

vía innova

REVISTA DE
CIENCIA
Y TECNOLOGÍA





VOLUMEN 11

Periodicidad: anual

Enero – Diciembre de 2024

Open Journal System (OJS):

<http://revistas.sena.edu.co/index.php/RVI/index>

Servicio Nacional de Aprendizaje

Regional Tolima, Centro de Comercio y Servicios

Transversal 1 No. 42-244 Ibagué, Tolima

Grupo de Investigación GESICOM

Gestión Empresarial, Servicios e Innovación Comercial

Copyright

La publicación de los artículos en la Revista Vía Innova es responsabilidad de los autores, los artículos publicados en medio impreso y electrónico están autorizados por los autores mediante cesión de derechos de autor

Calidad Editorial y Propiedad Intelectual

La revista se acoge a los lineamientos de copyright: Creative Commons 4.0, la política: Atribución-No comercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Este tipo de política suscita el reconocimiento al derecho de autoría de carácter no comercial y que deben compartir la información tal y como está publicado en la página web.





Equipo Directivo

Jorge Eduardo Londoño Ulloa

Director General

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Claudia Patricia Forero Londoño

Directora de Formación Profesional

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Manuel Fernando Monsalve Ahumada

Coordinador Nacional SENNOVA

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Martha Ayala Jara

Directora Regional Tolima

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Álvaro Fredy Bermudez Salazar

Subdirector Centro de Comercio y Servicios

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Comité Editor

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Centro de Comercio y Servicios

Claudia Roció Varón Buitrago

Co-editora - Dinamizadora SENNOVA

Joaquín Eduardo Carrillo Orjuela

Gestor Editorial

Jaime Andrés Morales Saavedra

Editor - Investigador GESICOM

Kelly Villanueva Andrade

Editora - Investigadora GESICOM

Gabriela Maldonado Díaz

Corrección de estilo

Iván Ricardo Machado Triana

Diseño Editorial

Edición

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Comité Científico

Carolina Saavedra Moreno

Ph.D en Ingeniería

Nelson Javier Tovar Perilla

Ph.D en Ingeniería

Luz Adriana Sánchez Echeverri

Ph.D en Ingeniería

José Julián Nández Rodríguez

Ph.D en Educación

Dora Luz González Bãñales

Ph.D en Integración de Tecnologías de Información
en las Organizaciones

Martha Lucía Pérez Urrego

Ph.D Ingeniería industrial

Cielo Tatiana Lozano Arias

MSc. en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro

Juan Manuel Estrada Sánchez

MSc. en Administración

Angélica María Moncaleano Rodríguez

MSc. en Administración

Jorge Andrés García

MSc. en Ingeniería

Ana Maria Castro Aristizaba

Master of Business Administration

Luis Alejandro Vargas Parga

MSc. en Educación

Luz Amparo Campos Peláez

MSc. en Educación

Juan Camilo Castillo Gutiérrez

MSc. en Gerencia Tributaria

Alexander Aya Bonilla

Esp. Ciencias de la salud

TABLA DE CONTENIDO

Cosecha de paz: café y desmovilización armada en Colombia

Harvest of peace: Coffee and armed demobilization in Colombia

Robert Ojeda Pérez, Mariana Monroy Pinzón **5**

Calidad microbiológica del aire en servicios de alimentación de instituciones infantiles en Barranquilla - Colombia

Microbiological air quality in food services of children's institutions in Barranquilla - Colombia

Nuris Morales-Pinto, Jorge Jiménez-Vargas..... **23**

Evaluación por expertos de las competencias laborales del programa de Especialización en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico en Bogotá

Expert evaluation of the labor competencies of the Specialization Program in Respiratory Therapy in Critical Care in Bogotá

Luz Adriana Ausique Pedroza, Diana Carolina Zona Rubio **38**

Factores internos y externos que influyen en la adopción de las TIC en las empresas del sector cultural: Caso Bolívar, Colombia

Internal And external factors influencing the adoption of ICTs in cultural sector companies: Bolivar, Colombia

Ledy Paola Armirola-Garcés, María Teresa García-Nieto **53**

Diseño de un dispositivo electrónico portable y de bajo costo para la estimación de las fuerzas de reacción que se generan durante la marcha a partir del contacto entre los pies y el suelo

Design of a low-cost, portable electronic device for the estimation of reaction forces generated during walking from foot-ground contact

Nelson Eduardo Guevara Muñoz, Yamir Hernando Bolaños Muñoz, Pablo Eduardo Caicedo Rodríguez, Wilson Alexander Sierra Arévalo, Luis Eduardo Rodríguez Cheu6 **73**

Las Normas Internacionales de Información Financiera: Una mirada desde la bibliometría

International Financial Reporting Standards: A look from bibliometrics

Larent Tatiana Cuasquer Arteaga, David Esteban Guerrero Muñoz, Ricardo Alfredo Rojas Medina3 **105**

Aplicación móvil para las unidades de servicio del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar en el municipio de Fusagasugá - Colombia

Mobile application for the service units of the Colombian Institute of Family Welfare in the municipality of Fusagasugá - Colombia

*Jairo Eduardo Márquez Díaz, Bryan Emmanuel Hernández-Gutiérrez, Juan Pablo Chaparro-Vásquez.....***127**

Desarrollo de un modelo de machine learning para determinar el comportamiento de heladas en la Sabana de Bogotá

Development of a machine learning model to determine the behavior of frost in the Bogotá Savannah

*Robinson Castillo Mendez, Julian Andrés Camacho C.***150**

Public debt: Bibliometric analysis and characterization of perspectives

Deuda pública: análisis bibliométrico y caracterización de perspectivas

*Reinaldo Giraldo Díaz, Libia Esperanza Nieto Gómez, Martha Isabel Cabrera Otálora.....***165**

Efecto de la naturaleza química de nanopartículas en las propiedades mecánicas del cemento Portland

Effect of the chemical nature of nanoparticles on the mechanical properties of Portland cement

*Juan Manuel Guzmán Cardona, Juan Manuel Jaramillo Zuluaga, Carlos Alberto Mosquera Hurtado.....***199**

La ciudadanía global en la práctica docente del instructor de las academias SED-Cisco

Global citizenship in the teaching practice of the instructor of the SED-Cisco academies

*Adolfo Eleazar Rojas-Pacheco, Carlos Alfredo Piza Malagón, Paola Janneth Jimenez-Bernal, Diego Fernando Rodríguez González.....***217**

Recuperación de litargirio a partir de los residuos del proceso de ensayo al fuego en la cuantificación de metales

Recovery of litharge from fire assay process residues in the quantification of metals

*Samuel Palacio Morales, Juan Manuel Guzmán Cardona, José Manuel Palacio Arango, Andrés Felipe Arboleda.....***231**



EDITORIAL

La Revista VÍA INNOVA, se ha consolidado como un medio de gran interés para la divulgación científica, promoviendo avances y desarrollos productivos, sociales y culturales en múltiples áreas de conocimiento, su labor refleja un esfuerzo colectivo por fomentar el intercambio de ideas, la construcción de nuevo conocimiento y la aplicación de hallazgos en contextos diversos. Cada artículo publicado no solo expone los resultados de proyectos de investigación aplicada, sino que también se convierte en una herramienta para analizar tendencias de investigación, medir impactos y establecer colaboraciones entre autores, instituciones y comunidades.

El trabajo del equipo editorial de VIA INNOVA, ha permitido lograr altos estándares de calidad e impacto, así como la difusión de contenidos relevantes que trascienden fronteras institucionales y geográficas. Esta dedicación ha posicionado a la revista como un referente interdisciplinar, despertando el interés de autores y lectores en ámbitos académicos, productivos y sociales, fortaleciendo así la capacidad de respuesta ante las dinámicas económicas y culturales de las diferentes regiones de Colombia.

Gracias a la revista VIA INNOVA, el conocimiento generado encuentra un espacio para trascender, inspirar y transformar.

Claudia Roció Varón Buitrago

Dinamizadora Sennova

Centro de comercio y servicios Regional Tolima

Recibido 17-08-23 Aceptado 08-11-23

Cosecha de paz: café y desmovilización armada en Colombia

Harvest of peace: Coffee and armed demobilization in Colombia

Robert Ojeda Pérez¹
Mariana Monroy Pinzón²

Cómo citar:

Ojeda, R., y Monroy, M. (2024). Cosecha de paz: café y desmovilización armada en Colombia. *Vía Innova*, 11 (1). 5-22. <https://doi.org/10.23850/2422068X.5822>

¹ Robert Ojeda Pérez. Doctorado, Educación y sociedad, Magister en Historia, Filiación: Universidad de la Salle, rojeda@unisalle.edu.co

² Mariana Monroy Pinzón. Filiación: Universidad de la Salle, mmonroy68@unisalle.edu.co

Resumen

Este artículo analiza la evolución de las organizaciones en tres regiones que optaron por la producción de café a manos de excombatientes del conflicto armado. A través de un análisis comparativo, se busca un enfoque en categorías importantes para representar el alcance y desarrollo de cada proyecto a nivel nacional y mundial. Se realizará una conceptualización del contexto colombiano y un análisis de la posible efectividad de la implementación de estos proyectos entre 2015 y 2021. Esta revisión permitirá determinar qué tan recíproca y útil ha sido la participación de estos grupos en la producción de café con el fin de mitigar el conflicto.

Palabras clave: Producción de café, Antioquia, Tolima, Cauca, Diagrama causal, Conflicto armado, Desmovilización, Inserción laboral

Abstract

This article analyzes the evolution of organizations in three regions that have embraced coffee production in collaboration with ex-combatants from the armed conflict. Through a comparative analysis, the objective is to identify key categories that represent the scope and development of each project at both national and global levels. Consequently, a conceptualization of the Colombian context will be presented, followed by an analysis of the potential effectiveness of project implementation from 2015 to 2021. This review aims to determine the reciprocity and utility of the participation of these groups in coffee production as a means of mitigating conflict.

Keywords: Coffee production, Labor insertion, Antioquia, Tolima, Cauca, Causal diagram, Armed conflict, Demobilization

1. Introducción

El conflicto armado en Colombia ha sido de gran consideración debido a su impacto y duración en el tiempo. La historia colombiana está marcada por la violencia y características que abarcan aspectos políticos, sociales, económicos y culturales. La apropiación y uso de la tierra han sido motores del conflicto, donde el poder ha sido un motivo claro para su desarrollo, evidenciándose un conflicto de intereses en el despojo y apropiación violenta de tierras (Molano, 2015). Además, la desigualdad social, la falta de oportunidades, la vulnerabilidad de zonas abandonadas por el Estado y la escasez de recursos, ha contribuido a este conflicto. Este contexto ha llevado a la consolidación de actores fundamentales para la guerra, como guerrilleros y paramilitares.

Desde el año 2000, el Estado ha implementado instituciones para la reincorporación y normalización de personas que optaron por la desmovilización de grupos armados, entre ellas la ARN - Agencia para la Reincorporación y la Normalización, la cual ha acompañado y brindado asesoría a quienes buscan transitar a la legalidad, generando oportunidades para fortalecer sus capacidades y desenvolverse como ciudadanos (Agencia para la Reincorporación y la Normalización, s.f.).

Según Cristancho y Otálora (2018), el gobierno, a través de esta entidad, diseñó una ruta de reintegración de ocho dimensiones: personal, seguridad, educativa, productividad, salud, ciudadana, familiar y hábitat, que deben seguir los desmovilizados y sus familias para construir su proyecto de vida, garantizando su reintegración en la vida civil y económica, alejados de la lucha armada y en pleno goce de sus derechos como ciudadanos colombianos. La inserción laboral ha sido mediada por la ARN, los ETCR (Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación) y otras áreas de reintegración grupal. Estos esfuerzos se han potenciado desde los acuerdos de paz con la creación del Sistema Integral de Verdad, Justicia, Reparación y no Repetición. Los proyectos para la ayuda laboral y educativa se han distribuido en todo el país, estableciendo sedes para la capacitación y orientación del proceso de reincorporación. La ARN ha orientado a varios excombatientes para que se integren en instituciones, empresas o emprendimientos, ofreciendo beneficios a quienes decidan desmovilizarse. La producción y comercialización del café ha surgido como una oportunidad productiva y de negocio en territorios con gran vocación agrícola, históricamente afectados por el conflicto armado (Sepúlveda, 2019).

En Colombia, ciertas regiones han tenido un mayor desarrollo en la implementación de proyectos para la reintegración de excombatientes en emprendimientos de producción y comercialización de café, gracias a condiciones espaciales y alianzas con otras organizaciones. Entre ellas se

destacan Antioquia, Tolima y Cauca, reconocidas a nivel mundial por sus logros y evolución. Esta investigación busca evaluar la pertinencia de la estrategia implementada por el Estado, a través de la ARN y los ETCR para la reintegración de excombatientes en proyectos de café en estas regiones de Colombia entre 2015 y 2021. Los objetivos planteados se centran en conceptualizar el origen y contexto histórico de las iniciativas para la inserción laboral de excombatientes, analizar los colectivos en las regiones del Cauca, Tolima y Antioquia, y valorar la evolución y alcance a través de un análisis general de los sectores en un diagrama causal.

