, it is possible to affirm that the sectors of Bogotá with the highest temperature levels caused a gradual decrease in relative humidity.

4. Conclusions

This study proposes the term *adaptive dynamic cartography* (ADC), associated with the generation of maps based on the Internet of Things (IoT), through which changes in the observed variable are visualized in real-time. This helps to monitor the variable and make adjustments using an interpolation algorithm in real-time, as well as in the automatic and instantaneous generation of isolines, which reduces the number of lines in the mapping process.

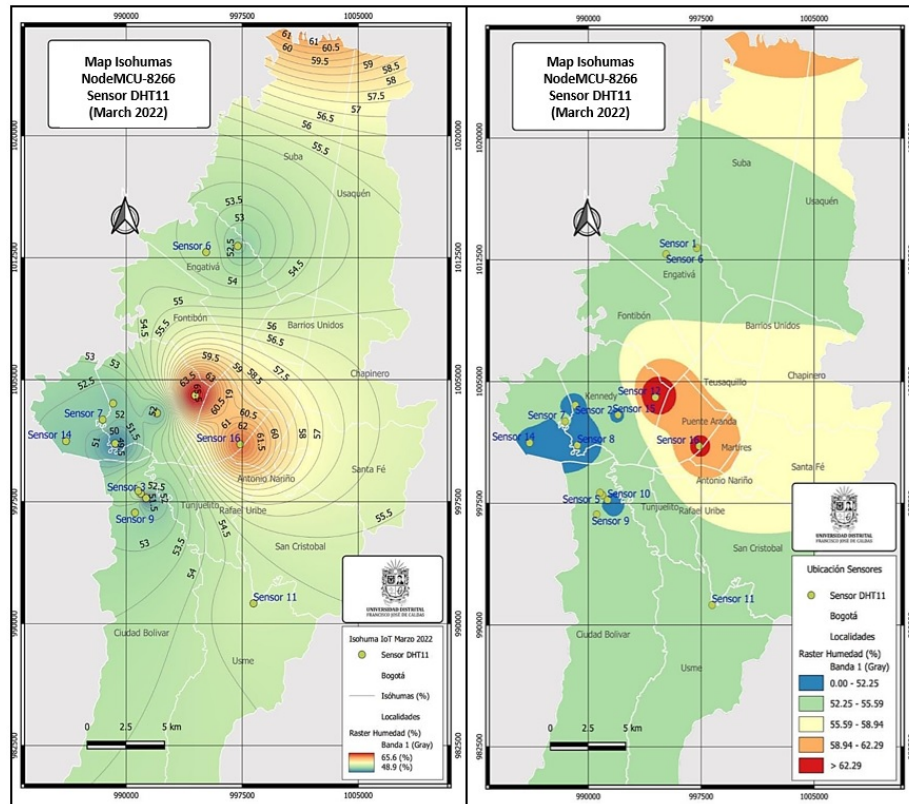


Figure 14. Relative humidity map (%)

The development of dynamic models associated with meteorological variables is currently an open field of study, in which it is possible to integrate Civil Engineering, the Internet of Things, and artificial intelligence to obtain intelligent dynamic isolines (IDI).

Finally, spatial raster analysis articulated with the development of ADC constitutes a fundamental tool in the decision-making process. The methodology proposed in the study demonstrated the feasibility of implementing the IoT in the study of meteorological variables. However, the monitoring capacity of the network depends on the density of spatially located devices.

5. Author contributions

Edgar Orlando Ladino-Moreno: research, validation, methodology, supervision, software, formal analysis, writing (review and editing).

César Augusto García-Ubaque: methodology, conceptualization, data curation, formal analysis, writing (review and editing).

Eduardo Zamudio-Huertas: methodology, conceptualization, data curation, formal analysis, writing (review and editing).

6. Acknowledgements

The authors would like to thank the students of the academic spaces of Hydrology 2021-III of the Civil Engineering program and Computational Hydraulics of the Master's program in Civil Engineering (2021- III), attached to the Technological Department of Universidad Distrital Francisco José de Caldas. These students, from the 16 sensors installed in different locations of Bogotá DC, provided the necessary information for this study.

Links for the IoT project, Department of Technology, Universidad Distrital Francisco José de Caldas:

Download IoT Maps NodeMCU ESP8266 Bogotá 2022:

https://drive.google.com/file/d/1Zbd1R_2Xv1rCmj9TvsURMEIfEQXppKrb/view?usp=sharing

IoT NodeMCU ESP8266 Bogotá 2022 IoT methodology video:

<https://www.youtube.com/watch?v=yVi5pgOz4yg&t=528s>

Weather data download:

www.edgarladino.com

References

- [1] V R, Ravi, M. Hema, S. SreePrashanthini, and V. Sruthi, "Smart bins for garbage monitoring in smart cities using IoT system," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1055, art. 012078, 2021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1055/1/012078> ↑3
- [2] R. Chacón, H. Posada, Á. Toledo, and M. Gouveia, "Development of IoT applications in civil engineering classrooms using mobile devices," *Comp. App. Eng. Edu.*, vol. 26, no. 5, pp. 1769–1781, Jun. 2018. <https://doi.org/10.1002/cae.21985> ↑3
- [3] K. Schoder, M. Stanovich, T. Vu, C. Edrington, and M. Steurer, "Extended heterogeneous controller hardware-in-the-loop testbed for evaluating distributed controls," presented at *Int. Naval Eng. Conf. Ex. (INEC)*, Glasgow, United Kingdom, 2018. <https://doi.org/10.24868/issn.2515-818X.2018.051> ↑3
- [4] D. Goldin, and H. Gao, "Dynamic isoline extraction for visualization of streaming data," in *Computer Science – Theory and Applications*, E. A. Hirsch, A. A. Razborov, A. Semenov, and A. Slissenko, eds., Berlin, Heidelberg, Germany: Springer, 2006, pp. 415–426. ↑3, 6

-
- [5] D. Srivastava, A. Kesarwani, and S. Dubey, "Measurement of temperature and humidity by using Arduino tool and DHT11," *Int. Res. J. Eng. Technol. (IRJET)*, vol. 5, no. 12, pp. 876-878, 2018. <https://www.irjet.net/archives/V5/i12/IRJET-V5I12167.pdf> ↑3
- [6] A. Karim, A. Hassan, M. Akanda, and A. Mallik, "Monitoring food storage humidity and temperature data using IoT", *MOJ Food Proc. Technol.*, vol. 6, no. 4, pp. 400-404, 2018. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2018.06.00194> ↑3
- [7] I. Gunawan, and T. Akbar, "Prototipe penerapan Internet Of Things (Iot) pada monitoring level air tandon menggunakan nodemcu Esp8266 dan Blynk", *Infotek: Jurnal Informatika Dan Teknologi*, vol. 3, no. 1, pp. 1-7, 2020. <https://doi.org/10.29408/jit.v3i1.1789> ↑3
- [8] M. Yusman and D. Maryanti, "Rancang bangun sistem informasi pilkada berbasis web di kabupaten pidie provinsi aceh," *Jurnal Litek*, 2012, vol. 9, no. 2, pp. 133-138. ↑4
- [9] C. Yohanes, J. Dedy, and D. Rudhistiar, "Implementasi logika fuzzy pada sistem monitoring suhu ternak ayam petelur berbasis web," *Jati (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 2021, vol. 5, no. 2, pp. 700-707. <https://doi.org/10.36040/jati.v5i2.3789> ↑4
- [10] A. El Kasmi, M., Abouricha, and A. Boulezhar, "A patient's temperature remote control system based on NODEMCU ESP8266," *E3S Web of Conf.*, vol. 297, art. 01053, 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129701053> ↑6
- [11] D. Romps, "An analytical model for tropical relative humidity", *Journal of Climate*, 2014, vol. 27, no. 19, pp. 7432-7449. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-14-00255.1> ↑8
- [12] F. Bertolini, F. Le Clercq, and L. Kapoen, "Sustainable accessibility: a conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two test-applications in the Netherlands and a reflection on the way forward", *Transport Policy*, 2005, vol. 12, no. 3, pp. 207-220. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.01.006> ↑14
-

Edgar Orlando Ladino-Moreno

PhD in Engineering (c), BSc in Civil Engineering, BSc in Topographic Engineering, MSc in Civil Engineering. Assistant Professor at Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

Email: eoladinom@correo.udistrital.edu.co

César Augusto García-Ubaque

PhD in Engineering, MSc Civil Engineering, Specialist in Integrated Management of the Environment, BSc in Civil Engineering. Full Professor at Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

Email: cagarciau@udistrital.edu.co

Eduardo Zamudio-Huertas

PhD in Engineering (c), MSc in Hydraulic Resources, Specialist in Statistics, BSc in Civil Engineering. Assistant Professor at Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

Email: ezamudioh@udistrital.edu.co



7. Appendix A. NodeMCU ESP 8266 (2022) Model ®Arduino Codification

```

#include <ArduinoJson.h>
#include <DHT.h> // Incluir librería para dht
#include <ESP8266WiFi.h>
String apiKey = "TIC00PHPVF2RYR0A"; // Ingrese su clave Write API de ThingSpeak
const char *ssid = "XXXXX"; // Ingrese el nombre de la red WiFi
const char *pass = "XXXXX"; // Ingrese la clave de la red WiFi
const char *server = ".pi.thingspeak.com"; // Servidos Thingspeak (Matlab)
#define DHTPIN D3 // pin D3 de la placa NodeMCU Esp8266
DHT dht(DHTPIN, DHT11);
// -----Conexión Wifi-Servidor-----
WiFiClient client;
void setup()
{
  Serial.begin(115200); // Puerto COM4 a 115200 baudios
  delay(10); // Retraso 0.01 seg
  dht.begin();
  Serial.println(Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, pass);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println();
  Serial.println("WiFi connected");
}
// -----Envío datos temperatura y humedad Thingspeak-----
void loop()
{
  float h = dht.readHumidity(); // Variable humedad (%)
  float t = dht.readTemperature(); // Variable temperatura (°C)
  if (isnan(h) || isnan(t))
  {
    Serial.println("Falla en la lectura del sensor");
    return;
  }
  if (client.connect(server,80)) // "184.106.153.149.º api.thingspeak.com
  {
    String postStr = apiKey;
    postStr += "&field1=";
    postStr += String(t);
    postStr += "&field2=";
    postStr += String(h);
    postStr += "\r\n\r\n";
    client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
    client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
    client.print(Conexion: close\n");
    client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: -apiKey+\n");
    client.print(Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
    client.print(Content-Length: ");
    client.print(postStr.length());
    client.print("\n\n");
    client.print(postStr);
    Serial.println(=====);
    Serial.println(Enviando...);
    Serial.print("Temperatura: ");
    Serial.print(t); // Dato temperatura (°C)
    Serial.println("°C");
    Serial.print("Humedad: ");
    Serial.print(h); // Dato humedad (%)
    Serial.println("%");
    Serial.println(=====);
  }
  client.stop();
  delay(1000);
}

```



Research

Optimization of Recommender Systems Using Particle Swarms

Optimización de sistemas recomendadores usando enjambre de partículas

Nancy Yaneth Gelvez-García¹✉, Jesús Gil-Ruíz² , and Jhon Fredy Bayona-Navarro³ 

¹Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá-Colombia).

²Universidad Internacional de La Rioja (La Rioja-España).

³Universidad ECCI. (Bogotá-Colombia).

Abstract

Background: ecommender systems are one of the most widely used technologies by electronic businesses and internet applications as part of their strategies to improve customer experiences and boost sales. Recommender systems aim to suggest content based on its characteristics and on user preferences. The best recommender systems are able to deliver recommendations in the shortest possible time and with the least possible number of errors, which is challenging when working with large volumes of data.

Method: This article presents a novel technique to optimize recommender systems using particle swarm algorithms. The objective of the selected genetic algorithm is to find the best hyperparameters that minimize the difference between the expected values and those obtained by the recommender system.

Results: The algorithm demonstrates viability given the results obtained, highlighting its simple implementation and the minimal and easily attainable computational resources necessary for its execution.

Conclusions: It was possible to develop an algorithm using the most convenient properties of particle swarms in order to optimize recommender systems, thus achieving the ideal behavior for its implementation in the proposed scenario.

Keywords: recommender systems, optimization using particle swarm, collaborative filters, unsupervised systems

Article history

Received:
12th/Sep/2022

Modified:
5th/Dec/2022

Accepted:
30th/Jan/2023

Ing., vol. 28,
no. suppl., 2023.
e19925

©The authors;
reproduction
right holder
Universidad
Distrital
Francisco José de
Caldas.

Open access



*✉ Correspondence: nygelvezg@udistrital.edu.co

Resumen

Contexto: Los sistemas recomendadores son una de las tecnologías más ampliamente utilizadas por comercios electrónicos y aplicaciones de internet como parte de sus estrategias para mejorar la experiencia de sus clientes y aumentar sus ventas. El sistema recomendador tiene por objetivo sugerir contenido basado en las características del mismo y en las preferencias de los usuarios. Los mejores sistemas recomendadores deben estar en la capacidad de entregar las recomendaciones en el menor tiempo y con el menor error posibles, lo cual constituye un desafío cuando se trabaja con grandes volúmenes de datos.

Método: En este artículo se presenta una técnica novedosa para optimizar sistemas recomendadores utilizando algoritmos de enjambre de partículas. El objetivo del algoritmo genético seleccionado es encontrar los mejores hiperparámetros que minimicen la diferencia entre los valores esperados y los obtenidos por el sistema recomendador.

Resultados: El algoritmo demuestra viabilidad dados los resultados obtenidos, destacando que su implementación es sencilla y los recursos computacionales necesarios para su ejecución son mínimos y de fácil acceso.

Conclusiones: Fue posible desarrollar un algoritmo utilizando las propiedades más convenientes del enjambre de partículas para optimizar los sistemas recomendadores, logrando el comportamiento ideal para su implementación en el escenario planteado.

Palabras clave: Sistemas Recomendadores, Optimización usando Enjambre de Partículas, Filtros Co-laborativos, Sistemas no Supervisados.

Table of contents

	Page		
1. Introduction	2	2.2. Solution to the optimization problem using a particle swarm	7
2. Materials and methods	4	2.3. Proposed algorithm	7
2.1. Methodology	4	3. Results	8
2.1.1. Recommender systems	4	4. Conclusions	10
2.1.2. Bio-inspired algorithms	5	5. Author contributions	11
2.1.3. Approach to the issue of optimization	5	References	11

1. Introduction

Recommender systems constitute the basis for building technologies oriented towards improving user experience. Their use is part of our daily lives, given the popular use of applications such as Amazon, YouTube, and Google, whose recommender systems require a large volume of training information in order to provide effective suggestions (1).

To achieve the necessary volume of data, applications record user actions on platforms, with the aim to profile users. Nowadays, it is natural to record the time, the number of clicks, and the reactions of users while interacting with a specific content (2). Additionally, it is important to gather content characteristics and quantify in order them to provide high-quality suggestions.

After training with the aforementioned data, a vector of hyperparameters is generated for each user, which works as an input to calculate the suggestions resulting from the multiplication of the vector by the content characteristics. However, calculating each hyperparameter vector is rarely easy, since finding the function that reduces the difference between the values expected by the user and the values obtained by the model depends on iterative methods that are computationally expensive (3).

In light of the above, it is common to find novelties in the techniques for the optimization of recommender systems, such as those described below:

In (4), a model capable of generating effective recommendations using collaborative models is presented. This memory-based model introduces a hybrid recommendation strategy that uses particle swarm optimization (PSO) to efficiently learn the weights of the parameters for each user. In addition, it uses fuzzy sets to naturally represent user ratings.

In (5), the PSO algorithm is implemented in order to learn about the user's personal preferences. From this study, it is concluded that the use of this type of model specializes individual results for each user, thus generating greater precision in model predictions. On the other hand, in (6), low-rank matrices are implemented which introduce pairs of vectors and, via vector products, generalize user preferences towards one or more types of content. In conclusion, generalizing user preferences is possible, although the accuracy of the results is affected.

As opposed to the proposal made in this work, optimization using algorithm genetics is not performed in (7). The authors present a coevolutionary algorithm named *cooperative coevolutionary invasive weed optimization* (CCIWO), which optimizes functions with either local optima or Nash equilibria searches. The results show that implementing these algorithms optimizes the precision of the models and reduces their computational means.

The authors of (8) combine a semi-supervised optimization algorithm using a particle swarm with the clustering process from the recommender systems. They manage to overcome the expectations of the traditional recommender systems' algorithms, thus reducing the time spent, as well as its corresponding computational resources.

The work by (9) presents the Cognitive Information Filtering System (CIFS), which applies an evolutionary model while learning from user feedback. A CIFS filters emails based on user ratings and behavior monitoring.

Other techniques can be utilized to this effect, as is the case of the work presented in (10). This research demonstrates the use of networks based on the Bayesian Beliefs Network, which are also known as *Bayesian Networks*, allow reasoning under uncertainty, and combine the advantages of visual representation for decision-making. This work is crucial, as it allows for an approach towards creating a collaborative filter for recommender systems.

On the other hand, bio-inspired algorithms consist of a set of problem-solving strategies based on Darwin's natural selection theories, the functioning of neural networks, and bee swarms (11). These algorithms can represent an optimization problem as a function to be maximized or minimized according to a set of constraints. This type of problem is usually studied by operations research and techniques such as linear programming, which are generally employed to obtain a solution. However, it is not always possible to find a solution by analytical or mathematical means. Thus, iterative methods must sometimes be used.

Considering the importance of recommender systems, as well as their broad implementation, an optimization technique is herein suggested that utilizes all the advantages of genetic algorithms, which can solve optimization problems whenever iterative methods must be used. Thus, it is a model capable of recommending based on user preferences and particle swarm optimization. To test the algorithm, a movie database was used as an example. The algorithm succeeded in consolidating a parameterizable and adaptive model according to data characteristics.

2. Materials and methods

2.1. Methodology

The first stage of the project consisted of appropriating the conceptual rationale of the theory regarding recommender systems and the optimization of a swarm of particles.

2.1.1. Recommender systems

Recommender systems establish a set of criteria and considerations regarding user data in order to make predictions about user preferences. According to (9) and (12), there are three types of recommender systems:

- **Popularity systems:** In this type of system, an object is referenced based on its interactions with users, and then it is recommended.
- **Content systems:** This system searches for objects similar to those viewed by the user and recommends them.
- **Collaborative systems:** This system relates a user's data with that of others in order to generate object recommendations. Within these, techniques are employed for assigning patterns to groups of users in such a way that each group is homogeneous and different from the others. In (13), an algorithm for generating the groups is presented.

In general, recommender systems translate into a better satisfaction of customer needs. These types of systems become personal assistants that encourage users to continue purchasing or viewing content. Additionally, they bring exceptional efficiency to the user experience and increase the likelihood that they will buy or consume the suggested content.

2.1.2. Bio-inspired algorithms

Natural selection is an evolutionary phenomenon described by Charles Darwin in his book *The Origin of Species*, which establishes that only the fittest or strongest survive in a natural environment, and that the least fit individuals and their characteristics are not transmitted to the following generations due to a lack of reproduction. Artificial neural networks consist of a set of interconnected nodes that transmit signals that excite or inhibit the nodes in order to obtain a result. Finally, particle swarms are often used to solve optimization problems. In these, a population of particles that communicate with each another is initialized and then directed towards the global minimum or maximum of a surface.

Among the bio-inspired algorithms, the following can be found:

- Artificial neural networks
- Evolutionary computing
- Genetic algorithms
- Particle swarms

Among the iterative methods are the well-known particle swarm approaches, which are based on the behavior of bees when searching for flower fields. Thus each particle moves over the surface that represents the function to be optimized until its global maximum or minimum. Fig. 1 shows the movement of the particles within the function. Each point of the function represents a solution for the optimization problem, but the goal is to find the best solution, *i.e.*, the one that reduces the difference between the values obtained by the model and the expected ones. For this reason, the points start to descend in the function until they reach the global minimum.