El artículo busca valorar la pertinencia de los programas estatales sobre la producción de café para la reintegración de exguerrilleros en el contexto colombiano, enfocándose en las regiones con mayor progreso en este proceso a nivel global. Se analiza la transformación de los colectivos a lo largo de los años, sus alianzas y reconocimientos en la industria cafetera, lo que contribuye a evaluar la efectividad de dichos programas de desmovilización pre y post Acuerdo de Paz en 2016. La contextualización del conflicto armado colombiano es fundamental para comprender la creación y causas de estos proyectos, mientras que el análisis causal permite una visión específica de las tres regiones en un solo mapa, proporcionando una síntesis final de la evolución de estos colectivos colombianos.

2. Contexto histórico del conflicto armado

La esencia del conflicto armado lleva consigo la violencia y la perduración de ella. Con esto se hace referencia a que, cuando se está dentro del contexto colombiano, se comprende que son bastantes años los que duró esta lucha. En un inicio se puede visibilizar el antagonismo entre dos partidos: el Liberal y el Conservador. Desde la hegemonía conservadora proclamada en la Guerra de los Mil Días (1899 - 1902) el bipartidismo se vio muy marcado dentro del contexto colombiano. Como lo enuncia Molano (2015), la inequidad social campesina cafetera junto con el triunfo del Partido Liberal en 1930, generó mucha represión por parte de armas oficiales y privadas. A partir de la iglesia católica y de su fuerza obtenida en la Guerra de los Mil Días, los conservadores defendieron su lugar en el poder de tal forma que el liberalismo, con el apoyo agrario y socialista, entraría en armas más adelante.

Desde 1925 hasta 1958 se vivió con mayor intensidad esta violencia bipartidista, en donde Jorge Eliecer Gaitán se presentaba a favor de las aspiraciones populares, mientras que Laureano Gómez de las del conservadurismo. En medio de múltiples asesinatos por parte de liberales y

conservadores, el 9 de abril de 1948 se ejecutó el acto que llevaría a un fortalecimiento de la lucha entre estos dos partidos: el asesinato a Gaitán. Debido a esto, se generó el Bogotazo (que realmente se extendió por todo Colombia), desbordando aún más la violencia a través de los disturbios, masacres y demás. Carrillo (2015) expone que, mientras Colombia sufría esta guerra encubierta, en 1953 con el golpe de estado por parte de Gustavo Rojas Pinilla, se creó el frente nacional para que los partidos pudiesen turnarse el poder cada cuatro años. A partir de las exclusiones para partidos alternativos a ellos, los fracasos de la reforma agraria, la influencia de la revolución cubana y la centralización de la tierra en pocos, se moldearon y originaron las guerrillas en los 60.

A través de Molano (2015) se puede entender que, las fuerzas guerrilleras ocuparon zonas importantes para el cultivo de sustancias ilícitas y así poder financiarse. Los guerrilleros resultarían más beneficiados porque en esas épocas, el café había decaído. Para intentar no afectar a la economía, las fuerzas del gobierno pretendieron retirar a los guerrilleros de estas zonas, puesto que en estas se podían cultivar productos como el banano o también extraer petróleo. A partir de esta necesidad, se vivenció que: “La fuerza pública se mostró incapaz de controlar el movimiento guerrillero y apeló a fomentar el paramilitarismo en colaboración con los intereses afectados por la insurrección. Al mismo tiempo, y por la misma razón, los gobiernos buscaron negociaciones de paz” (Molano, 2015, p.2). El paramilitarismo iba en relación con el Ejército y las élites colombianas para su defensa, no obstante, fue un grupo que recrudeció el conflicto al punto de generar casi las mismas afectaciones que la guerrilla.

9

Las guerrillas tuvieron un desarrollo abismal, puesto que obtuvieron en poco tiempo 20.000 unidades militares. Resumido por Carrillo (2015), en 1985 algunos exguerrilleros fundaron el partido político Unión Patriótica, sin embargo, se perpetuó un crimen de lesa humanidad al asesinar a la mayoría de representantes del partido, exterminándolo por completo. Esto generaría, una respuesta más violenta por parte de los guerrilleros, al no inmiscuirse con la paz, financiándose aún más con drogas y secuestros. Estados Unidos ayudó a la lucha contra los narcóticos con varias estrategias, de la misma forma, el gobierno colombiano bajo la presidencia de Álvaro Uribe Vélez (2002 - 2010), planteó la seguridad democrática, en donde se “decretó la guerra a muerte e involucró al paramilitarismo como brazo armado de las fuerzas oficiales” (Molano, 2015, p.3).

Desde el 2003 se creó el Programa para la Reincorporación de la Vida Civil (PRVC) que funcionó en el Ministerio de Interior y de Justicia entre 2003 y 2006. Según la ARN (s.f) se caracterizó por la atención psicosocial, servicios y beneficios para personas desmovilizadas. Era un programa de reinserción de corto plazo. Más adelante, se vivenció que, gracias a la gran cantidad de perso-

nas que estaban decidiendo desmovilizarse, entre sus responsabilidades estaba articular con las entidades nacionales el Proceso de Reintegración y difundirlo nacional e internacionalmente. Así pues, el 3 de noviembre de 2011, pasó a ser la Agencia Colombiana para la Reintegración (ACR), de conformidad con el Decreto 4138 (ARN, s.f).

A partir de lo pactado en el acuerdo para la terminación del conflicto del proceso de paz en La Habana del 2016, la agencia colombiana para la reintegración (ACR) pasó a ser la agencia para la reincorporación y normalización (ARN), teniendo como objetivo “gestionar, implementar, coordinar y evaluar, de forma articulada con las instancias competentes, la política, los planes, programas y proyectos de Reincorporación y normalización de los integrantes de las FARC-EP” (ARN, s.f).

Según Cristancho y Otálora (2018) uno de los aspectos de los que se encarga la ARN es la “regionalización con objetivos de capacitación laboral, apoyo a pequeños proyectos de negocios individuales y colectivos” es así que, las estrategias para la desmovilización y la inmersión dentro del mundo laboral, son importantes para el desarrollo pertinente del excombatiente de manera integral. De esta forma, la promoción de capacidades, el apoyo a los nuevos emprendimientos y la orientación hacia proyectos laborales, genera un espacio de interacción para las nuevas oportunidades. Para la dimensión productiva, Cristancho y Otálora (2018), muestran que se aspira a dar oportunidades del propio contexto económico, se fortalece el talento, se orienta a la generación de ingresos como a las opciones productivas, manteniendo así una relación familiar y el propio manejo financiero. Estas capacitaciones fomentan la inserción laboral de los excombatientes dentro de un contexto de acompañamiento y no de abandono, pretendiendo así la independencia económica de los individuos. Este tipo de organizaciones buscan ser mediadoras entre el desmovilizado y la empresa o el sector de producción.

10

Con la terminación de las Zonas Veredales Transitorias de Normalización el 15 de agosto del 2017, se dio inicio a los Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación (ETCR), los cuales son administrados por la ARN. Se realizan actividades de capacitación y reincorporación temprana con las cuales se pretende facilitar las fases iniciales de adaptación de los miembros de las Farc-Ep a la vida civil (ARN, s.f). Es aquí donde se hace una orientación pertinente para las ofertas públicas o privadas de trabajo en la región.

La mayoría de las zonas en donde se presentaba más fuerte el conflicto armado, son lugares propicios para la producción de café. Es así que, organizaciones cafeteras junto con los Espacios Te-

rritoriales de Capacitación y Reincorporación crean alianzas para fomentar la participación dentro de la producción cafetera y su posterior comercialización.

De este modo, desde la formalización de diversos emprendimientos con referencia al café, los desmovilizados han tenido la oportunidad de cultivar, producir, comercializar, distribuir e incluso recibir ayuda de más lugares para el desarrollo del producto. A continuación, se hará el análisis puntual de cada colectivo seleccionado, para al final, realizar uno integral y así hablar de efectividad a manera general.

3. Colectivos de café: Grupos de excombatientes

Dentro del marco del proceso de paz, los acuerdos han permitido la colaboración para el planteamiento de oportunidades educativas y laborales que favorecen a los exguerrilleros. Los proyectos que se implementan, están relacionados con artesanías, cerveza artesanal, café, etc. Distintos grupos que han optado por la producción de café, llegando incluso a exportarlo, como lo enuncia Cantillo (2020): “En junio de 2019 se realizó la primera exportación de café procesado por exguerrilleros, hacia Estados Unidos”. Por ello, la influencia que estos emprendimientos han tenido debe ser conceptualizada para la determinación de su alcance internacional y nacional.

11

Para poder tener un mayor panorama de cada colectivo de café, se identificarán algunas categorías para poder plasmar cada uno de los grupos.

Entre ellas están:

- Conformación y asociaciones
- Roles dentro del colectivo
- Objetivos
- Alcances a nivel nacional
- Alcances a nivel internacional

4. Tercer acuerdo

Tercer acuerdo, como lo enuncia Lopera (2020) es un colectivo de café especial, ubicado en Plandas (Tolima) que nació hace 23 años gracias a varias asociaciones de cafeteros de Planadas, fincas de familias caficultoras de Gaitania, mujeres líderes de la región e indígenas de resguardo indígena Nasa Wes'x. Esta marca fue establecida a partir de un ejercicio colectivo de la Mesa Técnica Cafetera de Gaitania (Tolima) desde su compromiso firme con la construcción local de paz, siendo

comercializado por exintegrantes de las FARC. Este colectivo se llama “Tercer acuerdo” puesto que un primer acuerdo fue hace 20 años entre los indígenas y las FARC, el segundo se consolida en el final del proceso de paz y el tercero es la correlación entre estos actores y el café.

- Año de fundación: 2018
- Producción anual de café: 120 toneladas
- Inversión inicial en infraestructura: \$150,000 USD
- Número de empleos generados: 35 (excombatientes, campesinos, indígenas)
- Exportaciones a mercados internacionales: 80% de la producción total
- Participación en eventos y ferias nacionales: presentes en seis ferias de café a nivel nacional
- Crecimiento anual promedio: 25%

Figura 1. Imagen del café del tercer acuerdo



Nota por Caracol Radio (2020)

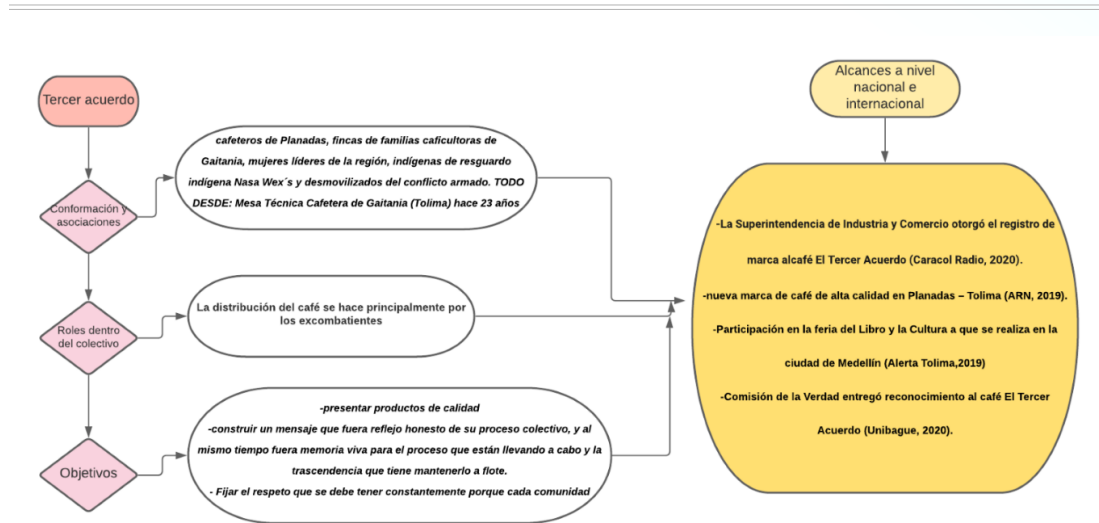
Según Lopera (2020) dentro de “diarios del tercer acuerdo”, se propendía a:

Presentar productos de calidad y con historia a un mercado cada vez más saturado (como es el caso del café en el mundo). Por otro lado, construir mensajes visuales y textuales que fueran reflejo honesto de su proceso colectivo, pero que también fueran memoria viva para la recordación del proceso que están llevando a cabo y la trascendencia que tiene mantenerlo a flote. Por último, el respeto que se debe tener

constantemente porque cada comunidad, por lo menos desde sus representantes, se sienta vinculada y reflejada en esta apuesta (p.94).

De ahí podemos rescatar el reflejo del compromiso con el proceso para el trabajo dentro de la producción del café, y de la construcción de paz a partir de la legalidad en territorios históricamente afectados por la violencia y por la siembra de coca. A partir de la información recolectada, se puede visibilizar el siguiente diagrama:

Figura 2. Diagrama de estructuración: tercer acuerdo



Fuente: Elaboración propia

A partir del mapa, se puede evidenciar que los alcances transregionales por parte de El Tercer Acuerdo han sido muy provechosos debido a que se proyectan como modelo de diálogo y emprendimiento para la construcción de paz. Los reconocimientos se han postulado como parte importante del proceso de comercialización del café de este colectivo, subrayando así los reconocimientos y el aval de la Superintendencia de Industria y Comercio. Por otro lado, es importante reconocer la participación de la Universidad de Ibagué dentro de la consolidación del proyecto.

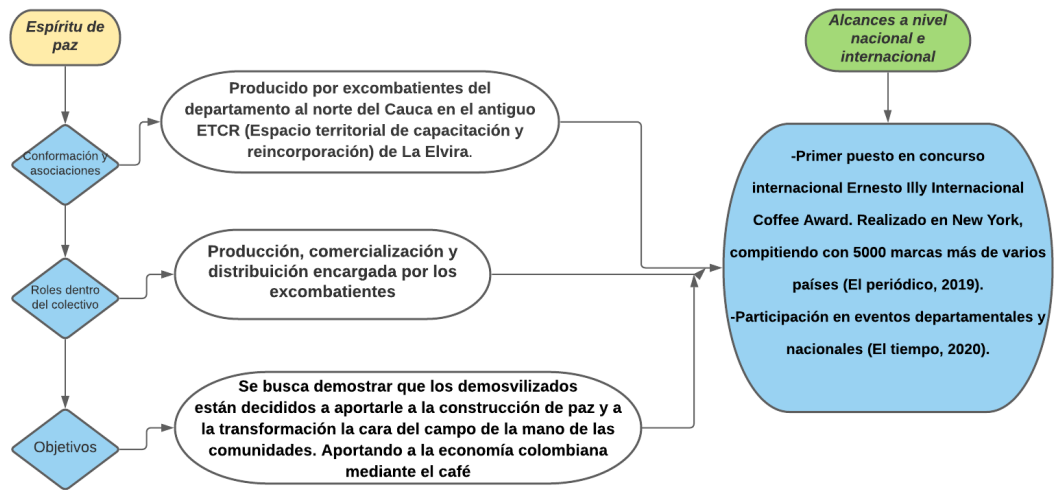
5. Espíritu de paz

Espíritu de paz es un colectivo conformado por excombatientes de las FARC, especializados en la producción de café dentro del departamento del Cauca. Según RT (2019) “el producto se cultiva en los municipios del norte del departamento y, debido a su calidad, hace más de un año comenzó a despacharse a Italia”.

Este colectivo ha sido condecorado gracias a la calidad del café que producen, impartiendo así un proyecto de reconciliación y de conformación laboral al mismo tiempo.

- Año de fundación: 2017
- Producción anual de café: 90 toneladas
- Inversión inicial en capacitación: \$100,000 USD
- Número de empleos generados: 25 (excombatientes, mujeres trabajadoras, campesinos especializados)
- Exportaciones a mercados internacionales: 60% de la producción total
- Participación en eventos y ferias nacionales: presentes en cuatro ferias de café a nivel nacional
- Crecimiento anual promedio: 18%

Figura 3. Diagrama de estructuración: café espíritu de paz



Fuente: Elaboración propia

A partir del diagrama se puede visibilizar que, en años recientes, la iniciativa ha tenido un buen desarrollo, teniendo en cuenta que su creación fue a mediados de 2017 -2018. Es así como obtuvieron el primer puesto a nivel internacional en cuanto a calidad del café, compitiendo con otros países y más marcas derivadas de estos. Este fue un gran paso y logro para todas las comunidades en Cauca, puesto que para los demás colectivos funciona como inspiración, y para la demás población, como una afirmación hacia los frutos que trae apostarle a la paz desde la inclusión laboral.

Como lo enuncia Pardo en El Periódico (2019): “Este premio significa demostrarle a la población colombiana que estamos decididos a aportarle a la construcción de Paz en este país”.

Otra importante nota para añadir es que recibieron apoyo económico por parte de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, un monto total de 500 mil euros para fortalecer el proyecto cafetero (ARN, 2020). En este proyecto también fueron incluidas las mujeres caficultoras (Ojeda-Pérez, R., & Garatejo-Pérez, A, 2023).

Como lo expresa la Agencia Prensa Rural (2019), Café Paramillo es una de las marcas del café producido por excombatientes en proceso de reincorporación que se ubica en las montañas de Ituango, en el departamento de Antioquia. La ARN expresa que este café particularmente “se siembra bajo sombrío de árboles nativos y cultivos de pancoger, en búsqueda de garantizar en primera medida la soberanía alimentaria de los campesinos y en segunda medida, obtener mejor calidad del grano” (2019).

Café Paramillo:

- Año de fundación: 2016
- Producción anual de café: 150 toneladas
- Inversión inicial en tecnología sostenible: \$200,000 USD
- Número de empleos generados: 40 (excombatientes, campesinos, indígenas)
- Exportaciones a mercados internacionales: 70% de la producción total
- Participación en eventos y ferias nacionales: presentes en ocho ferias de café a nivel nacional
- Crecimiento anual promedio: 30%

15

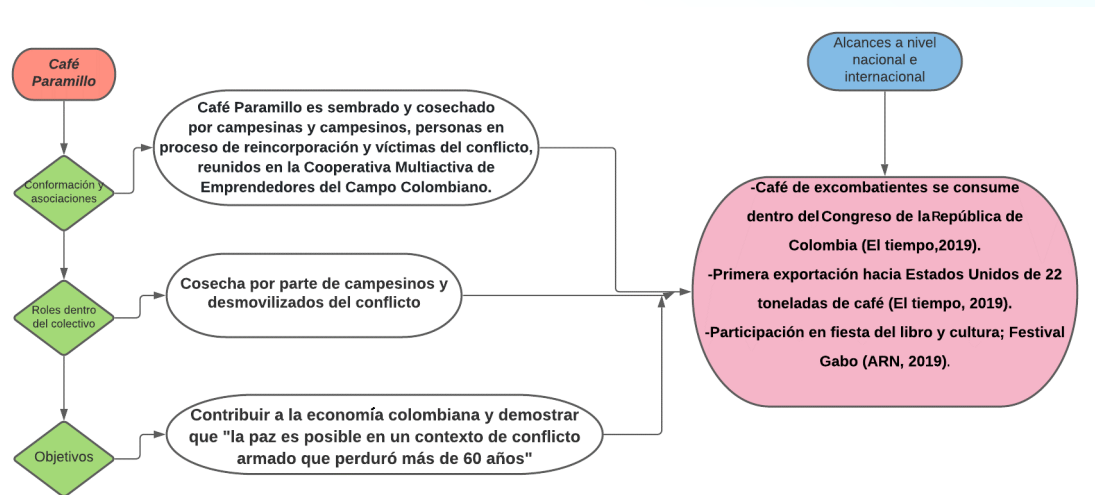
Figura 4. Imagen del café Paramillo



Nota: Por Café Paramillo (2021)

Según Red + (2019) Café Paramillo “hace parte de Ecomun, la cooperativa nacional establecida en el acuerdo de paz que tiene como objetivo fortalecer los procesos de asociación y cooperación conjunta y que ya lanzó al mercado cervezas, artesanías y prendas de vestir”.

Figura 5. Diagrama de estructuración: Café Paramillo



Nota: Por Café Paramillo (2021)

16

6. Resultados de la investigación

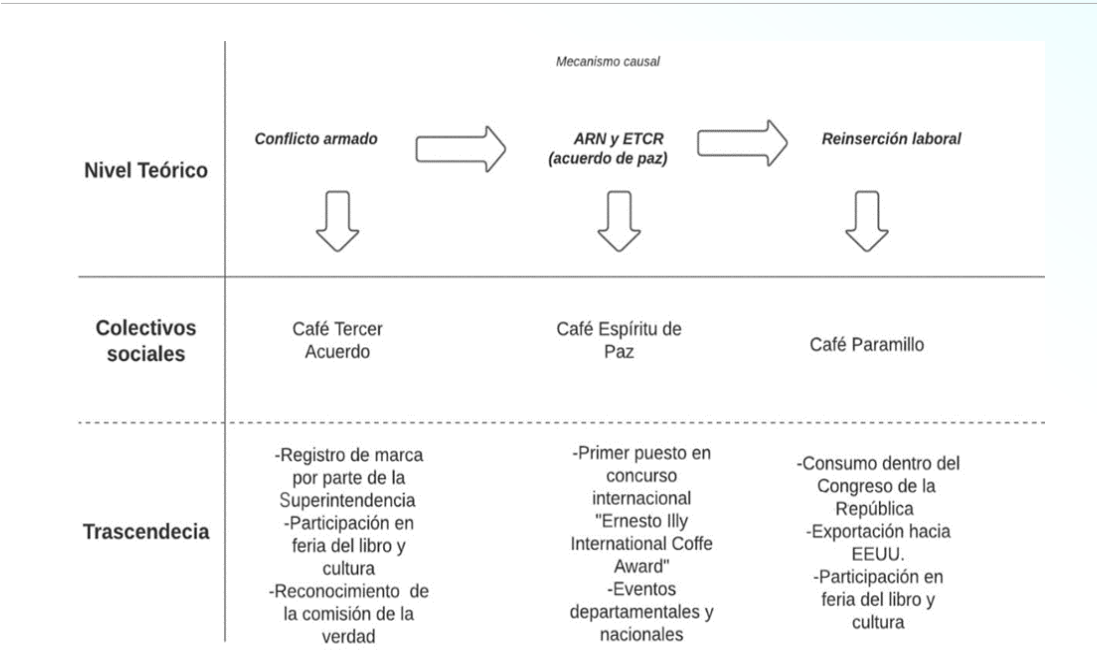
En cuanto a negociación internacional, se puede visibilizar que Café Paramillo ha tenido un buen desarrollo en los últimos años elevando sus exportaciones. Ahora bien, la llegada de este café al Congreso de la República puede interpretarse como una alusión a la demostración en vivo y en directo de un café producto de esfuerzo y dedicación; además de ello, la confirmación de la importancia de estos proyectos para la reinserción y, por tanto, para la paz.

Diagrama de causalidad

La herramienta que permite visibilizar los alcances y el desarrollo en general de los tres colectivos del café, se denomina Mecanismo Causal. Leónidas (2017) expresa que estos mapas permiten hacer referencia a sistemas concretos y a los cambios que se producen dentro del mismo, entonces se conjugan actores importantes como la teoría, las entidades y las actividades. Dentro de las ciencias sociales, se consolida como una ayuda para identificar los factores que intervienen en una política concreta, justificando así su uso. De esta manera, los colectivos denominados “Tercer acuerdo” de

Tolima, “Espíritu de paz” del Cauca, y “Café Paramillo” de Antioquia, se analizarán en conjunto como parte importante de un proceso encaminado hacia la paz.

Figura 6. Mecanismo causal: Diagrama general



Fuente: Elaboración propia basada en Leonidas (2017)

Análisis Comparativo del Impacto de Tres Marcas de Café Lideradas por Excombatientes en Colombia

Los emprendimientos Tercer Acuerdo, Espíritu de Paz y Café Paramillo, liderados por excombatientes, han desempeñado un papel significativo en la reconstrucción del tejido social y la productividad en la industria cafetalera colombiana. Al comparar su efectividad en productividad, empleo e impacto social, se destacan aspectos distintivos en cada uno.

Productividad y Producción de Café

Café Paramillo se destaca por su sólido desempeño en términos de productividad. Fundado en 2016, ha logrado una producción anual de 150 toneladas, superando a Tercer Acuerdo con 120 toneladas y Espíritu de Paz con 90 toneladas. Este rendimiento superior destaca la eficiencia y la implementación exitosa de tecnologías sostenibles que han aumentado su rendimiento en la producción de café.

Número de Empleados y Generación de Empleo

En cuanto a la generación de empleo, Café Paramillo también se pone a la vanguardia con 40 empleados, seguido por Tercer Acuerdo con 35 y Espíritu de Paz con 25. Este aspecto destaca la capacidad de Café Paramillo para involucrar a un mayor número de individuos, incluyendo excombatientes, campesinos e indígenas, lo que contribuye significativamente a la reintegración laboral y al desarrollo de las comunidades locales.

Impacto Social

Espíritu de Paz sobresale en el impacto social al haber participado en cuatro ferias de café a nivel nacional, una más que Tercer Acuerdo, y a solo dos menos que Café Paramillo. A pesar de tener una producción ligeramente menor, su participación activa en eventos nacionales destaca su presencia y su contribución al mensaje de paz en Colombia.

En resumen, Café Paramillo se posiciona como el café más efectivo en términos de productividad y generación de empleo, impactando significativamente en la economía local. Sin embargo, Espíritu de Paz, con una menor producción pero una activa participación social, demuestra su influencia en la promoción de la paz en el país. Estos emprendimientos destacan la diversidad en sus fortalezas, cada uno aportando de manera única al desarrollo socioeconómico y la reconciliación en Colombia.

18

Transformación de la Industria Cafetera en el Contexto de la Paz en Colombia: Impacto de los Emprendimientos de Excombatientes

El contexto del conflicto armado en Colombia y su posterior transición hacia la paz ha significado un hito crucial en la reconstrucción del país. Los acuerdos de paz no solo han reformado instituciones clave como la ARN (Agencia para la Reincorporación y Normalización), sino que también han impulsado un proceso integral de construcción de paz, incidiendo a niveles personales, especialmente a través de la reintegración laboral de excombatientes. Esta reinserción se manifiesta en tres emprendimientos, cuyo surgimiento se debe a la guía y colaboración brindada por la ARN.