Taking advantage of the benefits of the techniques displayed in the literature (1–15), as well as considering the requirements for real-time recommendations, this proposal consists of a technique based on the optimization of particle swarms for optimizing the hyperparameters of recommender systems. For the development of this project, the following steps were executed:

2.1.3. Approach to the issue of optimization

Recommender systems base their operations on two aspects:

- **User attributes** correspond to user metadata and actions recorded within the platform, aiming to classify users into a group that allows profiling their preferences into a categorical group.
- **Element attributes:** These correspond to element metadata and allow grouping elements by categories, groups, currents, authors, *etc.*

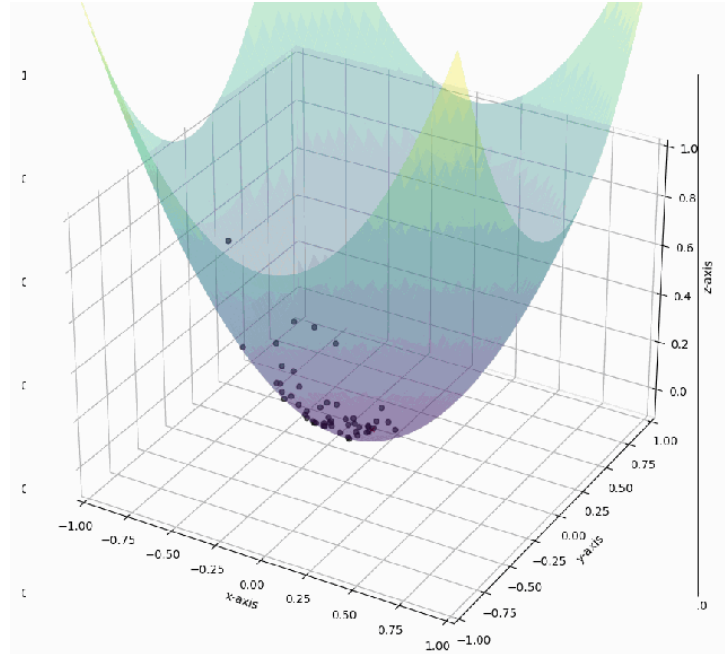


Figure 1. Movement of the particles in the function

The issue regarding the optimization of recommender systems consists of **predicting a user’s rating of an element based on user and element attributes**. Mathematically, this can be represented as follows:

- n_u : number of users
- n_m : number of elements.
- $r(i, j) = 1$: whether the user j has rated the element i
- $y^{(i,j)}$: the rating given by the user j to the element i (defined only if $r(i, j) = 1$)
- $x^{(i)}$: characteristics of the element i
- $\theta^{(j)}$: a vector of parameters for the user j

Based on the above, the algorithm should try to predict $y^{(i,j)}$ for the values $r(i, j) = 0$ and recommend an element based on the result. Thus, for each user j , a parameter $\theta^{(j)}$ must be learned, and the rating of user j to the element i must be predicted with $(\theta^{(j)})^T x^{(i)}$. Finally, the objective function for user j is constructed using the mean squared error:

$$\min_{\theta^{(j)}} \frac{1}{2m^{(j)}} \sum_{i:r(i,j)=1} ((\theta^{(j)})^T x^{(i)} - y^{(i,j)})^2 + \frac{\lambda}{2m^{(j)}} \sum_{k=1}^n \theta_k^{(j)2}, \tag{1}$$

simplifying

$$\min_{\theta^{(j)}} J(\theta^{(j)}), \tag{2}$$

the parameter λ is employed as a regularization parameter for the objective function.

2.2. Solution to the optimization problem using a particle swarm

Based on the study conducted by (14), it was concluded that particle swarms algorithms are useful when it comes to finding solutions faster than other bio-inspired algorithms such as evolutionary and genetic algorithms, which is why they were selected to solve this problem.

Within this algorithm, each one of the particles moves across the surface of possible solutions according to three coefficients:

- **Inertia coefficient (W):** it indicates the state of rest or motion of the particle.
- **Cognitive acceleration coefficient (C_1):** it indicates the speed of movement of the individual particle.
- **Social acceleration coefficient (C_2):** it indicates the speed of movement of the particle in a social way.

Therefore, the motion x_i of the particle p_i at an instant of time t is given by:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + V_i(t+1), \quad (3)$$

and its velocity V_i at an instant of time t is

$$V_i(t+1) = WV_i(t) + C_1(P_i(t) - x_i(t)) + C_2(g(t) - x_i(t)), \quad (4)$$

where P_i is the best value obtained by the particle, and g is the best value obtained by a group of particles.

Thus, the particle moves in a vector parallel to the best individual value, the best global value, and its inertia at an instant of time t . Based on the above, each of the particles p corresponds to a solution $\theta^{(j)}$, and the result obtained after executing the algorithm is employed as the optimal solution.

2.3. Proposed algorithm

To develop the algorithm, the traditional model for training of recommender systems was considered, and its steps were adapted for the implementation of PSO. In general, these steps are as follows:

- **Data cleaning:** Deletion or correction of the data outside the average or standardized data.
- **Profiling and definition of object features:** The feature vector for each object $x^{(i)}$ is defined. Additionally, the user is asked to rate some random objects, capturing $r(i, j) = 1$ and $y^{(i, j)}$.
- **Training:** Initializing the particles p_i to a random value within the feature domain X . Subsequently, a number of maximum iterations and a minimum expected error are determined. The vectors $[W V_i(t), C_1(P_i(t) - x_i(t)), C_2(g(t) - x_i(t))]$ are calculated, and the particle is displaced based on the equation for V_i until the stopping condition is reached. The convergence position of the particles will be taken as $\theta^{(j)}$.
- **Suggestions** made to users based on the result of θX , taking the result as the probability that a user likes the content, with 1 being the most likely.

Fig. 2 depicts these steps.

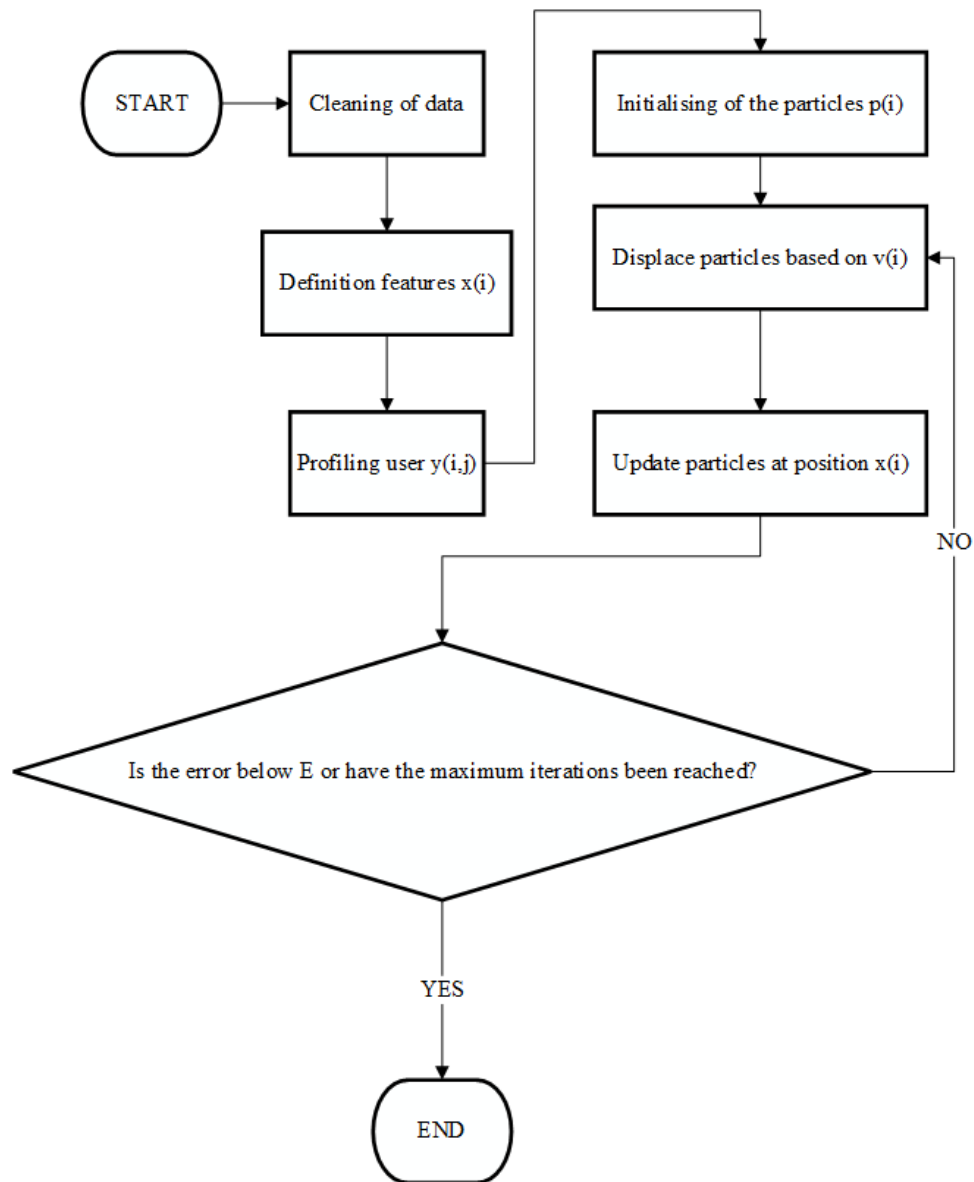


Figure 2. Description of the algorithm used to perform the training process

3. Results

To test the algorithm, a set of metadata was used which comprised 45.000 films that were released on July 2017 or before MovieLens. The metadata includes the cast, crew, plot keywords, budget, revenue, posters, release dates, languages, production companies, countries, and The Movie Database (TMDB) vote counts and averages. These are available in the Movies Dataset from Kaggle. We used two groups of regularization parameters for the particle swarm in order to generate two variations of the algorithm:

- In the first variation, the Cognitive Acceleration Coefficient (C_1) was prioritized with the values of $W = 1$, $C_1 = 3$, and $C_2 = 1,5$, hereafter referred to as the *school of fish* (CP).
- In the second variation, the Social Acceleration Coefficient (C_2) was prioritized with the values of $W = 1$, $C_1 = 1,5$, and $C_2 = 3$, hereafter referred to as the *swarm of particles* (SP).

Each of the algorithm’s variations was tested on a dataset that increased in volume by 50 records after each run. The Python programming language was used to develop the algorithm. Fig. 3 shows the execution of the algorithm on the terminal device. For the execution, a computer with an Intel Core i5 4 GHz 4-core processor and 16 Gb RAM memory were used.

```

python
2021-10-30 21:05:32,189 - pyswarms.single.global_best - INFO - Optimize for 1000
iters with {'c1': 0.5, 'c2': 0.3, 'w': 0.9}

2021-10-30 21:05:32,751 - pyswarms.single.global_best - INFO - Optimization fini
shed | best cost: 2.20313678968056e-44, best pos: [4.58272447e-23 1.41178014e-22
]

2021-10-30 21:15:03,494 - matplotlib.font_manager - INFO - Failed to extract fon
t properties from /usr/share/fonts/truetype/noto/NotoColorEmoji.ttf: In FT2Font:
Can not load face. Unknown file format.

2021-10-30 21:15:03,566 - matplotlib.font_manager - INFO - generated new fontMan
ager

2021-10-30 21:15:03,975 - pyswarms.single.global_best - INFO - Optimize for 100
iters with {'c1': 0.5, 'c2': 0.3, 'w': 0.9}

2021-10-30 21:15:04,004 - pyswarms.single.global_best - INFO - Optimization fini
shed | best cost: 5.6022504595375924e-08, best pos: [ 0.0001825 -0.00015072]

2021-10-30 21:16:59,514 - pyswarms.single.global_best - INFO - Optimize for 100
iters with {'c1': 0.5, 'c2': 0.3, 'w': 0.9}

2021-10-30 21:16:59,571 - pyswarms.single.global_best - INFO - Optimization fini

```

Figure 3. Example of the algorithm’s execution

The results were recorded in Table I, which provides evidence that the CP model requires less time than the EP one. However, more iterations are needed.

Table I. Comparison of training results for the proposed models

Number of data points	CP time	EP time	CP generation	EP generation
50	81,5	120,5	54	48
100	180,6	250,45	68	65
150	270,1	394,5	87	78
200	375,9	520,4	90	84
250	458,7	740,7	121	98

Let us recall that a good recommender system must be able to answer as quickly as possible, and, although the CP model demands more iterations, it meets the requirements for recommender systems training.

As part of the training process, the data were divided into three groups:

- 60 % used for data training
- 20 % used for model testing
- 20 % used for model validation

Table II shows the errors obtained when testing the model. It can be seen that the error rate decreases and converges as the data increase. Thereupon, the conclusion is that the model correctly generalizes each of the data groups presented in the previous model.

Table II. Comparison of validation mistakes for the different data sizes using a particle swarm

Data	Training error	CV error	Trial error	EP generation
50	3,541	3,213	3,124	48
100	2,174	1,981	1,741	65
150	1,871	1,441	1,651	78
200	1,974	1,445	1,745	84
250	1,744	1,745	1,742	98

Finally, the algorithm was compared to the traditional recommender systems training method via the descending gradient. Table III shows the training results and validation errors for the different datasets. According to the results, it can be seen that the error obtained is greater and requires a higher number of iterations in comparison with the particle swarm algorithm.

Table III. Comparison of validation errors for different data sizes using the descending gradient

Data	Training error	CV error	Trial error	Iterations
50	4,892	4,913	4,897	73
100	3,974	3,911	3,741	89
150	2,511	2,712	2,592	98
200	2,142	2,456	2,514	103
250	2,102	2,105	2,096	124

4. Conclusions

Based on these results, the following conclusions were reached:

- Through bio-inspired algorithms, specifically particle swarms, it is possible to solve the problem regarding the optimization of recommender systems. Moreover, its implementation was demonstrated using a case study.

- It was found that it is possible to generate a wide range of solutions by varying the parameters with which particle swarm algorithms are executed. However, their assessment will depend on the defined metrics.
- The training of recommender systems using particle swarms allows for the implementation of parallelization strategies different from the traditional training employed.

Future works should experiment with other types of bio-inspired algorithms and variations of particle swarms.

5. Author contributions

All authors contributed equally to the research.

References

- [1] Z. Zhang and S. Qian, "The research of e-commerce recommendation system based on collaborative filtering technology," in *Advances in Computer Science and Information Engineering*, D. Jin and S. Lin, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 507–512. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30126-1_80 ↑2, 5
- [2] L. Cegan and P. Filip, "Advanced web analytics tool for mouse tracking and real-time data processing," in *2017 IEEE 14th International Scientific Conference on Informatics*, 2017, pp. 431–435. <https://doi.org/10.1109/INFORMATICS.2017.8327288> ↑3, 5
- [3] A. Janusz, G. Hao, D. Kaluza, T. Li, R. Wojciechowski, and D. Slezak, "Predicting escalations in customer support: Analysis of data mining challenge results," in *2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 2020, pp. 5519–5526. <https://doi.org/10.1109/BigData50022.2020.9378024> ↑3, 5
- [4] M. Wasid and V. Kant, "A particle swarm approach to collaborative filtering-based recommender systems through fuzzy features," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 54, pp. 440–448, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.06.051> ↑3, 5
- [5] S. Ujjin and P. J. Bentley, "Particle swarm optimization recommender system," *Proceedings of the 2003 IEEE Swarm Intelligence Symposium. SIS'03* (Cat. No.03EX706), Indianapolis, IN, USA, 2003, pp. 124–131, <https://doi.org/10.1109/SIS.2003.1202257> ↑3, 5
- [6] J. Abernethy, F. Bach, T. Evgeniou, and J.-P. Vert, "Low-rank matrix factorization with attributes," ArXiv, <https://doi.org/10.48550/arXiv.cs/0611124> ↑3, 5
- [7] H. Hajimirsadeghi, A. Ghazanfari, A. Rahimi-Kian, and C. Lucas, "Cooperative coevolutionary invasive weed optimization and its application to Nash equilibrium search in electricity markets," *2009 World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, Coimbatore, India, 2009, pp. 1532–1535, <https://doi.org/10.1109/NABIC.2009.5393669> ↑3, 5

-
- [8] W. Zhou, X. Pan, R. Li, and Y. Lu, "The recommendation system based on semi-supervised pso clustering algorithm," in *Proceedings of the 2016 International Forum on Mechanical, Control and Automation (IFMCA 2016)*. Atlantis Press, 2017/03, pp. 63-71. [Online]. Available: <https://doi.org/10.2991/ifmca-16.2017.11> ↑3, 5
- [9] A. Tjoa, M. Hofferer, G. Ehrentraut, and P. Untersmeyer, "Applying evolutionary algorithms to the problem of information filtering," in *Database and Expert Systems Applications. 8th International Conference, DEXA '97. Proceedings, 1997*, pp. 450-458. ↑3, 4, 5
- [10] D. Heckerman, D. Chickering, C. Meek, R. Rounthwaite, and C. Kadie, "Dependency networks for collaborative filtering and data visualization." *J. Mach. Learn. Res.*, 01 2000, pp. 264-273. ↑4, 5
- [11] D. Gutiérrez, A. Tapia Córdoba, and A. Rodríguez del Nozal. "Algoritmos Genéticos con Python: Un enfoque practico para resolver problemas de ingeniería", Marcombo. Spain. 2020. ↑4, 5
- [12] D. Nichols, "Implicit rating and filtering," in *Proceedings of the Fifth DELOS Workshop on Filtering and Collaborative Filtering. ERCIM, 1998*, pp. 31-36, fifth DELOS Workshop on Filtering; Collaborative Filtering; Conference date: 01-01-1900. ↑4, 5
- [13] L. Ungar and D. Foster, "Clustering methods for collaborative filtering," *Proceedings of the Workshop on Recommendation Systems, Conference: of the 10th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies (I-KNOW 2010)*, 1-3 September, 2010, Graz, Austria: Graz, Austria. ↑4, 5
- [14] E. M.-M. Blanca Cecilia López-Ramírez, "Estudio del comportamiento en-línea de algoritmos bio-inspirados usando medidas de desempeño en optimización con restricciones" COMCEV'07, 3-5 october, 2007, Aguascalientes, México. ↑5, 7
- [15] D. A. Demissie, "A Hybrid Movie Recommendation System using Particle Swarm Optimization and K-means Clustering Algorithm," Ph.D. dissertation, Adama Science and Technology University (ASTU), June 2020. ↑5
-

Nancy Yaneth Gelvez-García

PhD Student in Engineering at Universidad Distrital Francisco José de Caldas; Master in Information Sciences and Communications, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; Systems Engineer, Universidad ECCI; professor at Universidad Distrital Francisco José de Caldas; research professor of the GIIRA Research group.

Email: nygelvezg@udistrital.edu.co

Jesús Gil-Ruiz

International PhD Student in Computer Science at the International University of La Rioja; Superior Industrial Engineer and Civil Engineer from the University of Cádiz; Industrial Organization Engineer from the International University of La Rioja; academic coordinator of the Expert and Digital Project Management program at Marconi University of Miami (MIU);

professor at the International University of La Rioja; part of the Drive Data Systems (DDS) research group.

Email: Jesus.gil@unir.net

Jhon Fredy Bayona-Navarro

Master in Electronic Engineering, Universidad Javeriana; electronic engineer, Universidad Antonio Nariño; professor at Universidad ECCI; research professor of the INDETECA research group.

Email: jbayonan@ecci.edu.co








Research

Technical Design of a Low-Cost, Portable Methane Quantification System

Diseño técnico de un sistema de cuantificación de metano portable y de bajo costo

Juan A. Tovar-Sánchez¹, Juan F. Arias-Molina¹, Harvey A. Milquez-Sanabria¹  *, and Manuel A. Mayorga-Betancourt² 

¹Fundación Universidad de América.

²Universidad ECCI.

Abstract

Context: Based on an analysis of the development of biodigester technology, a recurring problem with the rigorous quantification of methane was observed. A bibliographical review evidenced systems that are inefficient or have high costs. This work proposes an accessible and effective system that seeks to contribute to related academic and research projects.

Method: Methane quantification is performed via an MQ-4 series sensor coupled with a capsule, creating a partially closed medium in which a dilution of sample gases and ambient air is injected by using a syringe, thus extending the measurement range of the sensor.

Results: A calibration curve was elaborated, extending the measurement range from 0,02-1 % concentration to 10-80 %v/v, with a variance of ± 5 %.

Conclusions: An efficient and accessible prototype for methane quantification for academic and research purposes was developed. A guide for replicating the process is added as a complement.

Acknowledgments: The authors would like to thank Universidad de América and Universidad Nacional de Colombia for participating in this project.