Estos emprendimientos, surgidos como resultado directo del desarrollo y el apoyo derivado de la búsqueda de la paz en regiones históricamente afectadas por la violencia y los cultivos de coca, se destacan no solo a nivel nacional sino también internacional. Esto evidencia la transformación significativa que pueden experimentar los emprendimientos liderados por personas desmovilizadas, trascendiendo las fronteras nacionales y contribuyendo a la economía colombiana de manera legítima.

Estos colectivos no solo han generado impacto a nivel comercial exterior, sino que también han dejado una huella profunda en eventos, festivales y ferias nacionales. Estas participaciones además de transmitir un mensaje de reflexión en el marco de la paz en Colombia, facilitan el acceso a productos directamente ligados a la reconciliación y políticas orientadas hacia la generación de proyectos laborales.

Conclusiones y Reflexiones

En este recorrido descriptivo, se ha considerado la implementación de estrategias cafeteras en pro de la paz. Es fundamental recordar que, dentro de estos colectivos, los desmovilizados han establecido vínculos estrechos con campesinos afectados e indígenas, fomentando la diversidad y el reconocimiento del otro. Además, la participación no se limita exclusivamente a excombatientes, lo que subraya la importancia de la inclusión dentro de estos colectivos.

El proceso de desmovilización, desencadenado por el contexto del conflicto armado, ha impulsado la reestructuración hacia la paz. Las iniciativas y decretos implementados desde el año 2000 han atendido las necesidades de reintegración, proporcionando una orientación exhaustiva a quienes se reincorporan a la sociedad. Es esencial considerar las estrategias no solo como medios de subsistencia, sino como guías que brindan beneficios y oportunidades para estas personas, con el propósito de facilitar su desenvolvimiento en la sociedad.

Los emprendimientos estudiados, como el Tercer Acuerdo, Espíritu de Paz y Café Paramillo, han mostrado un desarrollo significativo a nivel nacional e internacional. Estos avances se atribuyen a la orientación proporcionada por entidades como la ARN, las mesas cafeteras, el Sena, la dedicación de individuos pertenecientes a diversos estratos sociales, y las inversiones realizadas, considerando el abandono de las armas como un punto de inflexión.

Según Zambrano (2022), el proceso no solo ha involucrado a la ARN, sino también a entidades como la Asociación Colombiana de Pequeños Caficultores (ASCAFE) y la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), así como a empresas extranjeras que han intervenido con acuerdos comerciales e inversiones. Además, según la ANDI (2019), la inclusión laboral no solo reduce la deserción y el absentismo, sino que también aumenta la motivación, el trabajo en equipo y el compromiso de los colaboradores, lo que facilita el logro de objetivos.

Es crucial comprender que la motivación juega un papel crucial en los desmovilizados, y la diversidad de ideas aportada por el grupo cafetero permite un enfoque innovador en el desarrollo productivo. A través de la conceptualización de cada colectivo y sus logros, se ha identificado un

mecanismo causal que muestra la relación entre el contexto, las entidades involucradas y la trascendencia como resultado de una respuesta necesaria a un contexto específico.

En última instancia, se destaca la efectividad de estas estrategias en el desarrollo laboral y la reintegración de excombatientes. La orientación y la creación de organizaciones enfocadas en la reintegración han demostrado ser efectivas para estos tres emprendimientos cafeteros en Antioquia, Tolima y Cauca, contribuyendo significativamente a la construcción de paz.

En Resumen

Los proyectos liderados por excombatientes no solo promueven productos de calidad y reconocimiento internacional, sino que también transmiten un mensaje de apoyo del Gobierno hacia emprendimientos que operan dentro de la legalidad. La conexión entre el sector público y privado de las regiones resulta fundamental, ya que fomenta estos procesos económicos, generando espacios de reconciliación y promoviendo un mensaje de paz a nivel nacional y global.

Recomendaciones

Es crucial recordar que, además del café, existen otros productos que han emergido en el mercado gracias a los exguerrilleros, como la cerveza artesanal y objetos de uso personal. Estos productos también contribuyen a la construcción de paz y no deben pasarse por alto. Programas de educación a través del Sena tienen como objetivo la integración de estos actores en entornos laborales, lo que representa una estrategia prometedora.

A pesar de los avances, aún queda un largo camino por recorrer hacia la paz, ya que hay personas pendientes de desmovilizarse por razones personales o que enfrentan riesgos como los asesinatos a reintegrados en la sociedad.

7. Referencias

Agencia Prensa Rural (2019). El Café Paramillo es una de las marcas del café producido por excombatientes en proceso de reincorporación en cinco departamentos de Colombia. <https://prensarural.org/spip/spip.php?article24748>

ANDI (2019). La inclusión de víctimas y desmovilizados: UNA VENTAJA COMPETITIVA PARA LAS EMPRESAS EN COLOMBIA. <http://www.andi.com.co/Uploads/Paper%20Victimas%20y%20Desmovilizados%20Lectura.pdf>

ARN (s.f). Reseña Histórica de la Agencia para la reincorporación y la normalización. <http://www.reincorporacion.gov.co/es/agencia/paginas/resena.aspx>

- ARN (2020). Gobierno de España destinará 500 mil euros a través de la ARN para fortalecer proyecto de café de excombatientes en el Cauca. <http://www.reincorporacion.gov.co/es/sala-deprensa/noticias/Paginas/2020/Gobierno-de-Espana-destinara-500-mil-euros-a-traves-de-la-ARN-para-fortalecer-proyecto-de-cafe-de-excombatientes-en-Cauca.aspx>
- ARN (2019). Café de exintegrantes de las Farc-Ep se comercializará en la Fiesta del Libro y la Cultura. <http://www.reincorporacion.gov.co/es/saladeprensa/noticias/Paginas/2019/Cafe-de-exintegrantes-de-las-Farc-Ep-se-comercializara-en-la-Fiesta-del-Libro-y-la-Cultura.aspx>
- Café Paramillo (2021). Imagen de café paramillo. [Figura 2]. <https://twitter.com/CParamillo/status/1376933452637999107?s=20>
- Cantillo, J. (1 de marzo de 2020). Ex guerrilleros colombianos y sus víctimas trabajan juntos en la producción de café, cerveza y cultivos orgánicos. Infobae. <https://www.infobae.com/america/colombia/2020/03/01/ex-guerrilleros-colombianos-y-sus-victimas-trabajan-juntos-en-la-produccion-de-cafe-la-cerveza-y-los-cultivos-organicos/>
- Caracol Radio. (2020). El tercer acuerdo ya tiene registro de marca. [Figura 1]. https://caracol.com.co/programa/2020/05/03/al_campo/1588507342_262100.html
- Carrillo, F. (2015). El conflicto armado colombiano (1948-2015) y su proceso de paz en La Habana (2010-2015). Universidad Complutense de Madrid Facultad de Ciencias Políticas y Sociología. ISSN: 2603-8722.
- Cristancho, L & Otalora, A. (2016). Inclusión laboral de los desmovilizados del conflicto armado en Colombia. </Downloads/21366-42643-1-SM.pdf>
- CINEP (2015). Aprendizajes para la reconciliación: experiencias de reconciliación entre excombatientes y comunidades receptoras. Bogotá: OIM. http://biblioteca.clacso.edu.ar/Colombia/cinep/20161101061707/20150401.Aprendizajes_reconciliacion.pdf
- El periódico (2019). Café cultivado por excombatientes de las FARC recibe premio ante la ONU. <https://www.elperiodico.com/es/internacional/20191019/cafe-cultivado-excombatientes-farc-recibe-premio-onu-7690506>
- El tiempo. (2019). El café de los ex-Farc que comenzaron a tomar en el Congreso. <https://www.eltiempo.com/politica/congreso/cafe-producido-por-exguerrilleros-de-las-farc-llego-al-congreso-407826>
- Leónidas, J. (2017). Mecanismos causales y process tracing. Una introducción. Revista SAAP. Publicación de Ciencia Política de la Sociedad Argentina de Análisis Político, 11(1),147-175. [fecha de Consulta 18 de abril de 2021]. ISSN: 1666-7883. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=387153373006>
- Lopera, D. (2020). Diarios del tercer acuerdo. Ibagué: Colombia. <Downloads/Diariosdelterceracuerdo.pdf>.

- Molano, A. (2015). Fragmentos de la historia del conflicto armado en Colombia (1920-2010). Debates, (72), 51-56. Universidad de Antioquia, Secretaria General. ISSN 1657429X
- Ojeda-Pérez, R., & Garatejo-Pérez, A. (2023). El papel de la mujer en la producción de café colombiano. DiversidadES, 2 (2), 4-8. https://www.fundaciondiversidades.org/files/ugd/9088d4_e7a95b6bae9841bc8fo6ef28005f5191.pdf
- Radio Diez Nacional. (2019). EXGUERRILLEROS DE LAS FARC EN EL CAUCA EXPORTARÁN CAFÉ A EUROPA. <https://www.radiodiezinacional.com/noticias/2612-exguerrille-ros-de-las-farc-en-el-cauca-exportaran-cafe-a-europa>
- Red+. (2019). Paramillo, el café que huele a reconciliación. <http://190.85.221.72/paz/paramillo-el-cafe-que-huele-a-reconciliacion/>
- RT. (2019). “Espíritu de paz”: el café producido en Colombia por excombatientes de las FARC recibe un premio internacional. <https://actualidad.rt.com/actualidad/330532-espiritu-paz-cafe-producido-excombatientes-farc-colombia>
- Sepúlveda, C. (2019). Implementación de un modelo de gobernanza en territorios rurales, como respuesta a las necesidades del proceso de reincorporación productiva de los exintegrantes de las FARC-EP. Mesa Técnica Cafetera para la Reconciliación desarrollada en el corregimiento de Gaitania, municipio de Planadas: Tolima. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/42520/Catheryne%20sepu%CC%81veda%20Trabajo%2ode%20Grado%20MGTGP%20%28Ajustes%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Zambrano Palma, P. S., y R.Ojeda Pérez (2022). La industria cafetera en Colombia: un espacio para la reincorporación de desmovilizados y la consciencia ecológica. Revista de la Universidad de La Salle, (87), 167-196.

Recibido 24-08-23 Aceptado 07-11-23

Calidad microbiológica del aire en servicios de alimentación de instituciones infantiles en Barranquilla - Colombia

Microbiological air quality in food services of children's institutions in Barranquilla - Colombia

Nuris Morales-Pinto¹
Jorge Jiménez-Vargas²

Cómo citar:

Morales-Pinto, N. y Jiménez-Vargas, J. (2024). Calidad microbiológica del aire en servicios de alimentación de instituciones infantiles en Barranquilla - Colombia. *Vía Innova*, 11 (1), 23-37. <https://doi.org/10.23850/2422068X.5830>

¹ Docente facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Agroindustrial, Universidad del Atlántico, Barranquilla - Colombia; Calle 103 # 49E-29/49 Apto 2B Edificio Equus, Barranquilla, Atlántico. Cel. +573116514341, Barranquilla, Colombia, Correo: nurismorales@mail.uniatlantico.edu.co

² Ingeniero agroindustrial, Programa de Ingeniería Agroindustrial, Universidad del Atlántico, Barranquilla - Colombia; Calle 24 # 16-50, Baranoa, Atlántico

Resumen

La investigación consistió en evaluar la calidad microbiológica del aire en servicios de alimentación de instituciones infantiles en Barranquilla - Colombia. Se realizó un experimento en bloques al azar donde se consideraron 30 instituciones infantiles quienes constituyeron los bloques o repeticiones y tres (3) tratamientos que son las zonas de despensa, proceso y comedor. Se realizó el muestreo en cada establecimiento después de su limpieza y desinfección, y antes de la preparación de los alimentos. Se analizaron dos indicadores de higiene para la calidad microbiológica del aire, sean estos aerobios mesófilos, y moho y levaduras, empleando el método de sedimentación en placa Petri con Plate Count Agar y Yeast Extract Glucose Chloramphenicol Agar (YGC Agar), respectivamente. Los resultados revelaron aerobios mesófilos, mohos y levaduras en las zonas de despensa, proceso y comedor en algunos servicios de alimentación. Estos resultados reflejan insuficientes procedimientos de limpieza y desinfección, lo que favorece el crecimiento de microorganismos. Es necesaria la implementación de un plan de saneamiento básico, promover la formación en educación sanitaria al personal manipulador y principios básicos de buenas prácticas de manufactura para proteger la salud y bienestar de la población infantil en estas instituciones.

24

Palabras Claves: Calidad microbiológica del aire, servicios de alimentación, aerobios mesófilos, mohos, levaduras.

Abstract

The investigation consisted in evaluating the microbiological quality of air in food services of children's institutions in Barranquilla-Colombia. A randomized block experiment was conducted where the 30 children's institutions were considered as the blocks or repeats and three (3) treatments that are the pantry, process and dining areas. Sampling was done in each establishment after cleaning and disinfection of the facilities and before food preparation. Two hygiene indicators for the microbiological quality of the air, mesophilic aerobes, mold and yeast, were analyzed using the Petri dish sedimentation method with Plate count agar and YGC agar (Yeast Extract Glucose Chloramphenicol Agar) respectively. The results revealed mesophilic aerobes, molds and yeasts in the pantry, processing and dining areas in some food services. These results reflect, insufficient cleaning and disinfection procedures, which favors the growth of microorganisms. It is necessary to implement a basic sanitation plan, promote training in health education for handling personnel and basic principles of good manufacturing practices to protect the health and welfare of the child population in these institutions.

25

Keywords: Microbiological air quality, food services, mesophilic aerobes, molds, yeasts.

1. Introducción

Los alimentos que poseen gran carga de microorganismos patógenos y sustancias nocivas, ponen en riesgo la salud de sus consumidores y la economía local (OPS/OMS, 2016). Estos alimentos afectan directamente a las poblaciones más vulnerables (OMS, 2015) y la contaminación puede originarse durante la elaboración o la comercialización de estos productos. En consecuencia, los manipuladores y consumidores deben asumir prácticas higiénicas que impidan enfermedades de transmisión alimentaria (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2020).

Es importante señalar que, hay una extensa variedad de enfermedades producidas por el consumo de alimentos contaminados. Los síntomas más comunes son vómitos y diarreas, pero también pueden presentarse dolores abdominales, dolor de cabeza, fiebre, neurológicos, visión doble y otros. Además, pueden generar enfermedades crónicas a largo plazo tales como daños renales, artritis, meningitis, aborto y en casos extremos la muerte (INS, 2018). Así mismo, se presentan afectaciones en el desarrollo físico y mental de los niños que han sobrevivido a las incidencias de estas enfermedades (OMS, 2015).

Por otra parte, Tamburo et al. (2021) manifiesta que “los controles microbiológicos en establecimientos elaboradores de alimentos son de vital importancia, constituyendo estándares básicos para la calidad e inocuidad de los alimentos” (p. 18). También, la autoridad sanitaria ayuda a garantizar la calidad e inocuidad de los alimentos a lo largo de la cadena alimentaria, abordar los peligros que amenazan la inocuidad de los alimentos y proteger la salud del consumidor (FAO, 2023). Además, Canaza (2021) afirma que “la industria de alimentos y los entes de control sanitario están regulados bajo unos criterios microbiológicos que permiten la inspección durante toda la cadena de proceso” (p. 12). Así mismo, el Ministerio de Salud y Protección Social (2022) asevera que los criterios microbiológicos definen la aceptabilidad de un alimento basado en la ausencia, presencia o en el número de microorganismos presentes. Por tanto, el hallazgo de una toxina específica causada por un microorganismo patógeno es indicador de que el alimento ha sido contaminado (Canaza, 2021, p. 12.).

Debe señalarse que, los microorganismos patógenos pasan de un alimento a otro por contacto directo, por la manipulación, las superficies de contacto o del aire (FAO/OMS, 2005). El ambiente interno de los edificios donde se procesan o se manipulan alimentos es un hábitat natural para los microorganismos, cuyas fuentes incluyen las entradas de aire por puertas y ventanas; además, por las actividades que se realizan en el espacio, y las personas directamente a través de la piel y

la respiración (Romero, et al., 2016, p. 203). Por tal razón, se limpian y desinfectan las superficies en contacto con los alimentos y el ambiente para ayudar al mantenimiento del control microbiológico. Si se realiza con eficacia y en el momento apropiado, su efecto es la eliminación o el control de la población microbiana (Ferro, 2020, p. 565).

Se debe agregar que, la presencia de microorganismos patógenos da muestra de una higiene incorrecta durante el procesamiento de los alimentos, y cuando están ausentes, indican que el proceso cumple con las condiciones sanitarias, principios básicos y prácticas generales de higiene en la manipulación (Michanie, 2014). Por todo esto, es necesaria la extracción de muestras de las superficies que entran en contacto con los alimentos y del ambiente, para corroborar la presencia o ausencia de toxinas patógenas, aun cuando los sentidos lo perciban limpio (Cabellos et al., 2000). Por ello, el método de sedimentación en placa Petri, ha sido el más utilizado para la evaluación de la calidad microbiológica del aire. Silva, (2018, p. 43) cita a De la Rosa (2002) cuando expresa que “consiste en la exposición de placas de Petri al ambiente durante un cierto tiempo. Las placas con medio de cultivo estéril, permanecen abiertas durante determinados periodos de tiempo, permitiendo la sedimentación de los microorganismos. Este método es sencillo y económico”.

Investigaciones similares revelan fallas en la calidad del aire de los establecimientos evaluados. Así mismo, el trabajo de Rodríguez - Caturra, et al. (2012) demuestran que los centros escolares de Andalucía presentan deficiencias relacionadas con la calidad ambiental de los comedores. También, Almeida et al. (2014) en su investigación descubren fallas en los procedimientos de higiene y del ambiente. Por esto plantean estrategias para el cumplimiento de las normas higiénico-sanitarias.

Por su parte, Rodríguez, M. et al. (2011) en su investigación señalan que los resultados alcanzados son utilizados en el planteamiento de medidas correctivas que conducen al fortalecimiento de la adecuada higiene y manipulación de los alimentos ofrecidos en centros geriátricos de Andalucía. Así mismo, Kubera, *et al.*, (2015) en su trabajo manifiestan que la contaminación microbiológica del aire por parte de las bacterias patógenas es un fenómeno creciente que tiene un impacto en la calidad de la salud. Del mismo modo, Rodríguez, M. et al. (2011) en su trabajo revelan que los resultados obtenidos de la evaluación del nivel de contaminación del ambiente de las zonas de procesado en los hospitales del sur de España ayudan en el establecimiento de medidas correctivas.

En Colombia, el INS manifiesta que en los casos relacionados con brotes presentados en establecimientos educativos, los principales factores de riesgo hallados son el suministro de agua no potable y las precarias prácticas en higiene y manipulación de los alimentos; las medidas

correctivas implementadas han permitido la cualificación de los manipuladores, con relación al adecuado procesamiento y servido, limpieza y desinfección de equipos y utensilios de trabajo; controles para disminuir la presencia de toxinas patógenas e impedir la contaminación de los alimentos (INS, 2015).

Habría que decir también que la actual investigación radica en los problemas higiénico-sanitarios que se manifiestan en algunos servicios de alimentación, brindados en instituciones infantiles de la ciudad de Barranquilla - Colombia. Agregando a lo anterior, los alimentos no alcanzan a llegar a la población infantil en condiciones óptimas para el consumo y, por tanto, pueden provocar enfermedades de transmisión alimentaria. Así mismo, algunos servicios de alimentación no acatan las mínimas normas de higiene, desde la recepción hasta el suministro final de los alimentos; se presentan fallas en el cumplimiento de los planes de saneamiento, hay presencia de moscas, cucarachas y roedores en las áreas de despensa, procesado y comedor. Por tanto, la ausencia de controles que minimicen el riesgo de contaminación en los alimentos, conlleva al deterioro de la salud de los infantes.

Cabe señalar, a la población barranquillera le favorece contar con servicios de alimentación de instituciones infantiles donde se apliquen adecuadas prácticas de higiene en la manipulación y se procesen con calidad e inocuidad los alimentos, puesto que hallar comidas sanas y en óptimas condiciones garantiza la seguridad alimentaria. Además, esta investigación brinda los elementos necesarios que identifican las características higiénicas de las áreas de despensa, proceso y comedor, que pueden ocasionar peligro en las comidas de los niños y niñas. Así mismo, los resultados de este estudio enriquecen los datos sobre los microorganismos patógenos de transmisión alimentaria en los países en vía de desarrollo. Es oportuno aclarar que el objetivo de esta investigación es evaluar la calidad microbiológica del aire en servicios de alimentación de instituciones infantiles en Barranquilla - Colombia, utilizando los microorganismos aerobios mesófilos, y moho y levaduras como indicadores de higiene.

28

2. Metodología

Se analizaron tres zonas que, por la actividad realizada, son consideradas susceptibles a la contaminación (despensa, procesado o cocina y comedores) en cada servicio de alimentación. El muestreo se realizó después de la limpieza y desinfección de las instalaciones y antes de la preparación de los alimentos, en los 30 servicios de alimentación. Se obtuvo un total de 90 muestras (18 muestras en

los seis Centros de Desarrollo Infantil, 39 muestras en los 13 Hogares Infantiles de Suroccidente, 21 muestras en los siete Hogares Infantiles de Suroriente y 12 muestras en los cuatro Hogares Infantiles Norte - Centro histórico). Se analizaron dos indicadores microbiológicos para la calidad microbiológica del aire, sean estos aerobios mesófilos, y moho y levaduras, empleando el método de sedimentación en placa Petri con Plate Count Agar y Yeast Extract Glucose Chloramphenicol Agar (YGC Agar) respectivamente, produciendo así un total de 180 datos a analizar.

Adicionalmente, el método para determinar la presencia de microorganismos indicadores de calidad del aire utilizado en esta investigación es el de sedimentación en placa Petri. Esta técnica consiste en exponer al ambiente las placas de Petri que contiene los medios sólidos y estériles de Plate Count Agar para recuento de aerobios mesófilos y Yeast Extract Glucose Chloramphenicol Agar (YGC agar) para recuento de moho y levaduras en un período de 15 minutos en las zonas de despensa, procesado y comedores. Pasado este tiempo, se incuban las placas de 3 a 5 días a las temperaturas entre 30 y 35°C, cuyo resultado indica el conteo de colonias expresado como Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por placa por tiempo de exposición. Así mismo, los límites microbiológicos o valores permisibles para aerobios mesófilos (UFC/15min) no debe exceder a 15 colonias por placa durante 15 minutos de exposición (FDA, 2001). Para los mohos y levaduras (UFC/15min) no deben ser más de 15 colonias en una placa durante una exposición de 15 min (Code of Federal Regulations, 1991).

29

En cuanto a la metodología estadística, se diseñó un experimento en bloques al azar con tres (3) tratamientos (zonas de despensa, proceso y comedor) y 30 bloques o repeticiones (servicios de alimentación de las instituciones infantiles). Para el tratamiento de los datos fue necesario un análisis de varianza y prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, procesados mediante el programa SAS 9.1.

3. Resultados

El análisis de varianza indica que hay un efecto significativo ($p < 0,05$) de las zonas potencialmente contaminadas y de los servicios de alimentación sobre la cantidad de aerobios mesófilos, y de mohos y levaduras. La prueba de media muestra que las zonas de comedor y proceso son estadísticamente iguales en cuanto a la cantidad de aerobios mesófilos, y superiores en zona de despensa que contiene la menor cantidad (figura 1). La cifra de mohos y levaduras fue superior en la zona

de comedor y estadísticamente diferente a la zona de despensa, la zona de procesado mostró una cantidad igual a las otras zonas (figura 2).

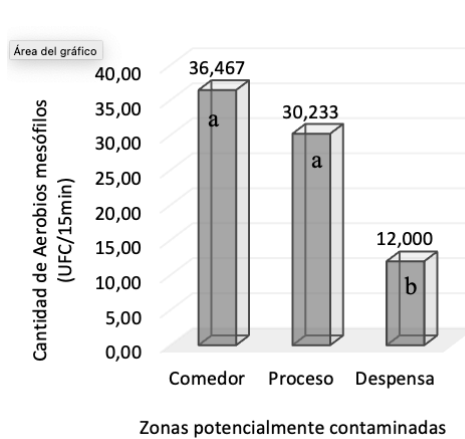


Figura 1. Cantidad de aerobios mesófilos presentes en zonas potencialmente contaminadas

Fuente: el autor

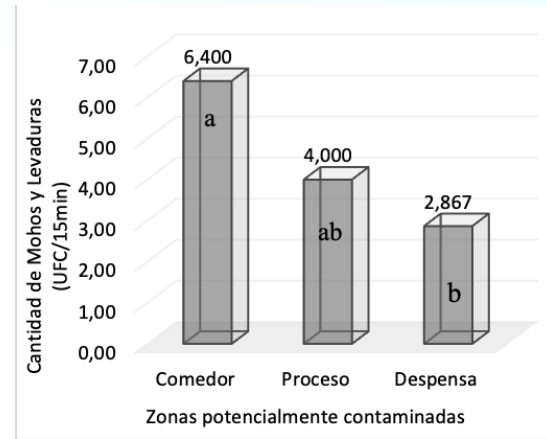


Figura 2. Cantidad de mohos y levaduras presentes en zonas potencialmente contaminadas

Fuente: el autor

La mayor cantidad de aerobios mesófilos en aire se encontró en el hogar infantil de sur-occidente 15 quien fue estadísticamente igual al hogar infantil de sur-occidente 8 y este, a su vez, igual al Hogar infantil de sur-oriente 26, CDI 4, CDI 3, Hogar infantil de sur-occidente 13, Hogar infantil de sur-occidente 12, Hogar infantil de sur-occidente 19, Hogar infantil de sur-occidente 9, Hogar infantil de sur-occidente 14, Hogar infantil de sur-occidente 7, Hogar infantil de sur-occidente 16, CDI 5 y Hogar infantil de sur-oriente 22; el resto de hogares considerados mostraron las menores cantidades de aerobios mesófilos en aire y fueron iguales entre sí (Tabla 1). Estos resultados reflejan insuficientes procedimientos de higiene y desinfección, lo que favorece la multiplicación microbiana. Por lo tanto, se debe aplicar medidas higiénicas en las zonas de despensa, proceso y comedor en estas instituciones infantiles.