Keywords: biogas, biodigester, methane, sensor, prototype, quantification, Arduino

Article history

Received:
29nd /Nov /2021

Modified:
21th /Jan /2022


Accepted:
03th /Apr /2022

Ing., vol. 28,
no. suppl, 2023.
e19053

©The authors;
reproduction
right holder
Universidad
Distrital
Francisco José de
Caldas.

Open access



*  **Correspondence:** harvey.milquez@profesores.uamerica.edu.co

Resumen

Contexto: A partir de un análisis del desarrollo de la tecnología en biodigestores, se observó un problema recurrente en la cuantificación rigurosa del metano. Una revisión bibliográfica reveló sistemas poco eficientes o de costos elevados. Este proyecto plantea un sistema accesible y eficaz que busca contribuir a proyectos académicos y de investigación afines.

Método: La cuantificación de metano se realiza mediante un sensor de la serie MQ-4 acoplado a una cápsula, creando un medio parcialmente cerrado en el que se inyecta, por medio de una jeringa, una dilución de gases de muestra de metano con aire del ambiente, lo cual amplía el rango de medición del sensor.

Resultados: Se elaboró una curva de calibración, ampliando el rango de medición de 0,02-1 % de concentración a 10-80 %v/v, con una varianza de $\pm 5\%$.

Conclusiones: Se desarrolló un prototipo de cuantificación de metano eficiente y accesible para uso académico y de investigación. Esto se complementa con una guía para replicar el proceso.

Agradecimientos: Los autores agradecen a la Universidad de América y la Universidad Nacional de Colombia por su participación en este proyecto.

Palabras clave: biogás, biodigestor, metano, sensor, prototipo, cuantificación, Arduino

Tabla de contenidos

	Página		
1. Introducción	2	2.3. Montaje del sistema de cuantificación	7
2. Materiales y métodos	4	3. Resultados	9
2.1. Descripción de la placa Arduino y el sensor	4	4. Conclusiones	12
2.2. Descripción de la cápsula	6	5. Contribución de autores	13
		Referencias	13

1. Introducción

En la actualidad se busca el aprovechamiento de la materia orgánica por medio de biodigestores como alternativa para obtener biogás, contribuyendo así a la sustitución de energías derivadas de combustibles fósiles por fuentes renovables de energía. Según (1, p. 2), “el biogás es una mezcla de diferentes gases producidos por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como el estiércol y las basuras orgánicas”. En aras de desarrollar la tecnología de biodigestores, se debe asegurar una buena calidad del biogás, es decir, se debe garantizar una alta capacidad calorífica por medio de concentraciones altas de metano, evitando diluyentes como el dióxido de carbono, el hidrógeno, el nitrógeno, el monóxido de carbono, el oxígeno y el sulfuro de hidrógeno (2), lo cual ayuda a prevenir daños en equipos como la corrosión y la disminución de la capacidad calorífica, así como a reducir el peligro de exceso de oxígeno, que puede hacer combustión con el metano.

Se observó un problema recurrente en la metodología de cuantificación rigurosa para asegurar una alta calidad de inflamación en el biogás (Tabla I). Dada la falta de recursos tecnológicos o financiamiento, usualmente se recurre a diferentes metodologías de medición de alta precisión, lo cual puede aumentar los costos. Si estos costos se reducen, se podría invertir en mejorar los biodigestores. Con el presente proyecto se busca dar solución a la necesidad de crear un sistema de medición accesible y eficaz para proyectos académicos y de investigación en este campo.

Entre otros métodos de cuantificación están los sensores como el FIGARO TSG-2611-C00. Sin embargo, este método es poco exacto, pues involucra cantidades excesivas de aire que diluyen la muestra, cambiando el orden de 100:1 en proporción del volumen (3). También está el sensor CH₄ NDIR, que logra detectar concentraciones metano de 0 a 100 % con mediciones precisas (4). No obstante, estos métodos de cuantificación del metano tienen un alto costo, lo cual constituye una limitación para muchos investigadores.

Los sensores de bajo costo llegan a ser de gran interés gracias a sus ventajas claves, no solo por su accesibilidad, sino por características deseables como menor tamaño, peso y consumo de energía. A esto se suma que emplean los mismos principios analíticos que los instrumentos de referencia mencionados anteriormente (11). Hay un catálogo de modelos para la detección de diferentes tipos de gases con la denominación MQ para su implementación en las placas de Arduino, donde figura el sensor MQ-4, especializado para la detección de metano, propano y gas natural. Sin embargo, uno de los problemas que yace en el sensor es su rango de detección dado que se encuentra en los 200-10.000 ppm). Estos equipos son normalmente utilizados como detectores y no como sensores, pues cuentan con una medición máxima de concentración de 1 %v/v. En el caso de un biodigestor, la generación de concentración de metano está entre 40 y 70 %v/v (12), lo cual restringe severamente el uso de estos dispositivos. Esto, debido a que en estos reactores se llega a exceder el límite del sensor. La cantidad mínima de analito (en este caso metano) requerida para obtener un resultado significativo se puede cuantificar a través del límite de detección (LDI) y el límite de cuantificación (LOQ), de acuerdo con lo que mencionan (13), el LDI es la mínima cantidad de analito que puede ser detectado, pero no así cuantificado con precisión y exactitud, mientras el LOQ es la mínima cantidad de analito que se puede determinar cuantitativamente y de manera exacta (13).

Con respecto a la problemática expuesta, es posible ajustar la concentración del gas al rango de medición del sensor MQ-4 implementando una cápsula y aumentando el tiempo de retención en la superficie del sensor, lo cual reduce el espacio entre las paredes internas de la cápsula y la superficie activa del sensor (14). Asimismo, se lleva a cabo una dilución de gases, en la cual se parte de una muestra de gas metano y aire en volúmenes determinados. Esta se inyecta por medio de una en la cápsula del sensor con el fin de mejorar su respuesta (14).

El objetivo de este artículo es crear un sistema para la medición de metano mediante sensores semiconductores de óxido de metales de la serie MQ-4. También se busca incentivar a otros

académicos a hacer uso de prototipos similares de bajo costo para obtener resultados precisos acordes a las exigencias de sus respectivos campos de investigación.

Tabla I. Comparación de métodos de cuantificación de metano

Método	Principio de funcionamiento	Ventajas	Desventajas
Ensayo de llama	Consiste en realizar una combustión con una muestra del biogás, la cual genera una llama azulada si el contenido de metano está entre el 45 y el 75% en volumen (5).	Se identifica un producción considerable de metano, además de una gran facilidad de implementación.	Tiene una incertidumbre de concentración que podría determinar la calidad del gas combustible según su composición.
Volumétrico	Un método de cuantificación recurrente que consiste en implementar un volumen conocido de agua en un recipiente hermético conectado al biodigestor. A medida que se produce biogás, este pasa por una solución que posee <i>KOH</i> , cuya función es remover el <i>CO₂</i> , así como por otras sustancias que retiran el oxígeno e hidrógeno, logrando así una medición volumétrica del <i>CH₄</i> (6) que ejerce presión sobre el agua y la desplaza (7). Una variante de este método incluye columnas de desplazamiento (3).	Puede trabajar por largos periodos sin mantenimiento. También es simple y de bajo costo, y se pueden adicionar configuraciones adicionales en cualquier laboratorio (8).	El método tiene el inconveniente de este método es que la solución alcalina se puede saturar, permitiendo la filtración de gases diluyentes. Además, los gases al ser sustancias compresibles, el volumen de los gases difícilmente reflejará su concentración.
Manométrico	Se desarrolla mediante sensores internos en el biodigestor, los cuales monitorean el cambio de presión interno generado por las presiones parciales de los diferentes gases producidos por la fermentación de los insumos (8).	Se puede automatizar la recolección de datos mediante registros continuos y automáticos de la presión (10).	Este método implica mayores costos de adquisición y mantenimiento, así como una medida indirecta del <i>CH₄</i> (10).
Cromatografía	Generalmente implementado en laboratorios de alta gama por su exactitud. Es utilizado para medir el contenido de metano y gas carbónico presentes en el biogás acumulado en el volumen de espacio superior libre de los reactores (9).	Permite conocer la composición exacta de un biogás, además de realizar mediciones en un corto tiempo (9).	Altos costos de adquisición y operación, lo cual limita su aplicación en zonas rurales, lejos de centros de investigación y universidades (9).

Nota: Esta tabla presenta los diferentes métodos usados para cuantificar metano.

2. Materiales y métodos

2.1. Descripción de la placa Arduino y el sensor

En este proyecto se propone la medición de la concentración de metano por medio de sensores que facilitan el monitoreo en línea de los biodigestores. Para ello existen diversos equipos que se acoplan a computadores o receptores de información, como también componentes que se

acoplan a tarjetas inteligentes (Arduino). Arduino es una placa microcontroladora que sirve para recibir instrucciones y funciona como dispositivo IoT (Internet of Things).

Dentro del catálogo que ofrece Arduino, además de las ya mencionadas placas, se encuentran accesorios o componentes acoplables, entre los cuales se destacan los sensores de la serie MQ para medición de gas: “estos sensores reaccionan ante la presencia de gases en el ambiente, reduciendo su resistencia eléctrica mediante un material semiconductor a base de óxido de estaño (SnO_2), el cual, al entrar en contacto con el gas metano y el dióxido de carbono, modifica sus propiedades conductivas, es decir, la resistencia sensitiva se reduce, por consiguiente, aumenta el voltaje de respuesta” (15, p. 69). La base del sensor electroquímico es el óxido de estaño, que tiene la capacidad de modificar su resistencia eléctrica por la presencia de gases afines. Este gas expulsa los electrones que absorbió en forma de iones, dejando un área de la superficie expuesta, la cual interactúa con los electrones del gas.

En la Fig. 1 se observa el módulo del sensor MQ-4, en cuyo lado derecho se observan las respectivas barras de conexión de la placa Arduino. Se observa cómo cada barra de conexión tiene una nomenclatura (Tabla II): de abajo hacia arriba, A0, Do, GND y VCC. La salida Do (digital) solo permite leer valores de 0 o 1 y funciona como un detector, mientras que la salida Ao (análoga) da valores en voltios entre 0 y 5 V representados en bits, lo cual permite examinar el cambio de voltaje del sensor. VCC es la entrada del voltaje de 5 V al módulo del sensor, y GND es la conexión a tierra para modular el voltaje interno (16).

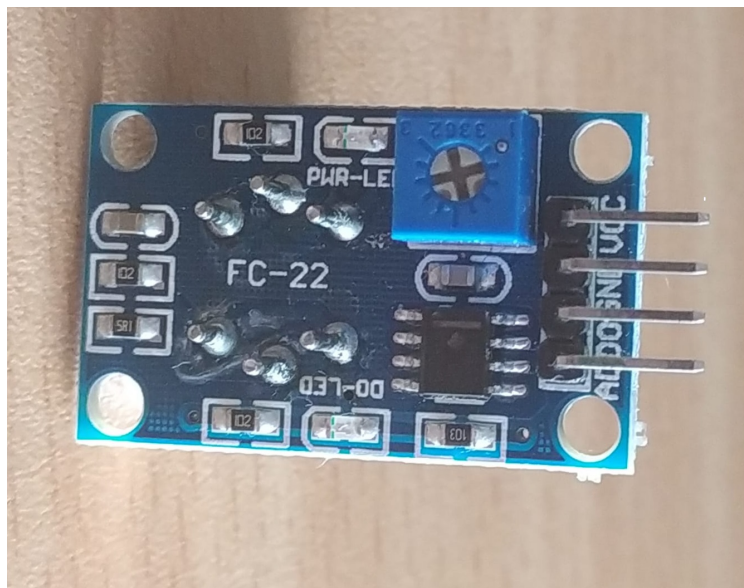


Figura 1. Módulo del sensor MQ-4 para Arduino

La Tabla II describe la función de cada una de las salidas del modulo del sensor MQ-4:

Tabla II. Función de los pines del Arduino

PIN	Descripción	Función
GND	Tierra	Conexión a tierra
D0	Salida digital	Señal de salida HIGH: no hay rastro de gas Señal de salida LOW: hay rastro de gas
A0	Salida análoga	El voltaje de salida cambia con la concentración detectada de gas
VCC	+5 V	Conexión de 5 voltios

Fuente: Tomado de (17).

Se utilizó la curva de calibración de fábrica para el sensor MQ-4 (Fig. 2), la cual se implementó como base para calibrar el sistema. Esta curva dicta el comportamiento de las concentraciones registradas y asegura que los datos de concentración en ppm obtenidos en la práctica sean verídicos en comparación con los datos del proveedor. En la curva se determina la relación R_S/R_O , donde R_S es la resistencia del sensor electroquímico, el cual cambia según la presencia del gas muestra; y R_O es la resistencia del sensor cuando el aire del ambiente no tiene trazas de metano, lo cual se toma como el inicio de la calibración del sensor.

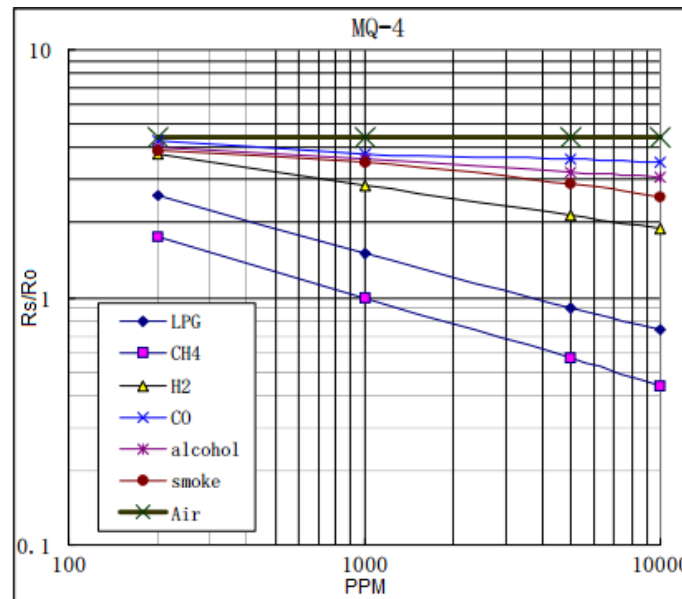


Figura 2. Curva característica del sensor MQ-4 (18)

2.2. Descripción de la cápsula

La cápsula se fabricó mediante un diseño computacional (o Computer Assisted Design, CAD), el cual se exportó mediante un archivo de direcciones y se materializó usando una impresora 3D. La cápsula se diseñó a partir de las dimensiones del sensor MQ-4, teniendo en cuenta la idea

propuesta por (14), donde la cápsula tiene un volumen reducido que limita el movimiento del gas en su interior. Asimismo, el espacio disponible entre las paredes internas de la cápsula y la superficie activa del sensor permite que este reaccione mejor al gas. El diámetro interno y la altura son 1,2 y 2,2 cm respectivamente, y el sensor se acopla a la cápsula por medio de una boquilla (Fig. 3). Dado que el diseño está hecho a medida en materiales plásticos (PLA o ABS) –los cuales no son herméticos y/o impermeables debido a su estructura química, con espacios entre las cadenas poliméricas que a simple vista se aprecian poros en la cápsula. Por lo tanto, las mediciones se ven afectadas por la presencia de aire externo, un ambiente no del todo sellado, y por el material de la cápsula, lo cual resulta en valores inestables.

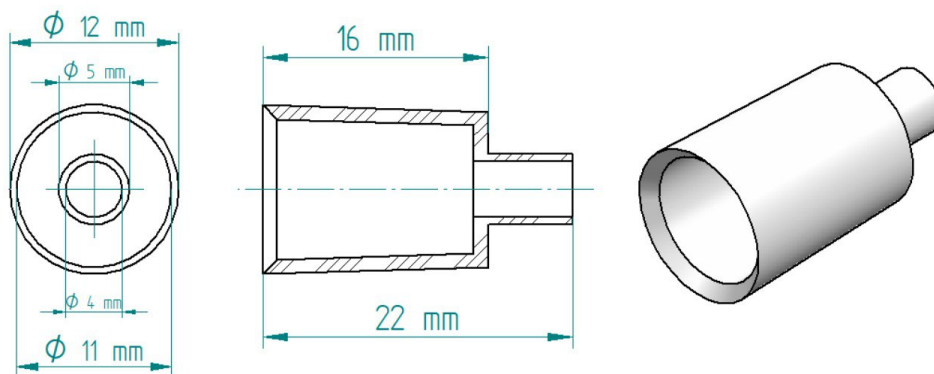


Figura 3. Dimensiones de la cápsula

2.3. Montaje del sistema de cuantificación

En la metodología se plantean 5 muestras de volumen del gas de calibración (Tabla III), es decir, metano para luego diluirlo con aire dentro de una jeringa, completando un volumen de mezcla total de fluido de 10 mL, de acuerdo con lo propuesto por (14). La secuencia que se implemento es la siguiente: 1 mL de gas con 9 mL de aire; 4 mL de gas con 6 mL de aire; 6 mL de gas con 4 mL de aire; 7 mL de gas con 3 mL de aire; y 8 mL de gas con 2 mL de aire. Todas las muestras se elaboraron por triplicado.

Tabla III. Muestras de metano

%metano	mL muestreo	mL total	%esperado
	1	10	10
	4	10	40
	6	10	60
	7	10	70
	8	10	80

Nota: Diseño de experimento con resultado teórico esperado

A partir lo descrito anteriormente se crea una curva de calibración para el sistema, con un rango de operación entre una concentración de metano entre 10-80 %v/v, teniendo en cuenta la información dicha previamente dado que un biodigestor tiene la capacidad de producir biogás con una concentración de hasta 70%v/v. Sin embargo, el rango propuesto para la medición se extiende en caso que se utilice el sistema para otras aplicaciones. Para elaborar la curva de calibración se determinan los volúmenes de los gases, en vista de que la concentración del gas de calibración (marca Merk) utilizado tiene una concentración de 99,99 %v/v.

La Fig. 4 muestra el montaje del equipo de registro para metano compuesto de un sensor MQ-4 encapsulado, conectado a la placa Arduino y una jeringa graduada para la inyección del gas diluido (acoplada a la cápsula). La placa va conectada a un computador (de preferencia portátil) que la alimenta con 5 V y permite la comunicación con un dispositivo con interfaz de visualización.

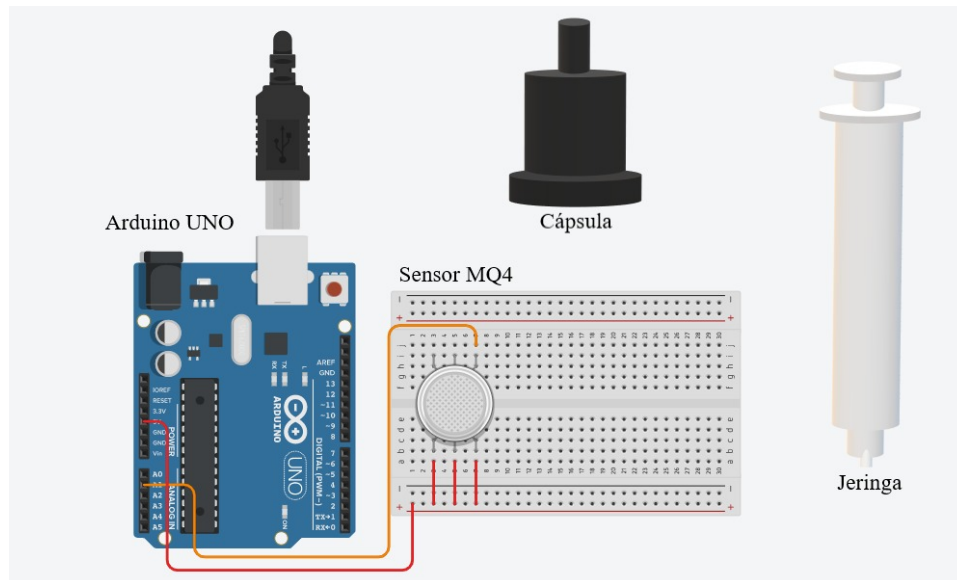


Figura 4. Montaje del sistema de cuantificación

Para los datos del sensor se debe tener en cuenta una correlación con la calibración, a fin de que los resultados arrojados por el sensor se adapten al comportamiento correspondiente según el gas de calibración y se obtengan los resultados reales aproximados de la concentración. Teniendo en cuenta la ecuación descrita por (14), el coeficiente de correlación se define una constante C , que se calcula a través de la siguiente expresión:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}, \tag{1}$$

definiendo Y_i como

$$Y_i = \frac{R_i}{M_i} \tag{2}$$

“donde Y_i es la relación de un volumen dado, se define n como las repeticiones realizadas, M_i

viene siendo la concentración de gas medido por el sensor en un determinado volumen, R_i es la concentración de gas objetivo en el gas estándar para un volumen definido, dado que i es el gas utilizado” (14, p. 10).