Tabla 1. Prueba de medias (Tukey) para la cantidad de aerobios mesófilos en los diferentes servicios de alimentación

Servicios de alimentación	Logaritmo	
Hogar Infantil de sur-occidente 15	143,67	a
Hogar Infantil de sur-occidente 8	106,33	ab
Hogar Infantil de sur-oriente 26	51,67	bc
Centro de Desarrollo Infantil - CDI 4	51,67	bc
Centro de Desarrollo Infantil - CDI 3	48,00	bc
Hogar Infantil de sur-occidente 13	39,00	bc
Hogar Infantil de sur-occidente 12	30,33	bc
Hogar Infantil de sur-occidente 19	27,67	bc
Hogar Infantil de sur-occidente 9	24,67	bc
Hogar Infantil de sur-occidente 14	23,33	bc
Hogar Infantil de sur-occidente 7	22,33	bc
Hogar Infantil de sur-occidente 16	20,33	bc
Centro de Desarrollo Infantil - CDI 5	20,00	bc
Hogar Infantil de sur-oriente 22	19,33	bc
Hogar Infantil de sur-occidente 17	15,67	c
Centro de Desarrollo Infantil - CDI 1	15,33	c
Hogar Infantil norte centro histórico 28	15,00	c
Hogar Infantil de sur-occidente 18	14,33	c
Hogar Infantil de sur-oriente 21	12,33	c
Hogar Infantil de sur-oriente 25	11,67	c
Hogar Infantil norte centro histórico 30	10,67	c
Hogar Infantil de sur-occidente 11	9,33	c
Centro de Desarrollo Infantil - CDI 2	9,00	c
Hogar Infantil de sur-occidente 10	8,67	c
Hogar Infantil de sur-oriente 24	7,33	c
Centro de Desarrollo Infantil - CDI 6	7,33	c

Hogar Infantil de sur-oriente 20	6,00	c
Hogar Infantil norte centro histórico 27	5,67	c
Hogar Infantil norte centro histórico 29	5,33	c
Hogar Infantil de sur-oriente 23	5,00	c

En cuanto a mohos y levaduras en aire, la mayor cantidad se encontró en los Hogares infantiles de sur-occidente 15 y 8, quienes resultaron diferentes a los Hogares infantiles de sur-occidente 16, Hogar Infantil norte centro histórico 27 y 29. A su vez, igual al resto de hogares considerados mostraron las menores cantidades de mohos y levaduras en aire y fueron iguales entre sí (Tabla 2). Estos resultados reflejan una limpieza y desinfección deficiente en algunos servicios de alimentación, lo que favorece el crecimiento de microorganismos. Por lo tanto, se debe aplicar medidas higiénicas en estas instituciones infantiles.

Tabla 2. Prueba de medias (Tukey) para la cantidad de mohos y levaduras en los diferentes servicios de alimentación

Servicios de alimentación	Medias		
	UFC	Logaritmo	
Hogar Infantil de sur-occidente 15	14,6667	2,4241	A
Hogar Infantil de sur-occidente 8	14,0000	2,3849	A
Hogar Infantil de sur-oriente 26	8,6667	2,2445	ab
Centro de Desarrollo Infantil - CDI 3	14,3333	2,2022	ab
Hogar Infantil de sur-oriente 25	7,6667	2,1033	abc
Hogar Infantil de sur-oriente 24	7,3333	1,8536	abc
Hogar Infantil de sur-occidente 13	5,3333	1,8269	abc
Centro de Desarrollo Infantil – CDI 2	5,3333	1,8054	abc
Hogar Infantil de sur-occidente 9	5,0000	1,7824	abc
Hogar Infantil de sur-oriente 21	6,0000	1,7577	abc
Hogar Infantil de sur-occidente 12	6,3333	1,5417	abc
Hogar Infantil de sur-occidente 18	4,0000	1,4607	abc
Hogar Infantil norte centro histórico 30	3,3333	1,4392	abc
Hogar Infantil norte centro histórico 28	3,6667	1,3863	abc

Hogar Infantil de sur-orienté 20	2,6667	1,2904	abc
Centro de Desarrollo Infantil – CDI 5	4,3333	1,2614	abc
Hogar Infantil de sur-occidente 11	2,6667	1,2296	abc
Hogar Infantil de sur-occidente 7	2,6667	1,1107	abc
Hogar Infantil de sur-orienté 23	2,0000	1,0594	abc
Centro de Desarrollo Infantil – CDI 4	2,0000	0,9242	abc
Hogar Infantil de sur-orienté 22	1,6667	0,9242	abc
Hogar Infantil de sur-occidente 10	2,0000	0,9027	abc
Centro de Desarrollo Infantil – CDI 1	2,0000	0,8283	abc
Hogar Infantil de sur-occidente 19	1,6667	0,8283	abc
Hogar Infantil de sur-occidente 17	1,3333	0,6932	abc
Centro de Desarrollo Infantil – CDI 6	0,6667	0,4621	abc
Hogar Infantil de sur-occidente 14	0,6667	0,4621	abc
Hogar Infantil de sur-occidente 16	0,3333	0,2311	bc
Hogar Infantil norte centro histórico 27	0,3333	0,2311	bc
Hogar Infantil norte centro histórico 29	0,0000	0,0000	c

Con respecto al porcentaje de muestras que superan los límites microbiológicos para aerobios mesófilos en las zonas despensa, proceso y comedor en los servicios de alimentación de los CDI, es de un 33,3%, en los hogares infantiles de sur-occidente es de un 64,1%, en los hogares infantiles de sur-orienté es de un 33,3%, en los hogares infantiles de norte centro histórico es de un 16,7% del total de las muestras analizadas. Por otra parte, el porcentaje de muestras que superan los límites microbiológicos para mohos y levaduras en las zonas despensa, proceso y comedor de los servicios de alimentación de los CDI es de un 5,5%, en los hogares infantiles de sur-occidente es de un 10,3% del total de las muestras analizadas. En los hogares infantiles de sur-orienté y hogares infantiles norte centro histórico los resultados estuvieron de acuerdo a los límites microbiológicos o valores permisibles propuestos.

4. Discusión

Los resultados obtenidos de microorganismos aerobios mesófilos y de mohos y levaduras presente en las zonas de despensa, proceso y comedor evaluadas en los servicios de alimentación, superan el límite máximo permitido de aerobios mesófilos en algunos centros de desarrollo infantiles,

hogares infantiles de sur-occidente, sur-orienté y norte centro histórico. Además, se encontró la presencia de mohos y levaduras en algunos servicios de alimentación de centros de desarrollo infantiles y de hogares infantiles de sur-occidente, superando los límites microbiológicos permitidos. Estos resultados reflejan insuficientes procedimientos de higiene y desinfección, lo que favorece la multiplicación microbiana. Por otra parte, los resultados del recuento de mohos y levaduras hallados en las zonas de despensa, proceso y comedor de los hogares infantiles del sur-orienté y norte centro histórico estuvieron de acuerdo a los límites microbiológicos o valores permisibles propuestos por el Code of Federal Regulations (1991). Estos resultados revelan que las buenas prácticas de manufacturas y los planes de saneamiento básico se ejecutan con mínimo control para todas estas zonas, lo que favorece el crecimiento de microorganismos patógenos en algunos servicios de alimentación.

Algo semejante sucede con la investigación llevada a cabo por Rodríguez-Caturla et al. (2012) donde expone que la mayoría de las muestras de aire analizadas en todas las zonas de procesado superaron 300 UFC/m³, clasificadas como deficientes. Las muestras tomadas del área de fregaderos, fueron también deficientes por contar con la presencia de aerobios mesófilos.

De igual manera, la investigación realizada por Lara y Torres (2015) da a conocer en sus resultados que los microorganismos hallados en las muestras de aire tomadas en los jardines se consideran en su mayoría patógenos oportunistas, capaces de generar infecciones respiratorias y enfermedades diarreicas. En este mismo estudio, se debe señalar que entre los hongos en el aire encontrados se destacan *Aspergillus fumigatus* y *Aspergillus niger* con 687 UFC/m³ y 348 UFC/m³ respectivamente; representando un riesgo latente para la salud de los infantes (p. 99).

Del mismo modo, Almeida et al., (2014) en sus resultados mostraron que las instituciones en su gran mayoría están expuestas a la contaminación cruzada y presentan limitaciones en los principios básicos y prácticos generales de higiene en la manipulación de los alimentos y del medio ambiente. Las fallas relacionadas con ambos factores aumentan potencialmente el riesgo de brotes en este entorno. Los puntajes utilizados permitieron la clasificación de los servicios de comidas escolares y la identificación de los puntos que necesitan más atención. Por otra parte, Rodríguez, M. et al. (2011) en su trabajo muestran que los aerobios mesófilos quedaron por debajo de 300 UFC/m³ en las áreas estudiadas de los centros geriátricos de Andalucía. Sin embargo, estuvieron levemente altos en las áreas de los fregaderos.

Así mismo, Kubera, et al., (2015) revelan en sus resultados que el número total de bacterias heterotróficas en el aire de las guarderías analizadas superaba los límites permitidos. No hubo con-

taminación del aire con infección por hongos. Por otro lado, Rodríguez, M. *et al.* (2011) manifiestan que más del 20% de las muestras analizadas se catalogaron como deficientes (>300 UFC/m³) y el 73,33% como intermedias. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los recuentos del área de las cocinas, alcanzando valores de $374,67 \pm 165,72$ UFC/m³.

5. Conclusiones

Se detectó aerobios mesófilos, mohos y levaduras en las zonas de despensa, proceso y comedor en algunos servicios de alimentación. Estos resultados reflejan una limpieza y desinfección deficiente, lo que favorece el crecimiento de microorganismos. Por lo tanto, es necesario la implementación de un plan de saneamiento básico, aplicar medidas higiénicas en los servicios de alimentación y promover la formación en educación sanitaria, que protejan la salud de la población infantil en estas instituciones.

6. Agradecimiento

Los autores agradecen a las instituciones infantiles del que hicieron parte de esta investigación, por el apoyo brindado y por haber permitido la aplicación de los diferentes instrumentos de recolección de datos en los servicios de alimentación.

35

7. Referencias

- Almeida A., da Cunha, D., Stedefeldt E., Capalonga R., Tondo E. y Itapema M. (2014). *Higiene y buenas prácticas en los servicios de comedor escolar: materia orgánica en superficies, microorganismos y riesgos para la salud*. Revista Food Control. Vol. 40. (120-126). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095671351300618X>
- Canaza L. (2021). *Determinación de la calidad microbiológica de jugo de naranja (citrus sinensis l.), de los puestos de venta ambulatoria en los mercados de la plataforma Andrés Avelino Cáceres, Arequipa, 2019*. [Tesis de Biología, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/64c5d045-a720-436d-9f22-fceb63ffe65a/content>
- Cabellos P., García M., Martínez M. y García. A. (2000). Manual de aplicación del sistema APPCC en el sector de la restauración colectiva en Castilla-la mancha. http://ics.jccm.es/uploads/media/Manual_de_aplicacion_del_sistema_de_APPCC_en_el_sector_de_la_restauracion_colectiva_en_Castilla-La_Mancha..pdf

- Ferro M. (15/01/2020). *Perito en elaboración y comercialización de pan*. https://books.google.com.co/books?id=AyfkDwAAQBAJ&dq=es+necesario+la+toma+de+muestras+de+las+superficies+en+contacto+con+los+alimentos+y+del+ambiente+para+confirmar+aquello+que+los+sentidos+perciben+como+limpio&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Food and Drug Administration - FDA (2001). *Bacteriological Analytical Manual – BAM: Aerobic Plate Count. Bacteriological Analytical Manual. Chapter 3*. <https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm063346.htm>
- Instituto Nacional de Salud – INS. (25 de junio de 2014). *Informe final del evento enfermedades transmitidas por alimentos, Colombia, 2015*. <http://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/ETA%202015.pdf>
- Instituto Nacional de Salud – INS. (4 de abril de 2018). *Informe de evento enfermedades transmitidas por alimentos, Colombia, 2017*. <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/ETA%202017.pdf>
- Instituto Nacional de Salud – INS. *Boletín Epidemiológico Semanal – BES*. (29 de diciembre de 2018). <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/BoletinEpidemiologico/2018%20Bolet%C3%ADn%20epidemiol%C3%B3gico%20semana%2052.pdf>
- Kubera Ł., Studzińska J., Dokładna W., Małecka-Adamowicz, M., y Donderski W. (2015). Microbiological air quality in some kindergartens and antibiotic resistance of bacteria of the *Staphylococcus spp.* *Revista Medycyna Pracy*. Vol. 66. Número 1, P. 49-56. <https://doi.org/10.13075/mp.5893.00162>
- Lara H. y Torres V. (2015). *Caracterización microbiológica del material particulado intramural y del agua de consumo en jardines de la Secretaría de Integración Social en la Localidad de Usme*. [Tesis de Ingeniería ambiental, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2956/2015haroldlara.pdf?sequence=4>
- Michanie S. (2014). *Apuntes de laboratorio. Monitoreo de la higiene de superficies*. Vol. II. Laboratorios Britania S.A. P. 9, 16. www.laensenadacorp.com/documentos/ApunteII-MONITOREO-DEHIGIENE.pdf
- Office of the Federal Register National Archives and Records Administration - OFR. *Code of Federal Regulations*. 1991. United States of America. Agriculture Title 7. Part 53 to 209. <https://books.google.com.co/books?id=ogQ5AAAAIAAJ&pg=PA194&dq=molds+and+yeasts+in+air+for+15+minutes+usa&hl=es&sa=X&ved=oahUKEwIu4tmm48jWAhXIoiYKHUETC-QUQ6AEIMjAC#v=onepage&q=Colonies&f=false>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación/Organización mundial de la salud – FAO/OMS (2005). *Codex Alimentarius. Higiene de los alimentos. Textos básicos. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias*. 3ra ED. <https://books.google.com.co/>

books?id=mwU3si21bsYC&pg=PA5&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q=SUFICIENTE%20AGUA%20POTABLE&f=false

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. (6 de junio de 2019). *La inocuidad de los alimentos es responsabilidad de todos*. <https://www.fao.org/news/story/es/item/1197051/icode/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. (2023) *Inocuidad y calidad de los alimentos. Sistemas de control alimentario*. <https://www.fao.org/food-safety/food-control-systems/es/>

Organización Mundial de la Salud – OMS (3 de diciembre de 2015). *Informe de la OMS señala que los niños menores de 5 años representan casi un tercio de las muertes por enfermedades de transmisión alimentaria*. Centro de prensa. Ginebra, Suiza. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/foodborne-disease-estimates/es/>

Organización Mundial de la Salud. (30 de abril de 2020). *Inocuidad de los alimentos*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>

Rodríguez-Caturla, M., Valero A., Carrasco E., Posada G., García-Gimeno R. y Zurera G. (2012). *Evaluación de prácticas higiénicas y estado microbiológico de ensaladas vegetales listas para el consumo en comedores escolares españoles*. Revista Science of Food and Agriculture. Vol. 92. No. 11. (2332-2340). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/jsfa.5634>

Romero C., Castañeda D. y Acosta, G. (2016). *Determinación de la calidad bacteriológica del aire en un laboratorio de microbiología en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Bogotá, Colombia*. Revista NOVA. Vol. 13. no. 26. (129-137). <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v14n26/v14n26a12.pdf>

Silva J. (2018). *Determinación de la calidad microbiológica en los ambientes de los laboratorios de la Universidad de Santander campus Cúcuta en el año 2018*. [Tesis de Bacterióloga y Laboratorista Clínico, Universidad de Santander]. <https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/fo493670-0c1a-42c0-9a9f-ef1872f2e453/content>

Tamburo A., Tabera A., y González J. (2021). *Diagnóstico higiénico-sanitario y microbiológico en comedores escolares de la región de Tandil*. [Tesis de Licenciatura en Tecnología de los Alimentos, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires]. <https://ridaa.unicen.edu.ar:8443/server/api/core/bitstreams/f36f5740-122c-4884-9066-54480ae9f717/content>

Recibido 25-08-23 Aceptado 27-10-23

Evaluación por expertos de las competencias laborales del programa de Especialización en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico en Bogotá

Expert evaluation of the labor competencies of the Specialization Program in Respiratory Therapy in Critical Care in Bogotá.

Luz Adriana Ausique Pedroza ¹
Diana Carolina Zona Rubio ²

Cómo citar:

Ausique, L. & Zona, D. (2024). Evaluación por expertos de las competencias laborales del programa de Especialización en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico en Bogotá. *Vía Innova*, 11 (1), 38-52.
<https://doi.org/10.23850/2422068X.5834>

¹ Magister en Administración Educativa, Universidad Manuela Beltrán, luz.ausique@umb.edu.co

² Diana Carolina Zona Rubio, Magister en Ciencias- Farmacología, Universidad Manuela Beltrán Docente investigador, diana.zona@docentes.umb.edu.co

RESUMEN

El posgrado en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico es una especialización del área de la salud con enfoque humanístico y científico cuyo objetivo es formar al estudiante en valoración, tratamiento y rehabilitación de los pacientes en estado crítico que presenten alteraciones a nivel cardiopulmonar primaria o secundaria a una falla multiorgánica. El objetivo de este proyecto fue: Evaluar las competencias laborales desarrolladas en la especialización con la opinión de expertos en el área de cuidado crítico, para lo cual se utilizó un diseño descriptivo, transversal con enfoque analítico, en donde se definieron categorías de evaluación de la pertinencia, relevancia y suficiencia, utilizando una escala tipo Likert. Se seleccionaron 10 expertos en cuidado intensivo para que evaluaran cada competencia. Posteriormente, se realizó un análisis estadístico que permitiera evidenciar el acuerdo entre los expertos. Dentro de los resultados se puede evidenciar que entre el 80 y 90% de los expertos calificaron las competencias entre los niveles moderado y alto. Lo anterior respalda la calidad en la educación ofrecida a los estudiantes de la especialización y cómo esta cumple con las necesidades de las Instituciones Prestadoras de Servicios y del país.

39

Palabras clave: competencias laborales, competencias educativas, cuidado intensivo, cuidado crítico, educación posgradual.

Abstract

The Specialization in Respiratory Therapy in Critical Care is defined as a postgraduate degree in the health area with scientific and humanistic training; that tends for the formation of the student in the evaluation, treatment and rehabilitation of the patients in critical condition, with cardio-respiratory alteration of base or secondary to multisystemic damage. Therefore, the objective of this project was: To evaluate with experts the labor competencies of the specialization program in respiratory therapy in critical care in Bogotá. For which a descriptive, cross-sectional design with an analytical approach was used, where categories of evaluation of relevance, relevance and sufficiency were defined, using a Likert-type scale, 10 experts in Intensive Care were selected to evaluate each competence. Subsequently, a statistical analysis was carried out to show the agreement between the experts. Within the results, it can be seen that between 90 and 80% of the experts rated the competencies between the moderate and high levels. The foregoing supports the quality of education offered to students of the specialization and how it meets the needs of the service-providing institutions and the country.

40

Keywords: labor competencies, educational competencies, intensive care, critical care, postgraduate education.

1. Introducción

El posgrado en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico es una especialización del área de la salud con enfoque humanístico y científico cuyo objetivo es formar al estudiante en valoración, tratamiento y rehabilitación de los pacientes en estado crítico que presenten alteraciones a nivel cardiopulmonar primaria o secundaria a una falla multiorgánica. La capacitación de los Terapeutas Respiratorios en Cuidado Intensivo permite un entrenamiento y profundización en los principios y práctica que varían desde la anatomía, la fisiología, la apreciación especial por la vida humana, hasta la completa perspectiva de la sociedad moderna.

Se entiende el Cuidado del Paciente Crítico como un escenario en el que, a través del conocimiento, se adquieren habilidades a lo largo de la formación. Pero además de estos conocimientos específicos los profesionales deben formarse en disciplinas como la bioética y la administración (Marshall et al., 1995).

Desde la aparición de las Unidades de Cuidado Intensivo (UCI) hasta el momento, la atención a los pacientes en estado crítico ha mejorado de manera importante, disminuyendo la mortalidad gracias a la intervención de profesionales formados específicamente en esta área, como por ejemplo, pacientes que son sometidos a cirugías de mayor complejidad y que seguramente requieren ingreso a las unidades y que en muchos de los casos presentan complicaciones como el Síndrome de Respuesta Inflamatoria Sistémica, Síndrome de Dificultad Respiratoria Aguda (SDRA), o una falla multiorgánica, esta **última** se constituye en la causa principal de muerte en Cuidado Crítico y que requiere estancias más largas en esta área crítica (Hunt & Meyer, 1997; Marshall et al., 1995).

La Universidad Manuela Beltrán (UMB) propuso desde el año 2008 el posgrado en Cuidado Crítico, programa que fomenta el desarrollo de competencias en el área de cuidado crítico y ha dirigido su atención desde el campo teórico, práctico e investigativo a los tres grupos poblacionales principales: neonatos, pediátricos y adultos, no a un grupo en particular (AMCI, 2021).

Este programa se ha destacado a nivel nacional no solo por la propuesta académica, planta docente, horarios, infraestructura, entre otras, sino por los escenarios de práctica con los que cuenta, en los cuales a través de los convenios docente - asistenciales que ha suscrito la UMB con instituciones de tercer nivel de la ciudad de Bogotá, se logra la adquisición de herramientas conceptuales que facilitan la interacción del especialista en formación con los escenarios de alta complejidad que, sin duda, son clave para el desarrollo integral en el marco del trabajo interdisciplinario en las Unidades de Cuidado Intensivo (AMCI, 2021).

El especialista en Terapia Respiratoria adquiere formación necesaria para desempeñarse en el área asistencial, favoreciendo el cuidado cardiorrespiratorio dentro de las centrales de urgencias, sala de emergencia y unidades de cuidado intensivo en todos los grupos de edad (AMCI, 2021).

A pesar de tener definidas las competencias genéricas como son la integridad, la ética y la responsabilidad, así como las específicas en el área disciplinar, se ve la necesidad de hacer una evaluación de las mismas frente a las competencias actuales a nivel laboral en Colombia. En los últimos años y después de atravesar una pandemia, cada vez es más necesario que los profesionales en áreas como las de cuidado crítico sean más competentes en cuanto a toma de decisiones, argumentación y resolución de situaciones a las que se puedan ver enfrentados, y esto implica una profunda evaluación de qué es lo que necesita un especialista en cuidado crítico para su desempeño dentro de un equipo interdisciplinario y que a su vez, le dé una proyección más amplia desde y hacia su quehacer profesional y como especialista.

La evaluación que se pretende hacer con este trabajo de investigación, utilizará como instrumento una encuesta, la cual se aplicará a un grupo de expertos en cuidado crítico. Esta tendrá como fin aportar información para la posterior modificación de dichas competencias de los especialistas de terapia respiratoria en cuidado crítico egresados de la Universidad Manuela Beltrán (Díaz Barriga, A, 2006).

42

La Medicina Crítica (MC) o Medicina Intensiva (MI) se define como aquella área de la medicina, que se ocupa de los pacientes con una patología que haya alcanzado un nivel de severidad tal que suponga un peligro vital, actual o potencial que es susceptible de recuperabilidad. El concepto actual de terapéutica intensiva o terapia intensiva, comprende la aplicación sistemática de las múltiples posibilidades terapéuticas modernas que se utilizan en situaciones de peligro para la vida, lo que supone la sustitución temporal de las funciones orgánicas alteradas o suprimidas, sin abandonar por ello el tratamiento de la enfermedad de base, que ha dado lugar a estos trastornos y teniéndose en cuenta que tales medidas y al final de la terapéutica, proporcionarán una buena calidad de vida para el futuro (Torrallardona, 1989).

La medicina crítica nació en la década de los años 1950 como consecuencia de la necesidad de prestar soporte ventilatorio a las personas afectadas por una epidemia de poliomielitis en algunos países europeos y en Estados Unidos. Desde esa época hasta hoy, la medicina crítica ha tenido un desarrollo vertiginoso en el cual van unidos la excelente atención personalizada a los pacientes, los profundos conocimientos de la fisiopatología del paciente en estado crítico, los

avances deslumbrantes de la tecnología, de la biología molecular, de la monitorización, manejo y tratamiento, de la ética y, en fin, de todo aquello que hace apasionante el cuidado del paciente crítico. América Latina no ha sido ajena a este desarrollo, las primeras unidades de cuidado intensivo fueron fundadas a finales de la década de 1960 y comienzos de los años 1970 (Torrallardona, 1989).

La primera Unidad de Cuidado Intensivo que se abrió en Bogotá se inauguró el 8 de abril de 1969, donde se inicia la atención a pacientes críticos en el Hospital San Juan de Dios con la colaboración de la Organización Panamericana de la Salud y la Universidad Nacional de Colombia, siendo considerada esta fecha por la Junta Directiva de la Asociación Colombiana de Medicina Crítica y Cuidado Intensivo, como el Día Nacional del Cuidado Intensivo, celebrando la apertura de la primera UCI en Colombia. Ya más tarde, en los años setenta, surgen otras UCI en el Hospital Militar Central, Hospital San Ignacio, Hospital de los Seguros Sociales, también se abre UCI en el Hospital San José, en la Clínica Shaio y en el resto del país en ciudades como Barranquilla y Medellín. (AMCI, 2021).

Aunque en los últimos años se ha observado un incremento en la atención especializada en cuidado intensivo, también se observa el aumento de unidades de cuidado intensivo: 210 UCIS en el 2009, con un promedio de camas de 11 +/-5, siendo aún imposible tener una cobertura especializada en todas las instituciones que cuentan con UCI (AMCI, 2021).