3. Resultados

Una vez ejecutada la metodología, se recopilan las concentraciones determinadas por el sensor para cada uno de los volúmenes propuestos con una réplica. Teniendo en cuenta que una relación de concentración de 1%v/v es de 10.000 ppm, se calculan las proporciones de concentración correspondiente para poder compararlas con los valores esperados (Tabla IV) mediante la Ec. (1) del coeficiente de correlación, que se multiplica por el valor obtenido por el sensor en aras de obtener un valor corregido para la concentración de metano.

Tabla IV. Resultados de la cuantificación de metano

mL de muestra	PPM	%v/v de muestra	Yi	%CH ₄ corregido	%error
1	1,824	0,1824	54,825	10,133	1 %
	1.860	0,186	53,763	10,333	3 %
4	4,059	0,4059	98,546	37,259	7 %
	4.032	0,4032	99,206	37,011	7 %
6	7,153	0,7153	83,873	58,501	2 %
	6.395	0,6395	93,814	52,301	13 %
7	13,016	1,3016	53,775	70,268	0 %
	12.833	1,2833	54,541	69,281	1 %
8	14,220	1,422	56,253	76,961	4 %
	14.040	1,404	56,974	75,987	5 %

Mediante los datos recopilados en la Tabla IV se crea una gráfica semilogarítmica (Fig. 5), donde la variable independiente está en la ordenada (*i.e.*, el logaritmo natural de la concentración medida en el sensor en ppm) y la variable dependiente en la abscisa está representada por la concentración de metano corregido en %v/v. Al graficar los valores promedio se obtiene un coeficiente de correlación del 0,99 (Fig. 5), lo cual garantiza un ajuste fiable dada la alta correlación que hay entre la concentración medida experimentalmente y la corregida. En consecuencia, los ensayos futuros generarán analitos fiables.

Se usa la ecuación de la recta descrita en la Fig. 5 para corregir los datos mostrados por el sensor, los cuales están dentro de su rango limitado de medición, corrigiendo el valor al rango extendido descrito en la gráfica. Se despeja la concentración corregida (%v/v) y se calcula con la relación de la concentración en ppm leída por el sensor, implementando pendiente y corte con la ordenada descrita por la línea de tendencia. En la Ec. (3) se define X como la concentración de metano esperada y Y como las ppm registradas por el sensor. Cabe agregar que se determinó un

error del $\pm 5\%$.

$$X = \frac{\ln(Y) - 7,1662}{0,0307} \tag{3}$$

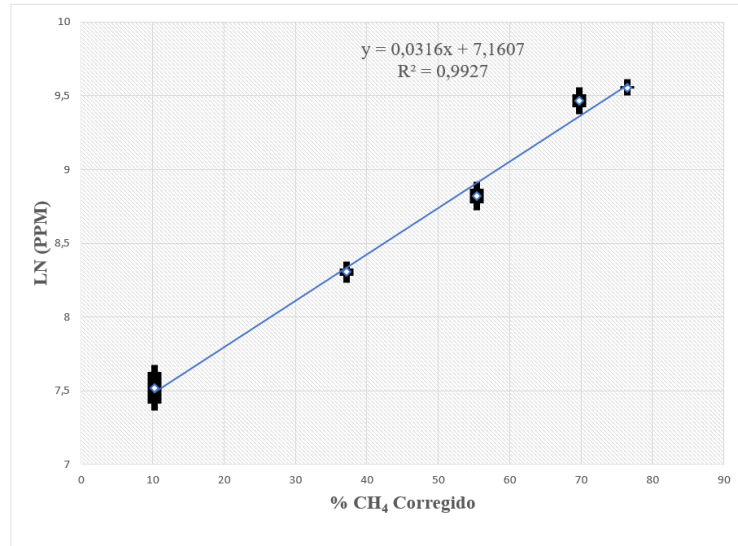


Figura 5. Curva de calibración experimental del sensor MQ-4

Se obtuvo la Ec. (3) con la regresión lineal de los datos de la Tabla IV para generar una correlación entre los datos suministrados y el analito, generando una medición con errores mínimos. Esto, con el objetivo de facilitar y aumentar la fiabilidad al momento de obtener los datos registrados por el sensor (ppm), así como de lograr un resultado preciso en la concentración de metano. Cabe resaltar que el uso de una cápsula para disminuir el espacio entre el sensor y el gas de calibración mejora en gran medida la linealidad de la medición, logrando superar ampliamente el límite de medición de fábrica en relación con otros métodos o técnicas de cuantificación. Esto representa una mejora con respecto a casos de uso de sensores de la serie MQ-4 para la medición de metano reportados en la literatura, como es el caso de (19), que presentó incertidumbres al momento de registrar datos coherentes, pues el sensor MQ-4 no pudo proporcionar valores aceptables debido a su limitación de detección y mostró una respuesta bruta limitada a las posteriores concentraciones de metano. A lo anterior se suma la opción de revisar la concentración del metano para asegurar la calidad de combustión del biogás.

Para determinar el límite de detección (LDI) y límite de cuantificación (LOQ), se siguió la metodología propuesta por (13). La ecuación que correlaciona la desviación estándar con la concentración de metano generó la Ec. (4) con una correlación de 0,9543.

$$Y = 0,0057x + 0,1995 \tag{4}$$

Se puede observar que el valor de $S_{bl} = 0,1995$. Por tanto, los límites teóricos de detección y cuantificación fueron $LDI = 0,5985\%$ y $LOQ = 1,197\%$.

Uno de los factores que influyen en la creación de prototipos de cuantificación de metano con sensores MQ es la facilidad con la que se pueden conseguir los componentes, la accesibilidad que ofrecen (Tabla V), su portabilidad y su menor consumo energético. Además, estos sensores solucionan la limitación del rango de medición. Asimismo, reemplazar los componentes no supone ninguna desventaja, dada la poca dificultad que conlleva el proceso. Se puede hacer una comparativa de inversión: la Tabla VI muestra la cotización por muestreo de varios laboratorios para los años 2020 y 2021.

Tabla V. Precios de los componentes del sistema de cuantificación

Componentes	Cantidad	Precio unidad (COP)	Precio unidad (US\$)
Sensor MQ-4	1	\$ 10.000	\$ 2,5
Placa Arduino Uno	1	\$ 33.000	\$ 8,25
Jumpers hembra macho	3	\$ 400	\$ 0,1
Cápsula	1	\$ 70.000	\$ 17,5
Total		\$ 113.400	\$ 28,35

En vista de lo anterior, se realiza una descripción de las diferentes entidades que efectúan la medición por GC (cromatografía de gases), con el fin de comparar los costos de este servicio (Tabla VI) con el costo de fabricación del sistema de cuantificación de metano descrito (Tabla V), demostrando la accesibilidad que representa el crear un prototipo como el planteado en este documento.

Tabla VI. Cotizaciones para el muestreo por cromatografía de gases

Laboratorios	Tarifa de ensayo (COP)	Tarifa de ensayo (US\$)
Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá (2021)	\$289.900	\$72
Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro-Nare (2021)	\$186.700	\$47
Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR (2020)	\$71.429	\$18

El sistema propuesto emplea materiales sencillos. De igual forma, se pueden desarrollar e incorporar mejoras que pueden llegar a influir significativamente en la toma de datos. Esto, mediante módulos de acoplamiento a la placa procesadora, conocidos como *shields*, los cuales brindan funcionalidad adicional al sistema, *e.g.*, un módulo que permite controlar el Arduino a través de Internet o de una red local (LAN). Esta conectividad de Ethernet llega a ser bastante útil para monitorear la toma de datos sin la necesidad de observar físicamente el sistema. A su vez, este módulo se complementa con otro denominado como *Wifi shield*, que es de gran ayuda para el control remoto de la placa procesadora. Asimismo, existen diferentes *shields* que proporcionan una mayor autonomía al sistema y brindan una mayor movilidad al dispositivo. Se recomienda realizar una comparación con un método riguroso como la cromatografía de gases, en aras de garantizar una mejor precisión en el sistema de cuantificación de metano y disminuir

el porcentaje de error, ya que gases como CO₂ pueden ser igual de afines que el metano al (SnO₂) distorsionando la cuantificación.

A continuación se presentan algunas recomendaciones la toma de datos:

- Realizar un precalentamiento de por lo menos una hora, conectando el sensor y la placa Arduino a un computador, en aras de garantizar un buen funcionamiento del sensor.
- Si se sabe que el gas tiene un concentración alta de metano, se recomienda diluirlo o comenzar con una concentración baja de metano pues, de lo contrario, el sensor puede saturarse, lo cual evita que este realice mediciones. Si esto ocurre, se debe dejar reposar el sensor de 30 minutos a 1 hora al aire libre para que se dispersen las trazas del gas de calibración (19).
- Al momento de inyectar el gas de calibración, se debe mantener la jeringa en el lugar de inyección para evitar fugas.
- Entre mediciones se debe desmontar la cápsula y dejar en reposo el sensor por al menos 2 minutos. Esto, con el fin de despejar todo rastro de gas de muestra de la medición anterior.
- Es posible que el dispositivo funcione de manera errónea bajo ciertas condiciones ambientales. Se debe tener en cuenta que la humedad relativa debe ser menor a 95 %, la temperatura de operación oscila entre 20 °C y 50 °C y la concentración de oxígeno puede afectar la sensibilidad (el estándar con el que trabaja el sensor es 21 %).

4. Conclusiones

A partir de la comparación de los rangos de medición de fábrica del sensor MQ-4 (entre 200 y 10.000 ppm, lo cual equivale a una concentración entre 0,02 y 1 %v/v), al diluir el metano con aire e implementar una cápsula que aumenta los tiempos de retención del gas de calibración, se logra aumentar los rangos de medición con respecto a los de la curva de calibración propuesta, con un intervalo de 10-80 %v/v. Se recomienda no extrapolar datos, pues esto puede resultar en un error de medición mayor a lo establecido.

Se desarrolló un sistema de cuantificación de metano fiable y de bajo costo, con el fin de mejorar el seguimiento estricto de producción de metano en biodigestores. Este sistema es accesible a proyectos de investigación de todo tipo y no se debe limitar solo a la cuantificación de metano, dada la variedad de modelos de sensores MQ, con aplicaciones en gases como metano, hidrógeno, monóxido de carbono, alcoholes, entre otros. Si se cambia la curva de calibración, este sistema puede adaptarse a sensores diferentes al descrito.

El uso de un sistema basado en Arduino para la cuantificación de metano sigue siendo, por un amplio margen, la mejor opción en términos de precisión. Esto, en comparación con otros métodos para la determinación de metano (*i.e.*, pruebas de inflamabilidad, desplazamiento volumétrico y sus variantes). Este tipo sistema es, además, más económico que el método por

cromatografía, y su buen rendimiento se debe a que utiliza una cápsula parcialmente cerrada, ofreciendo al sensor un mejor desempeño al momento de inyectar el gas de calibración, pues esta retiene por más tiempo la muestra frente al sensor, evitando la dispersión del gas de calibración en el ambiente y dando tiempo al sensor para realizar una medición correcta.

Se proponen estudios adicionales del sistema de medición en aras de identificar la durabilidad del sensor en condiciones de exposición permanente a biogás, así como la aplicación directa a biodigestores tanto en sistemas por lotes como de manera continua. También se pretende establecer su uso para la medición de otros gases, incluyendo hidrógeno, dióxido de carbono, amoníaco y sulfuros como posibles gases generados en los procesos de digestión anaerobia.

Este primer prototipo tiene ventajas sobre los sistemas actuales de medición. Sin embargo, también posee algunas debilidades como la fragilidad del circuito integrado, el riesgo de saturación del sensor, la necesidad de aireación del sensor para eliminar la saturación y el requerimiento de energía a través de un computador o fuente de 5 V.

5. Contribución de autores

Todos los autores contribuyeron de la misma forma en la investigación.

Referencias

- [1] P. Rosha, A. K. Rosha, H. Ibrahim y S. Kumar, "Recent advances in biogas upgrading to value added products: A review," *Int. J. Hydro. En.*, vol. 46, no. 41, pp. 21318–21337, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.03.246> ↑2
- [2] L. Furst, M. Feliciano, L. Frare y G. Igrejas, "A portable device for methane measurement using a low-cost semiconductor sensor: Development, calibration and environmental applications," *Sensor*, vol. 21, no. 22, p. 7456, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21227456> ↑2
- [3] N. Vaquerano, T. Salazar y M. Porras, "Medición automática del metano en biogás, por columnas de desplazamiento," *Rev. Tecnol. Marcha*, vol. 29, no. 8, pp. 86-96, 2016. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i8.2988> ↑3, 4
- [4] CUBIC, "Industrial grade NDIR CH4 Sensor-SJH," 2018. [Online]. Available: https://en.gassensor.com.cn/IndustryGasSensor/info_itemid_126.html ↑3
- [5] IEA, "Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth," 2020. [En línea]: <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/an-introduction-to-biogas-and-biomethane> ↑4
- [6] L. Baquero y C. Murillo, "Evaluación de la producción de biogás mediante digestión anaerobia a partir de lodos residuales de la PTAR Villas del Nuevo Siglo, en la

- Mesa-Cundinamarca," tesis de pregrado, Fund. Univ. América, Bogotá, Colombia, 2019. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7613> ↑4
- [7] S. Pérez y D. Velandia, "Evaluación de la producción de biogás en un reactor metanogénico escalonado (RME) usando cenizas de cascarilla de arroz como material adsorbente para diferentes cargas orgánicas (OLR)," tesis de pregrado, Fund. Univ. América, Bogotá, Colombia, 2020. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7796> ↑4
- [8] L. Cárdenas, B. Parra, P. Torre y C. Vásquez, "Perspectivas del ensayo de potencial bioquímico de metano - PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos," *Rev. ION*, vol. 29, no. 1, pp. 95-108, 2016. <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v29n1-2016008> ↑4
- [9] H. Mcnair, J. Miller y N. Snow, "Basic gas chromatography," 3ra. ed., Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2019. <https://books.google.es/books?id=VimjDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false> ↑4
- [10] J.D. Trelles, "Cuantificación de biogás generado a partir de Azúcares Reductores Totales (ART) del hidrólizado de la cascarilla de arroz, mediante el modelo de Gompertz", tesis de pregrado, Univ. Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2019. http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/32659/1/Trabajo_de_Titulaci%C3%B3n.pdf ↑4
- [11] A. Lewis, E. Schneidmesser, R. Peltier y M. Jiménez, "Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: Overview of topic and future applications," World Meteorological Organization (WMO), 2018. <https://n9.cl/zfpza> ↑3
- [12] I. Daugèla, J. S. Visockienė y J. Kumpienė, "Detection and analysis of methane emissions from a landfill using unmanned aerial drone systems and semiconductor sensors," *Detritus Multidisc. J. Waste Resour. Residues*, vol. 10, pp. 127-138, 2020. [10.31025/2611-4135/2020.13942](https://doi.org/10.31025/2611-4135/2020.13942) ↑3
- [13] P. A. Montoya-Zuluaga y J. G. Castaño-Gonzalez, "Validación de un método cromatográfico y determinación de sulfatos en productos de corrosión atmosférica del zinc expuesto en ambientes de SO₂ y NO₂," *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, no. 33, pp. 84-96, 2005. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/24741> ↑3, 10
- [14] D. Hamada, D. Andriatoavina, N. Razafindralambo, K. Amarillis y J. Andriamampianina, "A simple and low-cost integrative sensor system for methane and hydrogen measurement," *Sensors Int.*, vol. 1, art. 100032 2020. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2020.100032> ↑3, 7, 8, 9
- [15] A. Ordóñez, E. Fitz, T. Espinosa, M. Gonzáles y N. Velazque "Determinación de concentración de metano con sensores semiconductores," 2017. [En línea]: <https://n9.cl/3h4gq> ↑5
- [16] Henan Hanwei Electronics Co. Ltd, "MQ-4 semiconductor sensor for natural gas," 2018. [En línea]: <https://www.pololu.com/file/0J311/MQ4.pdf> ↑5
- [17] N/D, "Entradas y salidas analógicas Arduino," 2018. [En línea]: <https://n9.cl/8ee39> ↑6
- [18] Henan Hanwei Electronics Co. Ltd, "Sensitivity characteristics," 2018. [En línea]: <https://www.pololu.com/file/0J311/MQ4.pdf> ↑6

- [19] I. Nagahage, E. Nagahage y T. Fujino , “Assessment of the applicability of a low-cost sensor-based methane monitoring system for continuous multi-channel sampling,” *Environ. Monitor. Assessment*, vol. 1, art. 509, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09290-w> ↑10, 12
- [20] Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá, “Tarifa de ensayos, asesorías y servicios prestados por los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá,” 2021. [Online]. Available: http://www.legal.unal.edu.co/rlunal/home/doc.jsp?d_i=97917 ↑
- [21] Corporación Autónoma Regional De Las Cuencas De Los Ríos Negro-Nare, “Tarifas del laboratorio ambiental de CORNARE,” 2021. [En línea]: https://www.cornare.gov.co/laboratorio/Tarifas_Laboratorio_Ambiental_2021.pdf ↑
- [22] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, “Tarifas de los análisis practicados por la dirección de laboratorio e innovación ambiental-DLIA de la CAR para el año 2020,” 2020. [En línea]: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5fc5281120532.pdf> ↑

Juan Francisco Arias-Molina

Estudiante de Ingeniería Química de la Fundación Universidad de América.

Email: juan.arias5@estudiantes.uamerica.edu.co

Harvey Andrés Milquez-Sanabria

Ingeniero químico de la Universidad Nacional de Colombia. Magíster en Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Doctor en Energías Renovables del Centro de Investigación Científica de Yucatán. Líder del grupo de Investigación en Procesos de Separación No Convencionales (GPS) del programa de Ingeniería Química y Ambiental de la Fundación Universidad de América.

Email: harvey.milquez@profesores.uamerica.edu.co

Manuel Alejandro Mayorga-Castellanos

Ingeniero químico de la Universidad Nacional de Colombia. Magíster en Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Candidato a Doctor en Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia. Líder del grupo de Investigación en Aprovechamiento Tecnológico de Materiales y Energía (GIATME) de la Universidad ECCI.

Email: mmayorgab@ecc.edu.co

Juan Andrés Tovar-Sánchez

Estudiante de Ingeniería Química de la Fundación Universidad de América.

Email: juan.tovar4@estudiantes.uamerica.edu.co





Research

Wireless Real-Time Data Acquisition System for Aerodynamic Characterization of a Wind Turbine

Sistema inalámbrico de adquisición de datos en tiempo real para la caracterización aerodinámica de una turbina eólica

Jhoan S. Casallas¹✉, Héctor G. Parra^{2,**}, and Elvis E. Gaona^{1,***}

¹Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá-Colombia).

²Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá-Colombia).

Abstract

Context: Wind energy sources utilize renewable, free, and environmentally friendly resources, so there are projects focused on the design of wind turbines to increase their efficiency. Simulations using computational fluid dynamics techniques allow designs to be analyzed, which, are then validated through experimentation and wind tunnel measurements.

Method: Data acquisition is performed by using Wind Sensor Rev.P sensors to measure wind velocity, and MMA7361 accelerometer to measure the vibrations generated by the wind in the turbine. Additionally, an ESP32 is required to process and transmit the data via Bluetooth, thus facilitating the installation of the real-time monitoring module inside the wind tunnel.

Results: A monitoring module with a sampling rate of 5 ms was obtained, thus allowing real-time data acquisition, with a resolution of 12 bits for good data capturing accuracy and a transmission rate of approximately 74.000 bps. An application capable of plotting 3D acceleration and 2D wind speed signals was also created.

Conclusions: The device developed serves as a support for future wind turbine design projects since it is wireless, its installation is simple, it facilitates data collection inside a wind tunnel, and it allows visualizing the turbine's behavior in real time by means of a graphic interface.

Keywords: accelerometer, hot-wire anemometer, Bluetooth, wind power, wind tunnel

Article history

Received:
21nd /Jan /2022

Modified:
3rd /Mar /2022

Accepted:
7th /May /2022

Editor:
Dr. Nelson Díaz

Ing., vol. 28,
no. suppl, 2023.
e18860

©The authors;
reproduction
right holder
Universidad
Distrital
Francisco José de
Caldas.

Open access



✉ **Correspondence:** *jscasallasv@correo.udistrital.edu.co, **hector.parra@unimilitar.edu.co, ***egaona@udistrital.edu.co

Resumen

Contexto: Las fuentes de energía eólica aprovechan recursos renovables, gratuitos y respetuosos con el medioambiente, por lo cual existen proyectos enfocados en diseñar turbinas eólicas para aumentar su eficiencia. Las simulaciones mediante técnicas de dinámica de fluidos computacionales permiten analizar diseños, los cuales son luego validados mediante experimentación y mediciones en túneles de viento.

Método: La adquisición de datos se realiza mediante el uso de los sensores Wind Sensor Rev.P para medir la velocidad del viento y del acelerómetro MMA7361 para medir las vibraciones generadas por el viento en la turbina. Adicionalmente se requiere una ESP32 para procesar y transmitir los datos mediante Bluetooth, facilitando la instalación del módulo de monitoreo en tiempo real dentro del túnel de viento.

Resultados: Se obtuvo un módulo de monitoreo con una frecuencia de muestreo de 5 ms, lo que permite la adquisición de los datos en tiempo real, con una resolución de 12 bits para una buena precisión en la toma de datos y una velocidad de transmisión de aproximadamente 74.000 bps. También se creó una aplicación capaz de graficar las señales de aceleración en 3D y velocidad del viento en 2D.

Conclusiones: El dispositivo desarrollado sirve como soporte para futuros proyectos de diseño de aerogeneradores, ya que es inalámbrico, su instalación es sencilla, facilita la recolección de datos dentro de un túnel de viento y permite visualizar el comportamiento de la turbina en tiempo real mediante una interfaz gráfica.

Palabras clave: acelerómetro, anemómetro de hilo caliente, Bluetooth, energía eólica, túnel de viento

Table of contents

	Page		
1. Introduction	2	3.1. Data acquisition module	7
2. Wind energy	3	3.1.1. Hot wire anemometer	8
2.1. Wind turbines	4	3.1.2. Capacitive accelerometer	8
2.2. Wind tunnel	5	3.2. Data processing and wireless	
2.3. Aerodynamic behavior of a		data transfer modules	8
turbine	5	3.2.1. ESP32	9
3. Data acquisition device	7	3.3. Real-time data monitoring	9
		4. Results	10
		5. Conclusions	12
		References	13

1. Introduction

Nowadays, systems that help protect the environment are being implemented in the production of electricity, including wind energy generation, which is characterized as a

renewable, free, and environmentally friendly energy source, that utilizes the kinetic energy generated by the wind to produce electricity. Renewable energy sources supplied 27% of the global electricity generation in 2020 (1), and they accounted for 25% of the total primary energy supply in 2013 in Latin America (2). In addition, wind energy, together with photovoltaics, generated 7% of the global electricity in 2020 (1). The amount of electricity that can be produced by a wind turbine depends mainly on wind speed. However, the fact that wind speed is dispersed and random constitutes a disadvantage for its use (3–5).

Considering the efficiency and environmental benefits of wind energy sources, projects have emerged which focus on harnessing the wind by modifying the physical structure of the turbine in order to increase its efficiency, given the fact that the wind is not constant. Several of the authors of these projects analyze the aerodynamic behavior of the turbine with computational fluid dynamics (CFD) simulations to identify possible improvements (6–10). When resorting to CFD simulations for the aerodynamic characterization of the turbines, the simulations are validated and supported with experimental tests by introducing the turbine inside a wind tunnel. To facilitate data acquisition in said experiments, this work develops a prototype wireless data acquisition device located inside the wind tunnel, which is simple to install, in order to gather the data necessary to validate the results obtained in the CFD simulations. With the implementation of the device for capturing experimental data, the efficiency of the CFD simulations will be higher, so this wireless data acquisition system will be able to support future designs aiming to increase energy production in wind turbines.

The device is composed of an embedded system. This type of system is widely used for data acquisition in real time, and it allows the wireless transfer of information, with the advantage that the user can be at a safe distance from the place where the tests are performed in order to obtain the data. This allows the acquisition of data from tests performed in high-risk areas or that require remaining exposed all the time, as in the measurement of environmental conditions that affect the harvest in a crop, the explosion of a car to measure the forces involved, or inside a wind tunnel to characterize the aerodynamic behavior of an object (11–18).

2. Wind energy

To talk about wind energy, we must first understand the concept of wind, since it is the main factor in wind systems. Wind is a mass of air in motion, which is produced by the temperature variation of the earth's surface, which is generated by different solar radiation intensities. Therefore, wind energy can be considered to be a small percentage of the solar energy incident on the earth (3,5,20,21).

Wind energy is characterized as a renewable, free, and environmentally friendly source of energy, which allows utilizing the kinetic energy produced by the wind in order to generate electricity by using wind turbines (3–5, 21). The amount of electricity generated by a wind source depends mainly on the wind velocity, which is a disadvantage because the wind is not

constant, that is, the flow of wind displacement is dispersed and random (3,4). As wind velocity varies with respect to the surface temperature, it must be considered that the wind potential of each area is different. The segmentation of the wind potential with respect to wind velocity in Colombia (22), can be seen in Fig. 1.

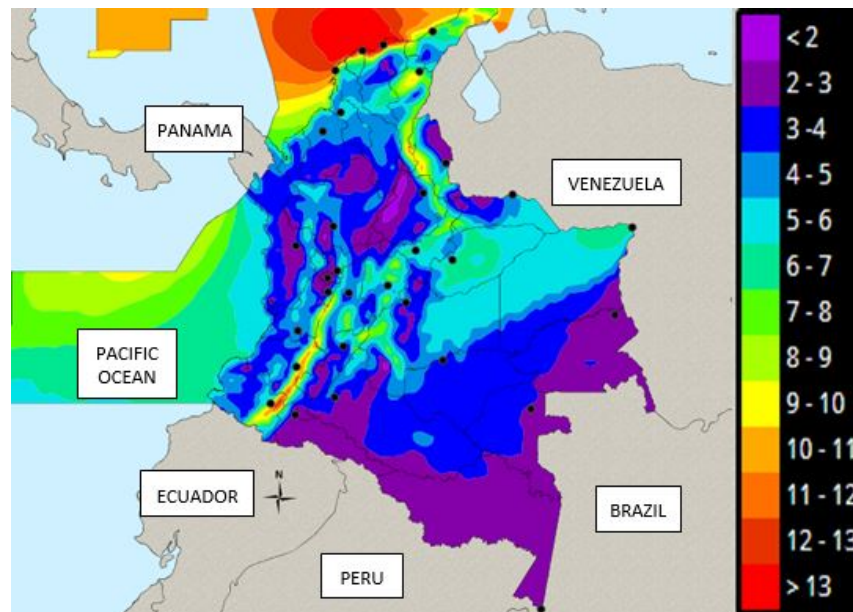


Figure 1. Available wind power as a function of wind velocity (m/s) in Colombia (22)

2.1. Wind turbines

Wind energy sources are basically composed of wind turbines. These turbines are the mechanical devices in charge of capturing the kinetic energy of the wind in order to transform it into electricity. The diagram shown in Fig. 2 shows the components of a wind turbine. The operation of these devices is based on capturing the wind through the blades in order to convert the kinetic energy of the wind into mechanical energy, which turns the rotor of a generator, transforming the mechanical energy into electricity. Finally, the electricity generated can then be used or stored in batteries (3,4,20).

As for the turbine, there are three fundamental laws that describe its operation: the amount of electricity that a turbine can produce is proportional to the wind velocity squared; the energy that the turbine can harness is proportional to the square of the length of its blades; and, theoretically, the maximum efficiency of a wind turbine is 59 %, although it is lower in practice (3).

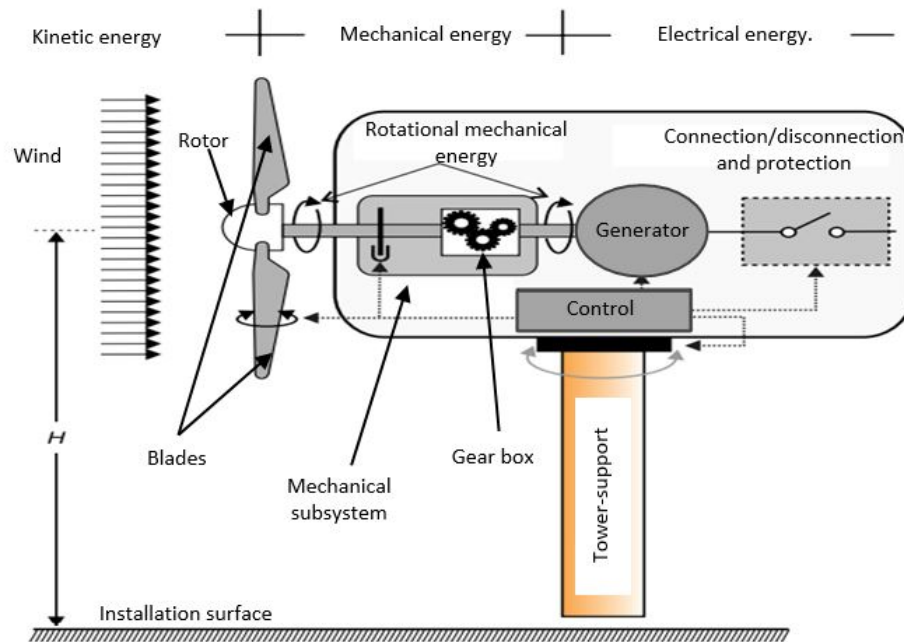


Figure 2. Wind turbine components (20)

2.2. Wind tunnel

A wind tunnel (Fig. 3a) is an infrastructure that generates a constant wind flow of known parameters. It is used to study and verify the effects of wind on an object by obtaining information on wind behavior, pressure distribution, and global loads produced. Among the various applications wind tunnels in engineering, the following areas stand out: fan calibration, aeronautical simulations, fluid mechanics, and the aerodynamic characterization of wind turbines (23–25).

Figure 3b shows the composition of a wind tunnel, namely the establishment chamber, whose function is to make the wind flow uniformly and move in only one direction only; the acceleration cone, which is responsible for accelerating the velocity of the air flow; the test chamber, where the object of study is located (for this project, this would be the wind turbine and the sampling device to be developed); the diffuser, where the wind velocity is reduced, reducing in turn the energy losses of the tunnel; and the integrated system of powerful fans to produce the different air current velocities to which the object of study is subjected (25–27).

2.3. Aerodynamic behavior of a turbine

Aerodynamics is the study of the forces and motions exerted on an object passing through a stream of air (21). The aerodynamic study of a turbine is important to measure operating parameters such as startup, shutdown, system orientation, and turbine lifetime (it also depends on the maximum turbulence that the system can withstand). It should be noted that, for a small

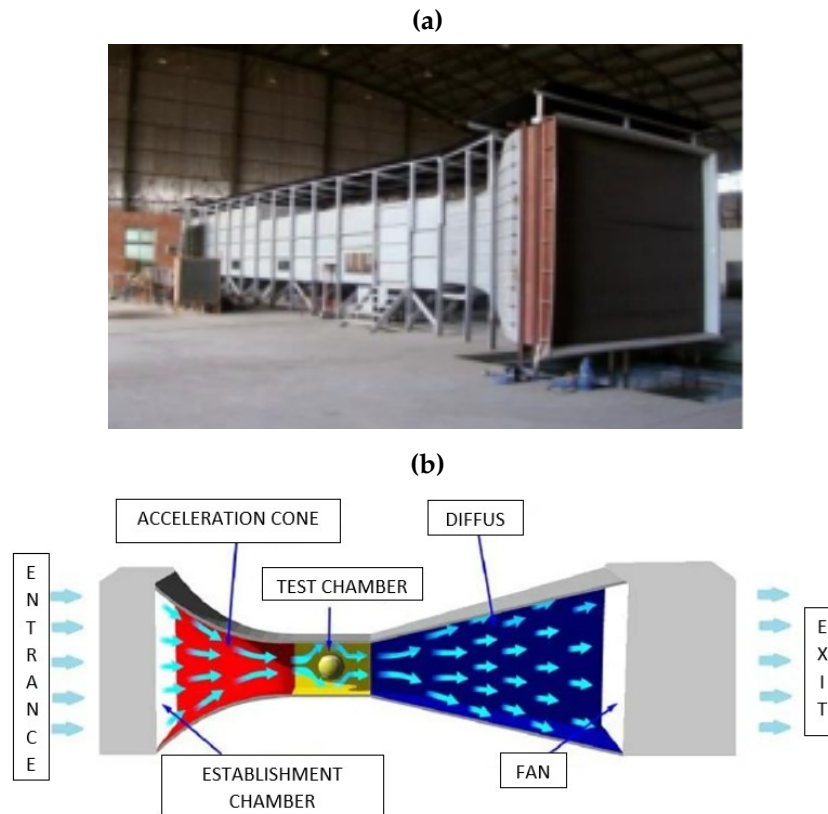


Figure 3. Wind tunnel (23), (b) components of a wind tunnel (25)

wind turbine, the minimum wind velocity required for operation is 3,5 m/s, and, to produce the maximum generation power, a velocity of approximately 10 m/s is required (19). Eq. (1) defines the available power for a wind turbine, but, as it can be noticed, it is basic because it disregards a very important factor for the present project, which is the ratio between the harnessed and the available power. Instead, Betz's limit theory can be used for a theoretical study on the aerodynamic characterization of turbines.

$$P_d = \frac{1}{2} \rho v^3 A \quad (1)$$

The theory developed by Betz is a first approach to the problem regarding the immersion of the turbine into an air flow, and it demonstrates that the greater the amount of energy from the wind that the turbine utilizes, the greater the loss of velocity suffered by the wind when passing through the turbine. Therefore, the highest efficiency achievable by a wind turbine is 59% (5). This study was made based on Fig. 4, thus obtaining Eq. (2) to define the wind power that can be harnessed by the turbine. On the other hand, projects that focus on redesigning the physical structure of the turbine perform their aerodynamic studies using CFD techniques. These techniques use numerical methods and algorithms to analyze the behavior of fluids based on parameters such as velocity, pressure, temperature, among others (4).

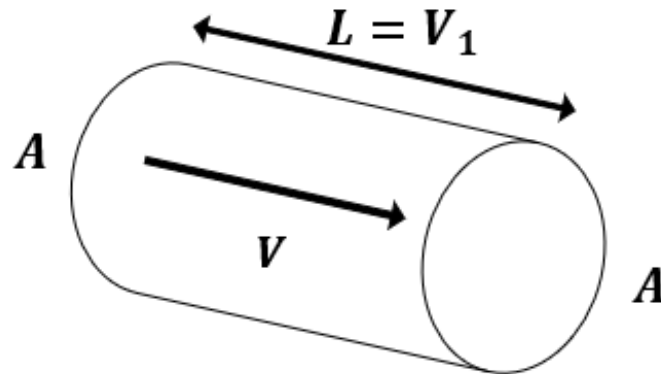


Figure 4. Betz limit model (5)

$$P_d = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \quad (2)$$

To analyze the aerodynamic behavior of the turbine through CFD simulations, it is necessary to consider the wind as a fluid, for which it is necessary to consider parameters such as the Mach number, which is used as a reference of the velocity; viscosity, the property that describes the resistance of a fluid when sliding; the boundary layer, which is the layer between the flow layer that adheres to the surface of the object of study and the free stream layer; the laminar layer, which is produced when the air movement within the boundary layer is in the form of parallel layers; and the Reynolds number, on which the aerodynamic coefficients depend (21). From the theory of fluid dynamics, it is possible to obtain Eq. (3), which describes the wind power that the turbine can extract from the wind.

$$P = \rho S V^2 (V_1 - V_2) \quad (3)$$

The three equations presented allow identifying the main parameters to be considered to aerodynamically characterize a turbine, deducing that only the wind velocity and direction need to be measured, since this project is focused on experimental tests inside a wind tunnel. Several parameters that affect the turbine, such as topology, geography of the area, temperature, and atmospheric pressure, among others, are discarded.

3. Data acquisition device

3.1. Data acquisition module

The data acquisition module is composed of two sensors: the Wind Sensor Rev.P to measure wind velocity and the MMA7361 accelerometer, used to measure the inclination of the turbine due to the force exerted by the wind.

3.1.1. Hot wire anemometer

The Wind Sensor Rev.P (Fig. 5) is the latest version of wind sensors developed by MODERN DEVICE. This anemometer stands out for its hardware compensation of the ambient temperature, as it is composed of stable and accurate thermistors, in addition to having the ability to withstand the force of a hurricane without saturating (28). Some technical specifications to be highlighted are the following: it has an operating range of 0-150 mph; it requires a supply voltage of 10-12 V; the output of this sensor is analog and varies from 0-3,3 V; and it has a resolution of $\pm 0,5$ m/s for a constant wind current of 5 m/s (29,30). These features facilitate the implementation of this anemometer in circuits and allow adequately measuring the wind velocity.

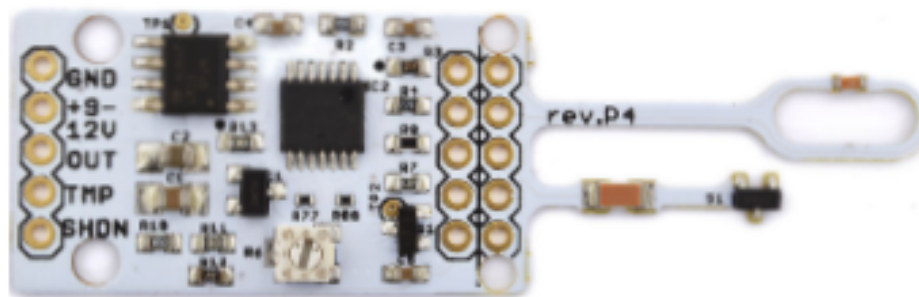


Figure 5. Wind Sensor Rev.P

3.1.2. Capacitive accelerometer

An accelerometer is an electromechanical device developed for measuring the dynamic and static acceleration of an object produced by a shock, movement, impact, or vibration (31–33). It is necessary to implement a sensor that does not cover a large area, so the MMA7361 (Fig. 6) accelerometer was chosen. Usually, this sensor is used to detect vibrations, to measure the inclination of an object, or to measure movement, compasses, etc. It is generally implemented in portable devices and mobile equipment (31). On the other hand, this sensor is a low power consumption measurement instrument of 400 μ A, it has a small size, it requires a power supply of 3,3 to 5 V, and it has a sensitivity adjustable to 800 mV/g or 206 mV/g, and analog output with a range of 0-3,3 V, and a response time of 0,5 ms. To summarize, it is a suitable sensor for the device to be developed (34,35).

3.2. Data processing and wireless data transfer modules

These two modules are addressed in the same section since the development board to be implemented is the ESP32. This board is designed by Espressif Systems, who define it as the solution for microcontrollers that lack wireless data transmission features. This type of boards is commonly used as the means to access IoT technology, and it can also be used for monitoring variables in real time. It is a small device that has the advantage of taking up little space on a printed circuit board (36,37).

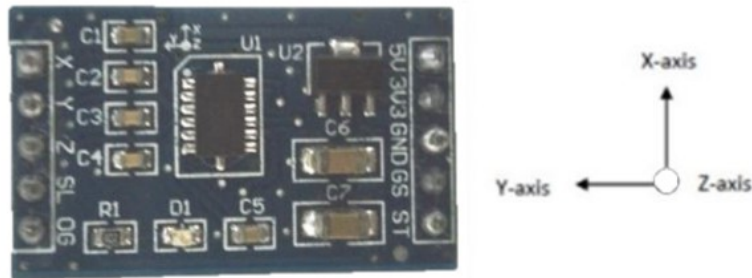


Figure 6. Accelerometer MMA7361

3.2.1. ESP32

The ESP32 (Fig. 7) is a development board consisting of a 32-bit core and features such as Wi-Fi, Bluetooth, and BLE wireless connectivity (38). It can be programmed using the Arduino IDE, thus making it easy to use, which makes this board a powerful tool for wirelessly processing and sending data. What makes the ESP32 stand out is that it features Bluetooth V4.2 BR/EDR and BLE, as well as 32 input and output pins, (out of which 18 can be used as ADC converters). The ADC has a resolution of 12 bits and a sampling rate of 200 samples per second (38). These characteristics are suitable for the development of real-time data acquisition applications. As for the wireless connection via Bluetooth, it has a transmission power of +12 dBm, UART communication protocol, and a transmission rate of 4 Mbps (36).

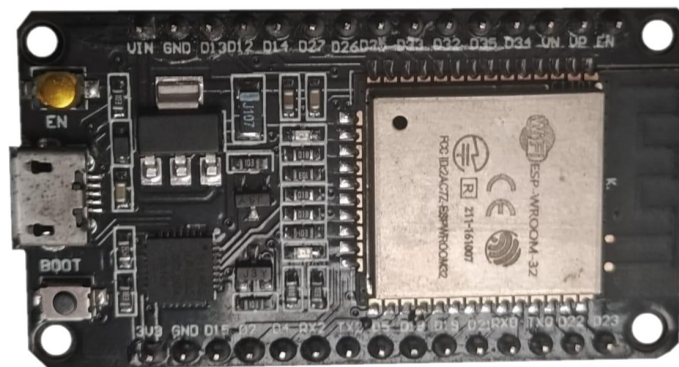


Figure 7. ESP32

3.3. Real-time data monitoring

For data monitoring, an app is created using MATLAB's App Design tool, facilitating user interaction with the tool for the visualization of the data acquired by the device. The tool provided by MATLAB allows creating apps without extensive knowledge in coding because the graphical interface can be created by dragging and dropping visual components. On the other hand, it has an editor where the behavior of the app can be programmed (39). Fig. 9 shows the app developed for data monitoring.

4. Results

This section presents the wireless data acquisition device for the aerodynamic characterization of a wind turbine. The device can be seen in Fig. 8, and its dimensions are 7 x 6 x 6 cm. Having a small size constitutes an advantage in terms of installation inside the wind tunnel, in addition to the fact that it will not affect the aerodynamic behavior of the turbine.

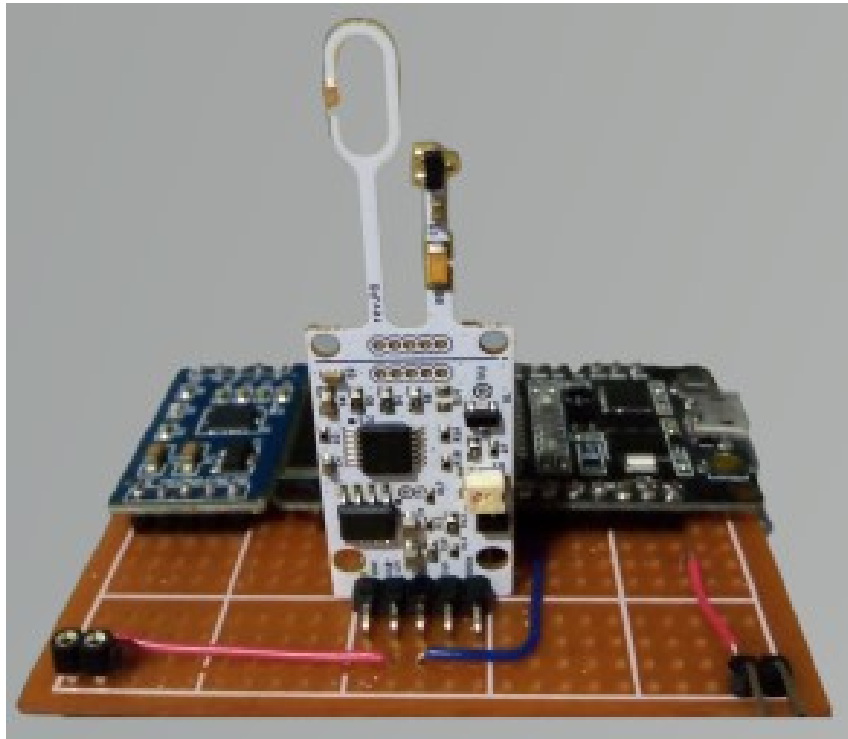


Figure 8. Wireless data acquisition device

Fig. 9 shows the app in operation, where the parameters necessary for the characterization of a wind turbine can be seen. These parameters are the inclination of the object in 3D, showing the x, y, and z axes in g. On the other hand, the wind velocity can be visualized in 2D, where the axes of the graph are velocity (m/s) vs. time (s).

Fig. 10 shows the device in front of the computer. As it can be observed, there is no physical connection between them, since the data transfer is wireless. This device reads the inclination of the object of study in g and the wind velocity in m/s.

Finally, Table I presents the data obtained in different tests with the device. The tests consisted of first changing the transmission speed (Kbps) to establish a speed at which the connection was stable, and then varying the distance between the device and the computer (cm) in order to obtain the coverage of the device. These tests showed that the data loss occurs at a transmission speed of 134,314 Kbps because the time required by MATLAB to process and plot the data is

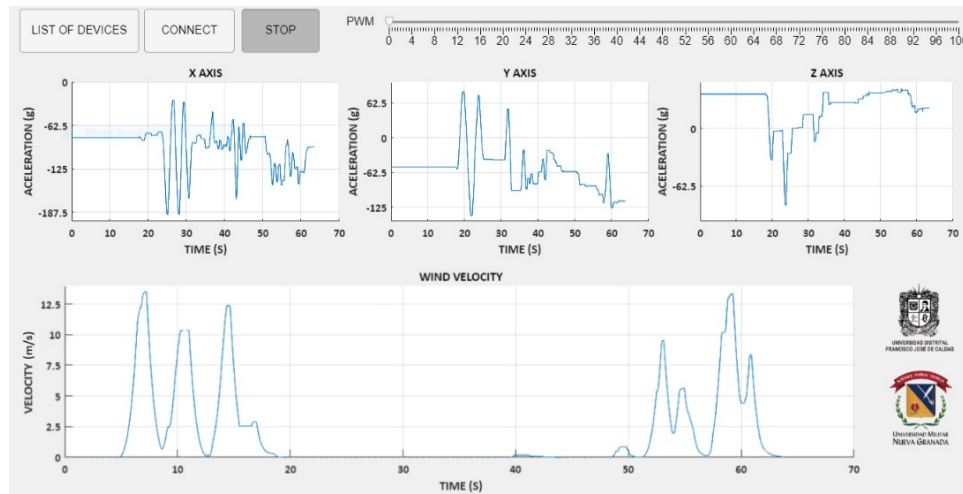


Figure 9. Real-time data monitoring application

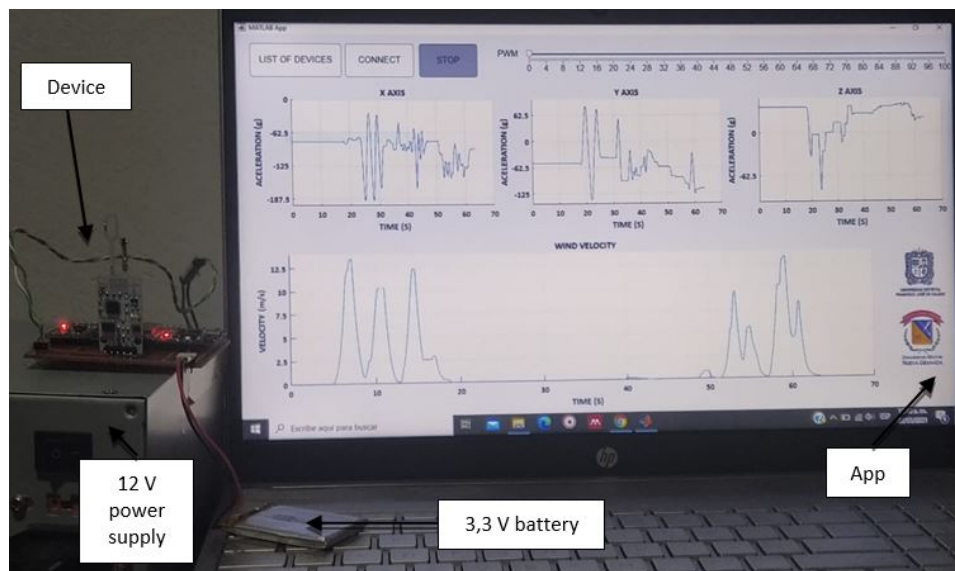


Figure 10. Implementation of the wireless data acquisition device

greater than the time it takes the device to send the messages, which is why the application does not perform the timely reading of the messages, thus causing the agglomeration of the information in the device and the loss of connection.

On the other hand, Table I shows that a stable connection is maintained within a range of 1087 cm and that the transmission speed varies due to the changes in the distance between the wireless data acquisition device and the computer, given that the transfer of information is performed via the Bluetooth protocol, which is asynchronous.

Table I. Coverage tests of the wireless module developed for aerodynamic characterization inside wind tunnel

Transmission rate (Kbps)	Distance (cm)	Data loss or connection failure
31.357	90	NO
74.689	90	NO
134.314	90	YES
74.165	156	NO
74.560	265	NO
75.994	410	NO
75.339	543	NO
73.561	697	NO
74.620	851	NO
70.425	974	NO
74.408	1087	NO

Fig. 11 shows the distortion. The signal is not continuous, but there are some peaks and drops in the signal corresponding to the wind velocity when the amount of data sent per message is increased.

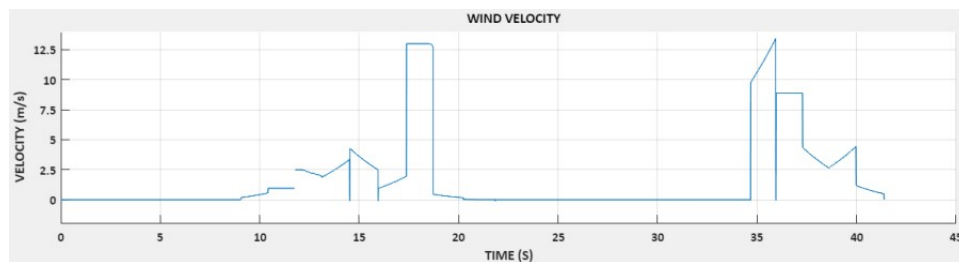


Figure 11. Distortion of the measured wind velocity signal

5. Conclusions

The wireless data acquisition device for the characterization of a wind turbine is in proper working order when time periods are established in order to properly synchronize all the modules of the device, *i.e.*, when the appropriate time for data acquisition, processing, transfer, and visualization is established according to the characteristics of each module. For the data acquisition module, the sampling time depends on the samples per second that the sensors can take. The data processing module must have a waiting time between samples so as not to affect the ADC conversion. The data transfer module must send the information every so often, so that the computer can acquire the data and process and display them without loss of information. By achieving a small device size and wireless data transfer, the installation of the device inside the wind tunnel is facilitated. In addition, the device can provide real-time data monitoring,

Table II. Units and symbols

Unit	Symbol	Note
Velocity	m/s	Unit of speed
Meters	m	Unit of distance
Centimeter	cm	Unit of distance, corresponding to 1×10^{-2} m
Milliseconds	ms	Unit of time, corresponding to 1×10^{-3} s
Microvolts	μV	Unit of electric potential, corresponding to 1×10^{-6} v
Kilogram	Kg	Unit of mass
Watt	W	Unit of power
Force g	g	Unit of acceleration, corresponding to $9,80665 \text{ m/s}^2$
Transmission rate	Kbps	Unit of the speed at which the information is transferred, corresponding to 1×10^3 bits per second

Table III. Variables and abbreviations

Variable	Abbreviation	Note
Available power	Pd	Power that can be captured by the wind turbine in W
Fluid density	ρ	Wind density in kg/m^3
Area	A	Wind turbine rotor area in m^2
Length	L	Length of the test object in m
Velocity	V	Wind velocity in m/s
Power coefficient	Cp	Ratio between the harnessed and the available power
Length	S	Wind turbine length in m
Velocity one	V1	Wind velocity before contacting wind turbine in m/s
Velocity two	V2	Wind velocity after passing through the wind turbine in m/s
Computational Fluid Dynamics	CFD	Numerical simulation of fluids using computational methods

which allows viewing the aerodynamic behavior of the wind turbine inside the wind tunnel during testing, thus facilitating the necessary measurements for the study. This provides quality information to support future projects focused on the design of wind turbines in order to increase their efficiency by making better use of the kinetic energy produced by the wind.

References

- [1] ENERLAC, "Mejora, aumento y facilitación del acceso a la educación y capacitación en energía renovable en América Latina.," *Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe.*, 2020. [Online]. Available: <http://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/150> ↑3
- [2] Á. L. P. Ghislaine Kieffer, "RENEWABLE ENERGY MARKET ANALYSIS LATIN AMERICA.," IRENA, 2016.[Online]. Available: https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Market_Analysis_Latin_America_2016.pdf ↑3

-
- [3] A. H. J. Camilo, "Análisis y optimización aerodinámica del prototipo de turbina eólica tipo savonius implementado en la facultad tecnológica," Thesis, Dept. Mech. Eng, UD, Bogotá, Colombia 2018. [Online] Available: <http://hdl.handle.net/11349/7853> ↑3, 4
- [4] R. S. de la calle Bernardo, "Estudio aerodinámico de un aerogenerador de eje vertical mediante técnicas de cálculo cfd," Thesis, Dept. Mech. Eng, UPM, Madrid, España 2018. [Online]. Available: <https://oa.upm.es/53294/> ↑3, 4, 6
- [5] J. Mur Amada, "Curso de energía eólica". Dept. Elect. Eng, ESP: Univ of Zaragoza, 2009 ↑3, 6, 7
- [6] J. Decaix, M. Dreyer, G. Balarac, M. Farhat, and C. Münch, "RANS computations of a confined cavitating tip-leakage vortex," *Eur. J. Mech. B/Fluids*, vol. 67, pp. 198-210, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2017.09.004> ↑3
- [7] E. R. Gowree, C. Jagadeesh, E. Talboys, C. Lagemann, and C. Brücker, "Vortices enable the complex aerobatics of peregrine falcons," *Commun. Biol.*, vol. 1, art. 27, Apr. 2018. <https://doi.org/10.1038/s42003-018-0029-3> ↑3
- [8] S. Zaghi, R. Muscari, and A. Di Mascio, "Assessment of blockage effects in wind tunnel testing of wind turbines," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 154, pp. 1-9, Jul. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2016.03.012> ↑3
- [9] G. Droandi, G. Gibertini, and A. Zanotti, "Perpendicular blade-vortex-interaction over an oscillating airfoil in light dynamic stall," *J. Fluids Struct.*, vol. 65, pp. 472-494, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2016.07.010> ↑3
- [10] M. Maizi, M. H. Mohamed, R. Dizene, and M. C. Mihoubi, "Noise reduction of a horizontal wind turbine using different blade shapes," *Renew. Energy*, vol. 117, pp. 242-256, Mar. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.058> ↑3
- [11] J. G. Huilca -Salcedo and P. F. SichiQUI- Velecela, "Diseño e implementación de un sistema embebido de monitoreo de las variables climáticas para plantaciones de maíz," Thesis, Dept. Elect. Eng, UPS, Cuenca, Ecuador 2019. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17338> ↑3
- [12] A. B. Z. Zuraida, S. D. S. Fairuz, and M. S. Risby, "Conceptual design of wireless DAQ system for vehicle blast testing," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 94, pp. 502-509, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.078> ↑3
- [13] T. Sumphao, C. Thanachayanont, and T. Seetawan, "Design and implementation of a low cost DAQ system for thermoelectric property measurements," *Procedia Eng.*, vol. 32, pp. 614-620, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1317> ↑3
- [14] P. T. Le, H. L. Tsai, and T. H. Lam, "A wireless visualization monitoring, evaluation system for commercial photovoltaic modules solely in MATLAB/Simulink environment," *Sol. Energy*, vol. 140, pp. 1-11, Dec. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.10.043> ↑3
- [15] S. Iswahyudi, Sutrisno, Prajitno, and S. B. Wibowo, "Effect of blade tip shapes on the performance of a small HAWT: An investigation in a wind tunnel," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 19, art. 100634, Jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100634> ↑3

- [16] Q. Zhang, C. Su, and Y. Wang, "Numerical investigation on aerodynamic performance and stability of a sedan under wind-bridge-tunnel road condition," *Alexandria Eng. J.*, vol. 59, no. 5, pp. 3963-3980, Oct. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.07.004> ↑3
- [17] W. Zhang, J. Sun, L. Wang, J. Wu, and L. He, "Rotor airfoil aerodynamic design method and wind tunnel test verification," *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 33, no. 8, pp. 2123-2132, Aug. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.03.013> ↑3
- [18] F. Xue et al., "Optimization and verification of wind tunnel free-flight similarity law for separation of cluster munition," *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 34, no. 3, pp. 61-70, Mar. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.09.034> ↑3
- [19] BRANZ Ltd, "Wind turbine systems," 2022. [Online]. Available: <https://www.level.org.nz/energy/renewable-electricity-generation/wind-turbine-systems/> ↑6
- [20] J. A. González, R. Pérez, A. Santos, and M. A. Gil, Centrales de energías renovables. Generación eléctrica con energías renovables, Madrid, Spain: UNED, Pearson, Prentice Hall, 2009 ↑3, 4, 5
- [21] R. Aguilar, "Mejora de la eficiencia aerodinamica en turbinas eolicas mediante dispositivos hipersustentadores," M.S. thesis, Dept. Prod. Eng. Eng, UNSA, Arequipa, Peru 2017. [Online]. Available: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4561> ↑3, 5, 7
- [22] IDEAM, "Atlas Interactivo - Vientos - IDEAM," 2020, [Online]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html> ↑4
- [23] F. Camacho, D. García, and M. R, "Caracterización de un túnel de viento de bajas velocidades," *Rev. Colomb. Física*, vol. 43, no. 3, pp. 669-674, 2011. <http://fisica.udea.edu.co/ojs/ojs/index.php/rcf/article/view/430325.html> ↑5, 6
- [24] Milich, Franco G.; Alvarez y Alvarez, Gisela M. ; Chuaire, Mauricio L.; Veroli, Cesar G. ; Wittwer, Adrián R.. (2018). Assessment: Diseño y construcción del modelo a escala de un aerogenerador de eje horizontal para estudios experimentales. Presented at UNNE: Jornadas de Jóvenes Investigadores AUGM, Mendoza, Argentina. [Online]. Available: <https://bdigital.uncu.edu.ar/fichas.php?idobjeto=12725> ↑5
- [25] S. M. Mejía Urquijo and L. J. Cardona Montes, "Automatización de una túnel de viento para estudios de comportamiento de vuelo de insectos," Thesis, Dept. Elect. Eng, UTP, Pereira, Colombia 2016. [Online] Available: <https://hdl.handle.net/11059/6351> ↑5, 6
- [26] F1, "Túneles de viento (II) - F1 al día," 2010, [Online]. Available: <https://www.flaldia.com/10680/tuneles-de-viento-ii/> ↑5
- [27] M. Á. Mendoza Martínez, "Caracterización del flujo del túnel de Viento de la Universidad de Quintana Roo," Thesis, Dept. Energy Sci. Eng, UAEQROO, Chetumal, Mexico 2019. [Online] Available: <http://hdl.handle.net/20.500.12249/2256> ↑5
- [28] T. K. Hareendran, "Measuring air," *Electro Schematics*, 2015 [Online]. Available: <https://www.electroschematics.com/measuring-air-flow/> ↑8
- [29] Modern Device, "Wind Sensor Rev. P." [Online]. Available: <https://moderndevice.com/product/wind-sensor-rev-p/> ↑8

-
- [30] R. Moya and D. Prohasky, "Tutorial – Mini Airflow Tunnel Project," 2014. [Online]. Available: <https://miniwindtunnel.wordpress.com/tutorial/> ↑8
- [31] TEM Electronic Components, "¿Cómo funciona y qué hace el acelerómetro?," 2020 [Online]. Available: <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/22568/Como-funciona-y-que-hace-el-acelerometro/> ↑8
- [32] N. E. Daza-González and Y. A. Fragozo-Liñan, "Arreglo de Acelerómetros para el Estudio Básico de la Propagación de Ondas Mecánicas," Thesis, Dept. Elect. Eng., UPB, Bucaramanga, Colombia 2018. [Online] Available: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/5408> ↑8
- [33] R. Apaza, J. Apaza, L. Dávila, I. Olivares, and J. Pariapaza, "El Acelerómetro una Puerta a otros Avances Tecnológicos y su Aplicación en la Ingeniería Civil," Dept. Civil. Eng, Univ. Nac. San Agustín, Arequipa, Perú, 2019. [Online]. Available: https://www.academia.edu/43597818/Resumen_Recientemente_el_Monitoreo_de_Fen%C3%B3menos?auto=citations&from=cover_page ↑8
- [34] Jonathan Haro, "MMA7361 sensor acelerómetro," Hetpro, 2015 [Online]. Available: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/mma7361-sensor-acelerometro/> ↑8
- [35] Freescale Semiconductor, "±1.5g, ±6g Three Axis Low-g Micromachined Accelerometer", MMA7361LC datasheet, Oct. 2011. Accessed: Apr. 24, 2021. [Online]. Available: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MMA7361LC.pdf> ↑8
- [36] P. Bertoleti, "Proyectos com ESP32 y LoRa,". NCB, SAO, BR: Instituto Newton C. Braga, 2019 ↑8,9
- [37] ESPRESSIF, "Touch Sensor - ESP32 - ESP-IDF Programming Guide latest documentation," 2021, [Online]. Available: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/peripherals/touch_pad.html%0A <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/peripherals/ledc.html> ↑8
- [38] L. Llamas, "ESP32, el 'hermano mayor' del ESP8266 con WiFi y Bluetooth," 2018, [Online]. Available: <https://www.luisllamas.es/esp32/> ↑9
- [39] MATLAB, "MATLAB App Designer," 2020 [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/products/matlab/app-designer.html> ↑9
-

Jhoan S. Casallas

Engineering student, Colombia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; researcher in the GITUD group.

Email: jscasallasv@correo.udistrital.edu.co

Héctor G. Parra

Master's degree in Engineering, Colombia, Universidad Militar Nueva Granada; professor at Universidad Militar Nueva Granada; researcher in the GITUD group.

Email: hector.parra@unimilitar.edu.co

Elvis E. Gaona

PhD in Engineering, Colombia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; Master's degree in Information and Communication Sciences, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Professor at Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Email: egaona@udistrital.edu.co





Research

Influence of the Type of Fibers and their Surface Treatment on the Properties of Biocomposite Panels

Influencia del tipo de fibras y de su tratamiento superficial en las propiedades de paneles biocompuestos

Martha Lissette Sánchez-Cruz¹, Gil Capote-Rodríguez², and Juan Pablo Patiño-Quiazua¹

¹Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá, Colombia).

²Universidad Nacional de Colombia (Bogotá, Colombia).

Abstract

Context: The concern for mitigating the environmental impact generated by the use of synthetic fibers as reinforcement of traditional composite materials has encouraged the design and characterization of alternative composites. However, despite their multiple advantages as construction materials, it is necessary to thoroughly determine the effect of design parameters on their mechanical performance.

Method: The objective of this study is to determine the effect of design parameters (i.e., type of fibers and their superficial treatment) on the properties of biocomposite panels. To elaborate the composite, two types of fibers were used: *Arundo donax* L. (Caña Brava) and *Guadua angustifolia* Kunth (Guadua). Short, randomly distributed fibers and a polymer matrix of castor oil were used for manufacturing. To evaluate the influence of the treatment on the properties of the biocomposite, three conditions were considered: fibers without treatment, fibers treated with mercerization, and fibers treated with plasma. Their density in anhydrous state, effective absorption capacity, surface absorption, swelling percentage, breaking modulus, and apparent elastic modulus were experimentally determined. Based on the results, an analysis of the response surface was carried out through the implementation of a central compound design, using commercial software.

Results: An analysis of the response surface was carried out. Pareto diagrams and contour graphs were obtained for each of the properties under study. Based on the statistical results, it was possible to establish equations that allow predicting the properties of the compound according to the type of fiber and the treatment applied on its surface.

Conclusions: The results allowed verifying the effect of the type of fibers and their surface modification on the physical properties of compounds made with materials of plant origin. Other parameters such as orientation of the fibers, as well as variables associated with the manufacture process (pressure and compaction time), can influence the properties of the material, and will be evaluated in future works.

Acknowledgments: This paper is a product of project (INV-ING-3188) financed by the Research Vice-Rectorate of Universidad Militar Nueva Granada, 2020 term. Keywords: accelerometer, hot-wire anemometer, Bluetooth, wind power, wind tunnel.

Keywords: biocomposites, physical properties, mechanical properties

Article history

Received:
27nd / Nov / 2021

Modified:
4th / Oct / 2022

Accepted:
22nd / Nov / 2022

Ing, vol. 28,
no. suppl, 2023.
e18852

©The authors;
reproduction
right holder
Universidad
Distrital
Francisco José de
Caldas.

Open access



* Correspondence: martha.sanchez@unimilitar.edu.co

Resumen

Contexto: La preocupación por la mitigación del impacto ambiental generado por el uso de fibras sintéticas como refuerzo de los materiales compuestos tradicionales ha promovido el diseño y caracterización de compuestos alternativos. No obstante, a pesar de sus múltiples ventajas como materiales de construcción, es necesario determinar minuciosamente el efecto de los parámetros de diseño en su desempeño mecánico.

Método: Este estudio tiene como objetivo determinar el efecto de los parámetros de diseño (tipo de fibras y su tratamiento superficial) en las propiedades de paneles biocompuestos. Para la elaboración del compuesto, se utilizaron dos tipos de fibras: de *Arundo donax* (caña brava) y de *Guadua angustifolia* Kunth (guadua). Para la manufactura, se trabajaron fibras cortas aleatoriamente distribuidas y una matriz polimérica de aceite de ricino. Para evaluar la influencia del tratamiento en las propiedades del biocompuesto, se consideraron tres condiciones: fibras sin tratamiento, fibras tratadas mediante mercerización y fibras tratadas con plasma. La densidad en estado anhidro, la capacidad de absorción efectiva, la absorción superficial, el porcentaje de hinchamiento, el módulo de rotura y el módulo de elasticidad aparente se determinaron experimentalmente. A partir de los resultados, se analizó la superficie de respuesta mediante la implementación de un diseño central compuesto, utilizando un programa comercial.

Resultados: Se analizó la superficie de respuesta. Para cada una de las propiedades estudiadas, se obtuvieron diagramas de Pareto y gráficos de contorno. A partir de los resultados estadísticos, fue posible establecer ecuaciones que permitieran predecir las propiedades del compuesto en función del tipo de fibra y el tratamiento aplicado en su superficie.

Conclusiones: Gracias a los resultados, se pudo verificar el efecto del tipo de fibras y de su modificación superficial en las propiedades físicas de compuestos elaborados con materiales de origen vegetal. Otros parámetros como orientación de las fibras y variables asociadas a su manufactura (presión y tiempo de compactación) pueden influir en las propiedades del material y serán abordadas en trabajos futuros.

Agradecimientos: Este artículo es un producto derivado del proyecto INV-ING-3188, financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada, vigencia 2020.

Palabras clave: biocompuestos, propiedades físicas, propiedades mecánicas

Tabla de contenidos

		3. Resultados y discusión	5
	Página	4. Conclusiones	11
1. Introducción	3	5. Contribución de autores	11
2. Materiales y métodos	4	Referencias	11

1. Introducción

El uso de fibras vegetales en varias aplicaciones de ingeniería ha aumentado en los últimos años. Propiedades como su amplia disponibilidad, su bajo costo, su elevada resistencia y su biodegradabilidad promueven su uso en la manufactura de materiales compuestos alternativos (1). Sin embargo, estas pueden verse limitadas por algunos factores, entre los que se destacan su sensibilidad a la humedad, su compleja composición química, la variación de sus propiedades y su baja compatibilidad con la mayoría de las resinas que son frecuentemente empleadas como matriz de compuestos convencionales, aspectos que pueden perjudicar tanto el desempeño mecánico del compuesto como su durabilidad (1–4).

Investigaciones recientes han demostrado que el desempeño mecánico de materiales biocompuestos depende sustancialmente de las características de la superficie de las fibras (5, 6). Por este motivo, es pertinente la realización de tratamientos superficiales mediante los cuales se puedan remover parcialmente las impurezas adheridas a la superficie de las fibras, y así mejorar su adherencia con la matriz del compuesto (7–10).

Uno de los métodos más frecuentes en la modificación de la superficie de las fibras vegetales es la mercerización. Resultados publicados en los últimos años han demostrado que, al sumergir las fibras en una solución alcalina durante un periodo determinado, es posible modificar su índice de cristalinidad y eliminar parcialmente la lignina, la hemicelulosa y otros compuestos presentes en su superficie. De otra parte, se ha comprobado que este tratamiento actúa sobre los grupos hidroxilos presentes en las regiones amorfas del material, lo cual mejora su reacción con el aglutinante. No obstante, la eficiencia de este tratamiento, se ha verificado que, al someter el material a altas concentraciones de la solución química o a tiempos de tratamiento prolongados, puede ocurrir una degradación de las fibras, lo cual afecta la resistencia y la durabilidad del compuesto (11–17).

En los últimos años, las tecnologías de plasma frío han encontrado numerosas aplicaciones en la limpieza y en el procesamiento de materiales. La implementación de estas técnicas está relacionada con su capacidad para cambiar las propiedades de la superficie de un material; es decir, actúa sobre sus capas más externas sin modificar sus propiedades volumétricas (18). Los métodos de tratamientos mediante la aplicación de plasma se caracterizan por un bajo consumo de productos químicos y de energía; así, reduce el impacto ambiental generado a partir de dichos tratamientos químicos (18–25).

En este artículo, se ha evaluado el efecto de dos de los parámetros que intervienen en la manufactura de compuestos reforzados con fibras aleatoriamente distribuidas y resina vegetal. Para la elaboración del compuesto se han utilizado fibras de *Arundo donax* (caña brava) y fibras de bambú de la especie *Guadua angustifolia* Kunth (guadua). Para modificar la superficie de las fibras, se trabajaron dos tratamientos: uno alcalino (10 % de solución de hidróxido de sodio durante 24 h) y otro con plasma frío de metano. Como matriz del compuesto se usó una resina vegetal

obtenida del procesamiento del aceite de ricino. Para evaluar el efecto de los parámetros de diseño se adelantó un diseño central compuesto.

2. Materiales y métodos

Para la elaboración del biocompuesto se recurrió a dos tipos de fibras: las obtenidas de la sobrecasa de culmos de *Arundo donax* (caña brava), y de bambú de la especie *Guadua angustifolia* Kunth (guadua). Las fibras se obtuvieron mediante extracción mecánica. Sus propiedades físicas (densidad (D) y capacidad de absorción (CA)) se lograron a partir de los procedimientos descritos en las normas internacionales (26, 27). La resina utilizada como matriz fue un poliuretano termoestable, derivado del aceite de ricino. Sus propiedades se presentan en la Tabla I. Para la

Tabla I. Propiedades de la resina vegetal

Propiedades físicas y mecánicas	
Densidad (kg/m ³)	1220
Resistencia en compresión (MPa)	14,2±0,8
Deformación en compresión (%)	69,1±0,4
Módulo de elasticidad en compresión (MPa)	1,21±0,03
Resistencia en tensión (MPa)	4,5±0,3
Deformación en tensión (%)	51,6±0,6
Módulo de elasticidad en compresión (MPa)	10±0,5

modificación de la superficie de las fibras se aplicaron dos tratamientos superficiales: uno físico (con plasma frío de metano) y otro químico (mercerización). Para el primero se adoptó un sistema DC-pulsado PECVD, con una presión de trabajo igual a 25 Pa durante 15 min, un potencial DC de -700 V, una corriente igual a 0,05 A y un flujo de gas de 10 sccm. El segundo consistió en la inmersión de las fibras en una solución de 10 % de hidróxido de sodio durante 24 h, seguido de un lavado con agua destilada y secado a temperatura ambiente durante 72 h. Las propiedades físicas de las fibras antes y después de cada tratamiento se presentan en la Tabla II.

Tabla II. Propiedades físicas de las fibras

Tipos de fibras	D (kg/m ³)	CA (%)
Fibras de <i>Arundo donax</i> L. sin tratamiento	551±5	37,6±1,9
Fibras de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth sin tratamiento	696±7	53,7±2,4
Fibras de <i>Arundo donax</i> L. tratadas con plasma	450±4	20,13±2,9
Fibras de <i>Arundo donax</i> L. tratadas con solución alcalina	780±12	31,73±3,8
Fibras de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth tratadas con plasma	540±8	25,75±4
Fibras de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth tratadas con solución alcalina	910±15	68,42±9

Para la manufactura del biocompuesto se trabajó 70 % de volumen de fibras y 30 % de resina. Se fabricaron paneles de 0,3 m de ancho; 0,3 m de longitud, y 0,007 m de espesor, a partir del

método de compresión a temperatura ambiente. Se aplicó una fuerza de compresión de 120 kN durante 18 h. Una vez retirados del molde, los paneles se curaron durante 7 d a temperatura ambiente.

La densidad anhidra (DA), la capacidad de absorción efectiva (AE), la absorción superficial (AS) y el porcentaje de hinchamiento (H) de los paneles se determinaron siguiendo las recomendaciones de las normas ASTM D4442-20 (28), ASTM D2395-17 (29) y ASTM D8171-18 (30). El módulo de rotura (MOR) y el módulo de elasticidad aparente (MOE) se calcularon mediante el procedimiento establecido en la ASTM D1037-12 (31).

Para el análisis de la superficie de respuesta fue recurrió a un programa comercial (*Minitab*). Se implementó un diseño central compuesto de dos factores, para lo cual se consideraron como variables de diseño el tipo de fibras (A) y el tipo de tratamiento (B). Se realizaron 14 corridas de manera aleatoria. La nomenclatura para la identificación de los paneles se presenta en la Tabla III. La codificación empleada, el orden estadístico y el orden de corrida se detallan en la Tabla IV.

Tabla III. Identificación del tipo de panel

Tipo de panel	Nomenclatura
Paneles reforzados con fibras de <i>Arundo donax</i> L. sin tratamiento	ADST
Paneles reforzados con fibras de <i>Arundo donax</i> L. tratadas con solución alcalina	ADAT
Paneles reforzados con fibras de <i>Arundo donax</i> L. tratadas con plasma	ADPT
Paneles reforzados con fibras de guadua sin tratamiento	GST
Paneles reforzados con fibras de guadua tratadas con solución alcalina	GAT
Paneles reforzados con fibras de guadua tratadas con plasma	GAP

Para analizar la influencia de las variables de diseño y su interacción, se obtuvieron las gráficas de Pareto para cada una de las propiedades estudiadas. Para visualizar la relación entre las variables estudiadas se trabajaron las gráficas de contorno. A partir del análisis de varianza se recurrió a ecuaciones que arrojan una estimación de las propiedades de los paneles en función del tipo de fibras y del tratamiento aplicado.

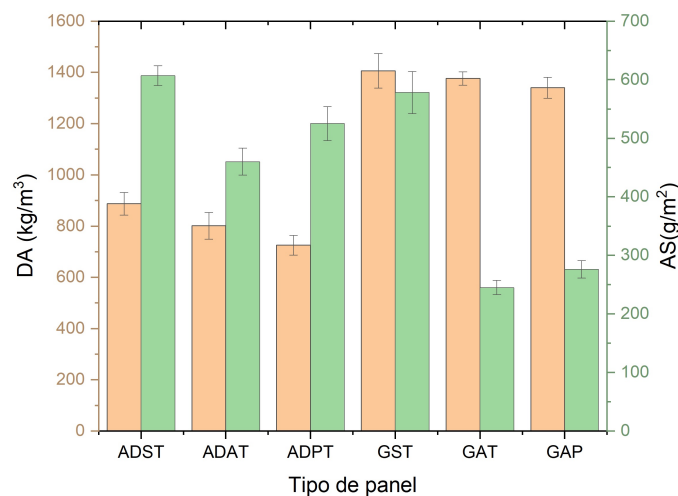
3. Resultados y discusión

Para analizar el efecto de las variables de diseño en las propiedades físicas del biocompuesto se obtuvieron experimentalmente los valores de densidad anhidra (DA), absorción efectiva (AE), absorción superficie (AS) y porcentaje de hinchamiento (H). Los resultados de este ejercicio se presentan en las Figs. 1 y 2.

Tras analizar los resultados de la Fig. 1, se observa que al trabajar los tratamientos superficiales se provoca una reducción en la densidad del material. Esta reducción fue de aproximadamente 18 % para compuestos reforzados con fibras de *Arundo donax* L., y menor al 5 % para compuestos reforzados con fibras de guadua. De otra parte, hubo una reducción en los valores de absorción

Tabla IV. Codificación utilizada para el análisis de la superficie de respuesta

Orden estadístico	Orden de corrida	A	B	Tipo de panel
7	1	0,00	0,00	GPT
1	2	-1,00	-1,00	ADPT
5	3	0,00	0,00	GPT
3	4	-1,00	1,00	ADAT
6	5	0,00	0,00	GPT
2	6	1,00	-1,00	GPT
4	7	1,00	1,00	GAT
11	8	0,00	1,41	GST
13	9	0,00	0,00	GPT
9	10	1,41	0,00	GPT
14	11	0,00	0,00	GPT
12	12	0,00	0,00	GPT
10	13	0,00	-1,41	GAT
8	14	-1,41	0,00	ADPT

**Figura 1.** Influencia del tipo de fibras y del tratamiento superficial de las fibras en la densidad anhidra y en la absorción superficial

superficial en todos los paneles elaborados con fibras tratadas. Particularmente, en paneles elaborados con fibras de guadua tratadas con plasma se presentó una reducción significativa de la absorción superficial (mayor al 50%), lo cual permite demostrar la eficiencia de este tratamiento en el incremento de las propiedades físicas de este compuesto. De forma similar, a partir de los resultados de la Fig. 2 se percibe una reducción que osciló entre el 30% y el 45% en los valores de absorción efectiva, y entre el 26% al 65% para los de porcentaje de hinchamiento.

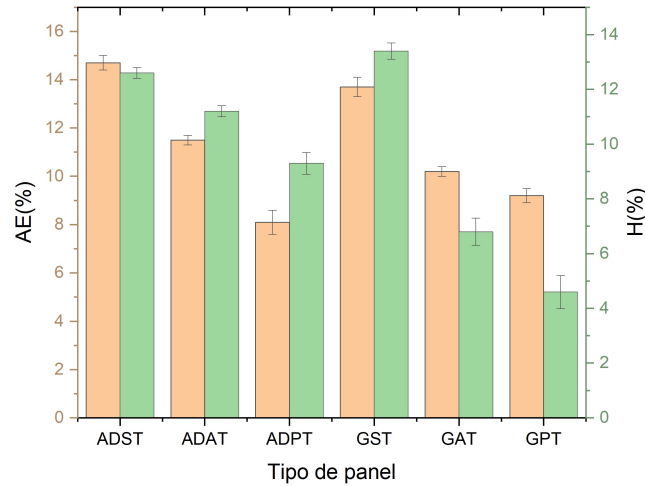


Figura 2. Influencia del tipo de fibras y del tratamiento superficial de las fibras en la capacidad de absorción efectiva y en el porcentaje de hinchamiento

Para el estudio de la influencia de las variables de estudio en las propiedades mecánicas del compuesto se alcanzaron experimentalmente los valores del MOR y del MOE. Los resultados se ilustran en la Fig. 3.

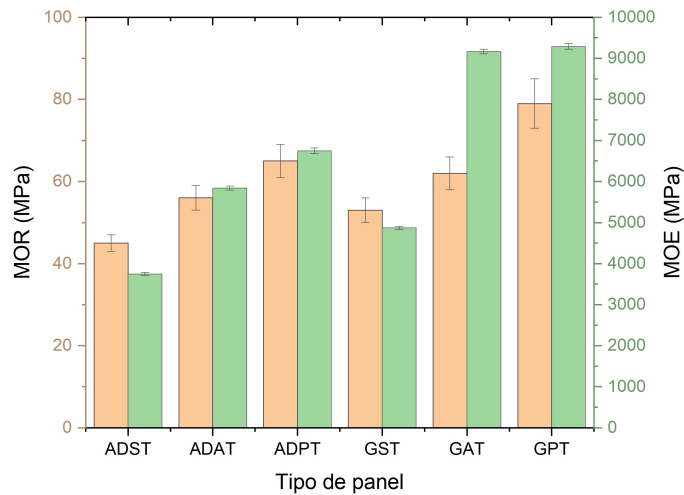


Figura 3. Influencia del tipo de fibras y del tratamiento superficial en los valores de módulo de rotura y módulo de elasticidad aparente

Tras los resultados de la Fig. 3, se aprecia un incremento en la resistencia a flexión de los paneles reforzados con fibras a las que se les aplicó un tratamiento superficial de plasma frío

de metano. Este incremento es más notorio en los paneles reforzados con fibras de guadua (aproximadamente 33%). Adicionalmente, se evidencia un incremento en la rigidez de los paneles, tras analizar los valores para el MOE. En este caso, los resultados experimentales indican una diferencia menor al 15% en los valores del MOE para compuestos reforzados con fibras tratadas con hidróxido de sodio y con plasma.

Para evaluar el efecto de la variación del tipo de fibras y del tipo de tratamiento superficial, así como la significancia de su interacción en cada una de las propiedades de los paneles, se realizaron los diagramas de Pareto. Los resultados se ilustran en las Figs. 4, 5 y 6. En los diagramas A representan el tipo de fibras; B, el tipo de tratamiento, y AB, la interacción entre las variables.

Analizando los resultados presentados en las Figs. 4a y 4b, se percibe que el tipo de fibras ejerce un efecto significativo en la densidad y en la absorción superficial del compuesto; sin embargo, los tratamientos implementados no afectan significativamente estas propiedades físicas del material. A partir de los resultados obtenidos no se identifica una interacción entre las variables de diseño.

Observando las Figs. 5a y 5b, se percibe el efecto significativo del tratamiento aplicado en la absorción efectiva y en el porcentaje de hinchamiento de los paneles. En el caso de la primera, la interacción entre los factores de diseño puede afectar significativamente la respuesta del material. Además, el tipo de fibras sí impacta de manera representativa el valor del porcentaje de hinchamiento del compuesto.

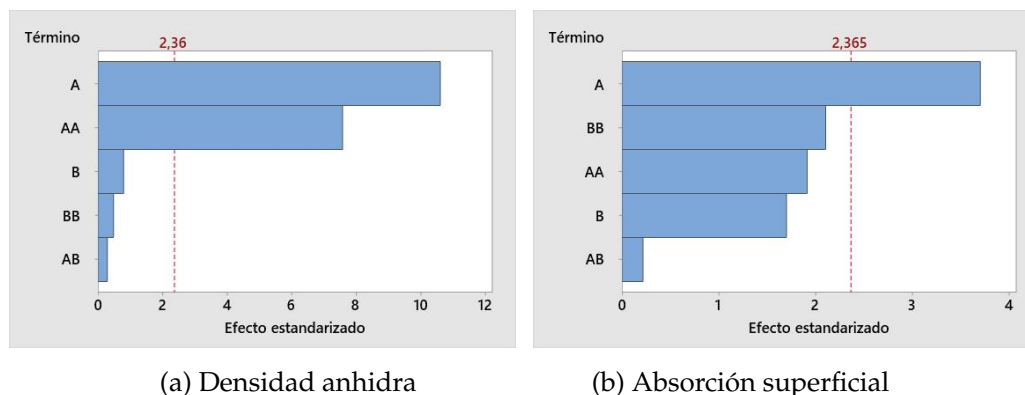
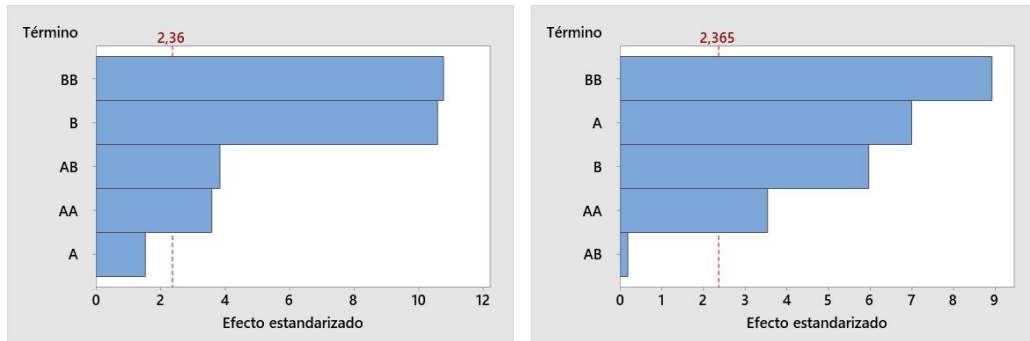


Figura 4. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para las propiedades físicas (DA y AS)

En las Figs. 6a y 6b, se observa el efecto significativo de las variables de diseño en los valores del MOR y del MOE. La relación entre las variables de estudio puede visualizarse en las gráficas de contorno (Figs. 7, 8 y 9).

Una vez trabajados los resultados del análisis de la superficie de respuesta, se obtuvieron ecuaciones que permiten predecir las propiedades físicas y mecánicas del material, donde A

representa el tipo de fibras; *B*, el tipo de tratamiento, y *AB*, representa la interacción entre las variables.



(a) Absorción efectiva

(b) Porcentaje de hinchamiento

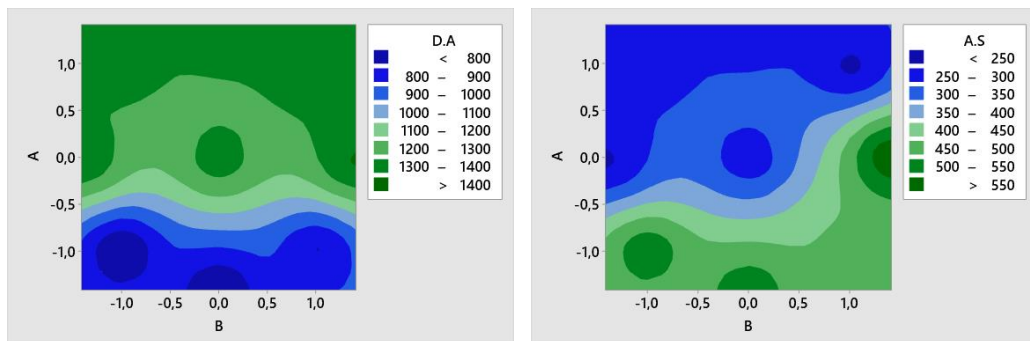
Figura 5. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para las propiedades físicas (AE y H)



(a) Módulo de rotura

(b) Módulo de elasticidad aparente

Figura 6. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para las propiedades mecánicas del compuesto



(a) Densidad anhidra

(b) Absorción superficial

Figura 7. Gráfica de contorno para las propiedades físicas (DA y AS)

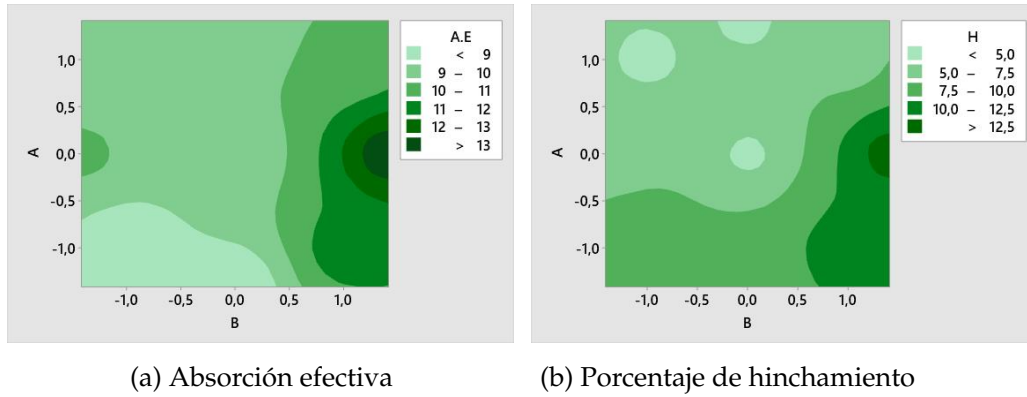


Figura 8. Gráfica de contorno para las propiedades físicas (AE y H).

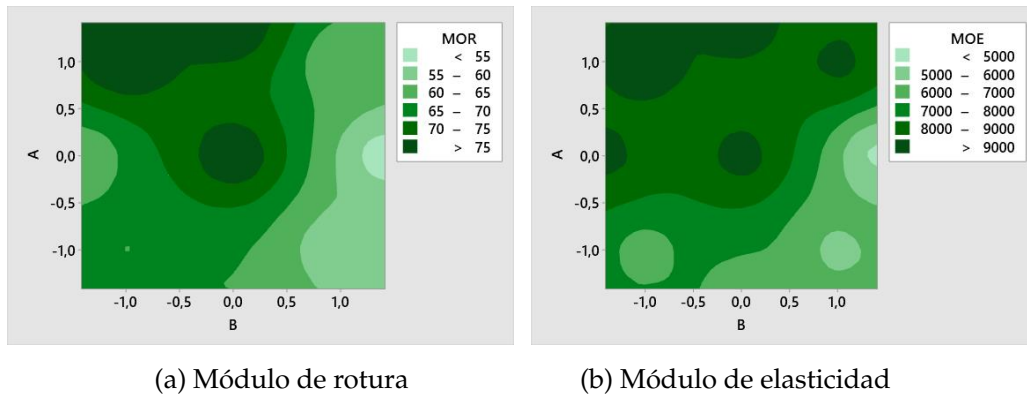


Figura 9. Gráfica de contorno para las propiedades mecánicas (MOR y MOE)

$$DA = 1340 + 258A + 19B - 192A^2 - 12B^2 - 10AB \quad (1)$$

$$AS = 276 - 102A + 47B + 55A^2 - 60B^2 + 9AB \quad (2)$$

$$AE = 9,2 + 0,17A + 1,17B - 0,41A^2 + 1,24B^2 - 0,6AB \quad (3)$$

$$H = 4,6 - 1,97A + 1,7B + 1,04A^2 + 2,61B^2 + 0,08AB \quad (4)$$

$$MOR = 79 + 5A - 4,8B - 3,3A^2 - 10,6B^2 - 2AB \quad (5)$$

$$MOE = 9291 + 1182A - 889B - 574A^2 - 1076B^2 + 196AB \quad (6)$$

4. Conclusiones

En este trabajo se evaluó la influencia del tipo de fibras y de su tratamiento superficial en las propiedades de paneles biocompuestos. Se realizó un análisis de superficie de respuesta mediante un diseño central compuesto para evaluar los efectos principales de las variables de diseño y su interacción. Los principales hallazgos se describen a continuación:

- La selección del tipo de fibras y el tipo de tratamiento aplicado para el acondicionamiento de su superficie afectan de manera significativa la resistencia, la rigidez y la estabilidad dimensional de estos compuestos.
- El tratamiento alcalino es un método económico, de fácil aplicación, que permite eliminar parcialmente la lignina y otras impurezas adheridas a la superficie de las fibras; así, mejora la adherencia mecánica con la resina vegetal. Por este motivo, compuestos reforzados con fibras tratadas con solución de hidróxido de sodio muestran mejor desempeño mecánico que aquellos elaborados con fibras no tratadas.
- Según los resultados, se pudo comprobar que paneles elaborados con fibras de guadua tratadas con plasma registran mejor desempeño mecánico y menor capacidad de absorción.
- Igualmente, fue posible obtener ecuaciones que permiten predecir las propiedades físicas y mecánicas de los paneles compuestos, en función del tipo de fibra vegetal y de su tratamiento superficial.

5. Contribución de autores

Martha Lissette Sánchez Cruz: conceptualización, metodología, análisis, redacción y administración del proyecto. Gil Capote Rodríguez: metodología, investigación, análisis y validación de resultados formal. Juan Pablo Patiño Quiazua: investigación y análisis.

Referencias

- [1] M. J. John, "Environmental degradation in biocomposites," in *Biocomposites for High-Performance Applications*, D. Ray, ed., Sawston: Woodhead Publishing, 2017, pp. 181-194. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100793-8.00007-7> ↑3
- [2] C. Baley, M. Gomina, J. Breard, A. Bourmaud, S. Drapier, M. Ferreira, A. Le Duigou, P. J. Liotier, P. Ouagne, D. Soulat y P. Davies, "Specific features of flax fibres used to manufacture composite materials," *Int. J. Mater. Form*, vol. 12, no. 6, pp. 1023-1052, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12289-018-1455-y> ↑3
- [3] A. Mancino, G. Marannano y B. Zuccarello, "Implementation of eco-sustainable biocomposite materials reinforced by optimized agave fibers," *Procedia Struct. Integr*, vol. 8, pp. 526-538, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2017.12.052> ↑3

- [4] M. Sood and G. Dwivedi, "Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review," *Egypt. J. Pet.*, vol. 27, no. 4, pp. 775-783, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.11.005> ↑3
- [5] O. Faruk, A. K. Bledzki, H.-P. Fink y M. Sain, "Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 37, no. 11, pp. 1552-1596, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003> ↑3
- [6] A. Le Duigou, D. Correa, M. Ueda, R. Matsuzaki y M. Castro, "A review of 3D and 4D printing of natural fibre biocomposites," *Mater. Des.*, vol. 194, p. 108911, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108911> ↑3
- [7] X. Wang, M. Jiang, Z. Zhou, J. Gou y D. Hui, "3D printing of Polymer Matrix Composites: A review and prospective," *Compos. B. Eng.*, vol. 110, pp. 442-458, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.034> ↑3
- [8] E. Uitterhaegen, J. Parinet, L. Labonne, T. Mérian, S. Ballas, T. Véronèse, O. Merah, T. Talou, C. V. Stevens, F. Chabert y P. Evon, "Performance, durability and recycling of thermoplastic biocomposites reinforced with coriander straw," *Compos. Part A Appl. Sci.*, vol. 113, pp. 254-263, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.07.038> ↑3
- [9] M. L. Sánchez, W. A. Aperador y G. Capote, "Influence of the delignification process on the properties of panels made with Guadua fibers and plant resin," *Ind Crops Prod.*, vol. 125, pp. 33-40, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.084> ↑3
- [10] H. Yaghoobi and A. Fereidoon, "Preparation and characterization of short kenaf fiber-based biocomposites reinforced with multi-walled carbon nanotubes," *Compos. B. Eng.*, vol. 162, pp. 314-322, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.015> ↑3
- [11] Y. Li, S. Moyo, Z. Ding, Z. Shan y Y. Qiu, "Helium plasma treatment of ethanol-pretreated ramie fabrics for improving the mechanical properties of Ramie/polypropylene composites," *Ind Crops Prod.*, vol. 51, pp. 299-305, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.09.028> ↑3
- [12] H. Gu, "Tensile behaviours of the coir fibre and related composites after naoh treatment," *Mater Des.*, vol. 30, no. 9, pp. 3931-3934, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.01.035> ↑3
- [13] M. Bosquetti, A. L. da Silva, E. C. Azevedo y L. F. Berti, "Analysis of the mechanical strength of polymeric composites reinforced with sisal fibers," *J. Nat. Fibers.*, vol. 18, no. 1, pp. 105-110, 2019. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1612310> ↑3
- [14] M. Rokbi, H. Osmani, A. Imad y N. Benseddiq, "Effect of chemical treatment on flexure properties of natural fiber-reinforced polyester composite," *Procedia Eng.*, vol. 10, pp. 2092-2097, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.346> ↑3
- [15] A. Orue, A. Jauregi, U. Unsuain, J. Labidi, A. Eceiza y A. Arbelaiz, "The effect of alkaline and silane treatments on mechanical properties and breakage of sisal fibers and poly(lactic acid)/sisal fiber composites," *Compos. Part A Appl. Sci.*, vol. 84, pp. 186-195, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.01.021> ↑3

- [16] V. Fiore, G. di Bella y A. Valenza, "The effect of alkaline treatment on mechanical properties of kenaf fibers and their epoxy composites," *Compos. B. Eng.*, vol. 68, pp. 14-21, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.08.025> ↑3
- [17] M. L. Sánchez, G. Capote y J. Carrillo, "Composites reinforced with Guadua fibers: Physical and mechanical properties," *Constr Build Mater.*, vol. 228, p. 116749, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116749> ↑3
- [18] A. I. S. Brígida, V. M. A. Calado, L. R. B. Gonçalves y M. A. Z. Coelho, "Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber," *Carbohydr. Polym.*, vol. 79, no. 4, pp. 832-838, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.10.005> ↑3
- [19] F. R. Oliveira, L. Erkens, R. Fangueiro y A. P. Souto, "Surface modification of banana fibers by DBD plasma treatment," *Plasma Chem.*, vol. 32, no. 2, pp. 259-273, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11090-012-9354-3> ↑3
- [20] C. X. Wang, M. Du, J. C. Lv, Q. Q. Zhou, Y. Ren, G. L. Liu, D. W. Gao y L. M. Jin, "Surface modification of aramid fiber by plasma induced vapor phase graft polymerization of acrylic acid. I. Influence of plasma conditions," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 349, pp. 333-342, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.05.036> ↑3
- [21] M. Fazeli, J. P. Florez y R. A. Simão, "Improvement in adhesion of cellulose fibers to the thermoplastic starch matrix by plasma treatment modification," *Compos. B. Eng.*, vol. 163, pp. 207-216, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.048> ↑3
- [22] G. J. Wang, Y. W. Liu, Y. J. Guo, Z. X. Zhang, M. X. Xu y Z. X. Yang, "Surface modification and characterizations of basalt fibers with non-thermal plasma," *Surf. Coat. Technol.*, vol. 201, no. 15, pp. 6565-6568, 2007. 3
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.09.069> ↑
- [23] D. Liu, P. Chen, M. Chen y Z. Liu, "Surface modification of high performance PBO fibers using radio frequency argon plasma," *Surf. Coat. Technol.*, vol. 206, no. 16, pp. 3534-3541, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.02.033> ↑3
- [24] L. Ferreira, M. B. Evangelista, M. C. Martins, P. L. Granja, J. L. Esteves y M. A. Barbosa, "Improving the adhesion of poly(ethylene terephthalate) fibers to poly(hydroxyethyl methacrylate) hydrogels by ozone treatment: Surface characterization and pull-out tests," *Polymer*, vol. 46, no. 23, pp. 9840-9850, 2005. 3
<https://doi.org/10.1016/j.polymer.2005.08.033> ↑
- [25] M. L. Sánchez, W. Patiño y J. Cárdenas, "Physical-mechanical properties of bamboo fibers-reinforced biocomposites: Influence of surface treatment of fibers," *J. Build. Eng.*, vol. 28, p. 101058, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101058> ↑3
- [26] *Standard test method for moisture absorption properties and equilibrium conditioning of polymer matrix composite materials*, ASTM International-Standards Worldwide. [En línea]. https://www.astm.org/d5229_d5229m-14.html ↑4
- [27] *Standard test method for density of high-modulus fibers*, ASTM International-Standards Worldwide. [En línea]. <https://www.astm.org/d3800-16.html> ↑4

-
- [28] *Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-based materials*, ASTM International-Standards Worldwide. [En línea]. <https://www.astm.org/d4442-16.html> ↑5
- [29] *Standard test methods for density and specific gravity (relative density) of wood and wood-based materials*, ASTM International-Standards Worldwide. [En línea]. <https://www.astm.org/d2395-17.html> ↑5
- [30] *Standard test methods for density determination of flax fiber*, ASTM International-Standards Worldwide. [En línea]. <https://www.astm.org/d8171-18.html> ↑5
- [31] *Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials*, ASTM International-Standards Worldwide. [En línea]. <https://www.astm.org/d1037-12r20.html> ↑5
-

Martha Lissette Sánchez Cruz

Doctora en Ingeniería del Instituto Tecnológico de Aeronáutica, en São José dos Campos (Brasil). Maestría en Ingeniería Civil de la Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, en Brasil. Ingeniera civil e hidráulica del Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, en La Habana (Cuba). Profesora asistente e integrante del grupo de investigación Estructuras y Sísmica, de la Universidad Militar Nueva Granada.

Email: martha.sanchez@unimilitar.edu.co

Gil Capote Rodríguez

Doctor en Ciencias, Física, en la Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro (Brasil). Maestría en Física y Matemáticas: Área Física Nuclear en la Universidad de San Petersburgo (Rusia). Físico de la Universidad de San Petersburgo (Rusia). Profesor titular e integrante del grupo de investigación Ciencia de Materiales y Superficies (GCMS), de la Universidad Nacional de Colombia.

Email: gcapoter@unal.edu.co

Juan Pablo Patiño Quiazua

Ingeniero civil en la Universidad Militar Nueva Granada, en Bogotá (Colombia). Ingeniero residente en SAIN Ingenierías S. A. S. y estudiante de maestría en la Universidad Militar Nueva Granada.

Email: juan.patino.quiazua@gmail.com