43

Hoy, se puede asegurar que todos los países de Latinoamérica poseen unidades de cuidado intensivo manejadas por equipos interdisciplinarios conformados por intensivistas, enfermeros, terapeutas, nutricionistas, psicólogos, entre otros profesionales que buscan estar cada vez mejor formados en esta especialidad en particular, siendo las unidades de cuidado intensivo los escenarios clínicos que están dotados con tecnología suficiente para brindar un adecuado manejo a los pacientes que lo requieran (E. C. Rodríguez & Rubiano, 2007).

Como es difícil conseguir los recursos para disminuir la brecha, se han hecho una serie de trabajos tanto a nivel gubernamental como de las sociedades de cuidado intensivo, para optimizar el recurso existente. Como estrategias, se han creado guías para redireccionar a los pacientes críticamente enfermos, creando más camas de cuidado intermedio, las cuales requieren menos recursos tanto humanos como físicos. Se han estratificado las unidades de terapia intensiva por niveles de complejidad de acuerdo con la región y la población, mejorando los sistemas de comunicación, telemedicina, traslado de pacientes, etc. Todo lo anterior, está encaminado a definir las necesidades reales de camas de cuidado intensivo en la región (Ministerio Protección Social, 2005).

La Organización Mundial de la Salud recomienda 4 - 4,75 camas por 1000 habitantes para hospitales de agudos en poblaciones de más de 100.000 habitantes; 3 - 4 camas por 1000 en poblaciones de 25.000 - 100.000 habitantes y 2,5 - 3 camas / 1000 habitantes en poblaciones de menos de 25.000 habitantes. En términos generales, una aproximación racional de la cantidad de camas hospitalarias y de cuidado crítico para la región podría ser de 2,5 a 3 camas / 1000 habitantes, y de éstas entre el 4 al 10% deben ser de cuidado intensivo (Salud, 2021).

De manera paralela al crecimiento de las unidades de cuidado intensivo en Latinoamérica y en Colombia, han surgido las sociedades de cuidado crítico, las cuales han tenido un papel preponderante en los avances de la especialidad en la región. En general, todas tienen dentro de sus objetivos el fortalecimiento del cuidado crítico por lo cual, mediante comités, desarrollan las estrategias para lograrlos. En el campo educativo en particular, las sociedades realizan diferentes eventos como congresos nacionales e internacionales, educación continuada, algunos incluso capacitación en línea; adicionalmente, se ejecutan consensos para realización y difusión de protocolos y guías de atención (Roca, J., Pérez, et al., 2007).

En los años ochenta, se crea la Sociedad Colombiana de Cuidado Intensivo, teniendo en cuenta tanto el crecimiento de las Unidades de Cuidado Intensivo como de profesionales en esta área crítica, la cual establece directrices y lineamientos del cuidado crítico pero manejadas con profesionales no especializados en esta rama, con formación en medicina interna o anestesia y profesionales cirujanos o médicos generales con algún tipo de entrenamiento en cuidado crítico (AMCI, 2021).

44

En los años noventa (1996) se crea la Asociación Colombiana de Medicina Crítica y Cuidado Intensivo (AMCI), una asociación científica gremial (AMCI, 2021).

En el año 1997 surge un estudio de las unidades de cuidado intensivo en Colombia, evaluando su recurso humano, concluyendo que había un déficit de Unidades de Cuidado Intensivo donde se evidenció que existían 87 de estas, un número bastante reducido en relación con la cantidad de camas en general, causando aumento de los costos. En el año 2004, la AMCI vuelve a evaluar en junto a la Academia Nacional de Medicina Colombiana una muestra de 109 Unidades de Cuidado Intensivo con un número de camas mayor y dotadas con lo básico, las cuales se dividieron en oficiales o privadas y en académicas y no académicas (AMCI, 2021).

Todo lo anteriormente mencionado dio las bases suficientes para proponer estrategias de formación de profesionales en medicina y otras áreas como paramédicos en el área de cuidado crítico médico y paramédico, por lo que la AMCI, apoyada en otras instituciones de educación superior, desarrollan programas de formación de especialistas en Medicina Crítica y Cuidados Intensivos dirigidos por médicos, así como también se desarrollaron programas dirigidos a profesionales de enfermería, terapeutas respiratorios y fisioterapeutas (AMCI, 2021).

Sumado a lo anterior, y debido a la alta demanda de unidades de cuidado intensivo que se ha evidenciado, se hace necesario que la formación que se brinde al recurso humano de las UCI sea de alta calidad y actualizada, razón por la cual es primordial que las universidades evalúen constantemente la formación de sus egresados.

Es por esto que el presente proyecto tuvo como objetivo evaluar las habilidades y competencias que van a desarrollar los especialistas del programa de la especialización en Cuidado Crítico teniendo en cuenta la opinión de expertos en esta área, con el fin de aportar información que posteriormente permita su actualización o modificación y de esta manera, garantizar una formación que responda a las necesidades del sistema de salud a nivel nacional.

Las competencias laborales en los programas de salud juegan un papel fundamental para los procesos de contratación. Por tal razón, se hace necesario que las instituciones de educación superior que ofertan dichos programas académicos estén en permanente proceso de autoevaluación y comparación con entes internacionales, generando construcción permanente de competencias que amplíen la visión de los profesionales y especialistas a nivel nacional e internacional por medio de los resultados de aprendizaje tal como lo promulga el Ministerio de Educación Nacional a través de su decreto 1330 del 2019.

De ahí que, el desempeño y evaluación de las competencias de dichos profesionales en el área de cuidado crítico sea sumamente importante, ya que estos se enfrentan a situaciones en donde la vida de las personas que se encuentran con alteraciones cardiovasculares y pulmonares está en riesgo. Además de esto, poniendo en contexto las funciones del especialista en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico resulta más visible la posición de la carrera, la ocupación y el medio donde se desempeña, generando una trazabilidad en el tiempo y en los mecanismos de evaluación de las Unidades de Cuidado Intensivo para que el personal sea más idóneo, garantizando una prestación

del servicio con altos estándares de calidad, siendo este el derrotero en las Instituciones Prestadoras de Salud. (Salas Zapata, W. A. (2005)

Debido a lo anterior: este estudio tuvo los siguientes objetivos:

Objetivo General

Revisar con la opinión de con expertos el desempeño laboral de los especialistas del posgrado en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico en Bogotá.

Objetivo Específicos

- Medir con expertos la relevancia de las competencias laborales del programa de posgrado en terapia respiratoria en cuidado crítico en Bogotá.
- Analizar con expertos la pertinencia de las competencias laborales del posgrado de Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico en Bogotá.
- Determinar con expertos la suficiencia de las competencias laborales del posgrado en Terapia Respiratoria de Cuidado Crítico en Bogotá.
- Comparar las competencias laborales del programa del posgrado en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico con el contexto nacional.

46

2. Metodología de la investigación

Investigación de tipo cuantitativo, de corte transversal, descriptivo con enfoque analítico. Tuvo como propósito analizar y evaluar las competencias laborales del posgrado en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico en el contexto nacional por medio de la opinión de expertos en el área de cuidado crítico

Este diseño permitió evaluar la relevancia, pertinencia y suficiencia de las competencias, y de esta manera aportar información que posteriormente permita proponer o modificar las mismas, con el fin de garantizar una educación posgradual de calidad que cumpla con las necesidades del sistema de salud.

Con el fin de garantizar la calidad y objetividad de la evaluación, el instrumento es aplicado a nueve expertos en el área de cuidado crítico, como intensivistas, terapeutas especialistas en cuidado crítico, coordinadores de servicios de cuidados intensivo y docentes con amplia experiencia en el tema.

Se seleccionaron los expertos que cumplían con los criterios mencionados, se les envió el link del instrumento en la herramienta de encuestas de Google, donde se explicó el contexto de forma clara, el objetivo de la investigación y el uso que tendrán los resultados; también se instruyó al experto en la calificación y diligenciamiento del formato de evaluación. Posteriormente se tabularon los resultados y se prepararon para el análisis estadístico.

Se utilizó el indicador escala tipo Likert que permitió calcular la puntuación mediante la asignación numeral del nivel de acuerdo o desacuerdo de los expertos.

Los siguientes aspectos se utilizan para evaluar las competencias, sus definiciones aplicadas a educación y su adaptación para este estudio:

- **Relevancia:** la competencia es fundamental para el desempeño del especialista en la Unidad de Cuidado Intensivo y garantiza una atención de alta calidad.
- **Pertinencia:** la competencia es congruente con las condiciones del sistema de salud a nivel nacional y atiende las necesidades que las Unidades de Cuidado Intensivo requieren del especialista.
- **Suficiencia:** la competencia cumple con los requisitos necesarios para desempeñarse con un alto nivel de calidad en la Unidad de Cuidado Intensivo.

47

3. Resultados

Dentro de los datos obtenidos se observó que la mayor población que respondió la entrevista fueron hombres con un total de 7, en comparación con las mujeres con un total de 3. También se pudo determinar que la población entre 45 a 55 años fue la que más respondió al instrumento utilizado con una frecuencia de cinco personas y un porcentaje de 50 y la que menos respondió al instrumento fue la población entre 55 a 65 años con una frecuencia de una persona y un porcentaje de 10. (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Género y edad de los expertos

Variable	Frecuencia	Porcentaje
Femenino	3	30%
Masculino	7	70%
Menor de 35 años	1	10%

35 a 45 años	3	30%
45 a 55 años	5	50%
55 a 65 años	1	10%

De la misma manera se pudo evidenciar que de las 10 personas que respondieron la entrevista, ocho tienen formación como magister o tienen especialidades médicas equivalente al 80%, mientras que una persona tiene especialización con un porcentaje de 10%, y una persona tiene doctorado con un porcentaje del 10%. (Ver Tabla 2)

Tabla 2. Nivel de educación

Variable	Frecuencia	Porcentaje
Especialización	1	10%
Maestría o especialidad médica	8	80%
Doctorado	1	10%

Por otra parte, sobre el tiempo de experiencia en el ámbito clínico, se evidencia que cuatro personas de las entrevistadas tienen de 15 a 20 años con un porcentaje del 40%, tres tienen de 10 a 15 años con un porcentaje del 30%, seguido de dos de las personas encuestadas que tienen de 20 a 25 años de experiencia con un porcentaje del 20% y por último, una persona respondió que tiene más de 25 años de experiencia con un porcentaje del 1%. (Ver Tabla 3)

Tabla 3. Años de experiencia

Variable	Frecuencia	Porcentaje
10 a 15 años	3	30%
15 a 20 años	4	40%
20 a 25 años	2	20%
Más de 25 años	1	10%

En cuanto a las preguntas que se realizaron a los expertos se puede observar que, sobre relevancia, pertinencia y suficiencia, la mayoría de ellos ubican sus respuestas en un nivel de cumplimiento alto. (Ver Tabla 4)

Tabla 4. Preguntas a expertos

Pregunta	Relevancia	Pertinencia	Suficiencia
Reconoce objeto de estudio	9	9	6
Identificación del especialista	7	6	6
Aplicación de herramientas	4	6	5
Aplicación de valores éticos	7	6	6
Evaluación de estrategias terapéuticas	8	5	6
Integración grupos interdisciplinarios	6	5	5

En cuanto a las competencias que deben tener los especialistas, el 30% de la población entrevistada opina que se debe tener integración de grupos interdisciplinarios conocimientos. El 20% destacó los procesos de rehabilitación y el 10% la sostenibilidad en los sistemas de salud, habilidades comunicativas en malas noticias, responder las necesidades de la sociedad y manejo de la ventilación mecánica como las competencias que según los expertos debe tener el especialista. (Ver Tabla 5)

49

Tabla 5. Competencias que deben tener los especialistas

Variable	Frecuencia	Porcentaje
Integración de conocimientos	3	30%
Rehabilitación	2	20%
Sostenibilidad de los sistemas de salud	1	10%
Habilidades comunicativas en malas noticias	1	10%
Responder a las necesidades de la sociedad	1	10%
Manejo de la ventilación mecánica	1	10%
No contesta	1	10%

Así mismo los resultados del cuarto objetivo del presente estudio muestran que las competencias de la especialización en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico de la universidad Manuela Beltrán cumplen y superan los objetivos y competencias ofrecidas por otras instituciones.

4. Conclusiones

- Mediante la opinión de un grupo de expertos se evaluaron las competencias laborales del posgrado en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico en Bogotá, en donde se logró una calificación entre los niveles alto y moderado para cada uno de estos.
- Los expertos determinaron que las competencias laborales del programa de especialización en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico en Bogotá eran relevantes, dado que son fundamentales para el desempeño del especialista en la Unidad de Cuidado Intensivo y garantiza una atención de alta calidad.
- Los expertos determinaron la pertinencia de las competencias laborales del posgrado en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico en Bogotá, siendo estas congruentes con las condiciones del sistema de salud a nivel nacional y que atienden las necesidades que las Unidades de Cuidado Intensivo requieren del especialista.
- Los expertos determinaron que la suficiencia de las competencias laborales del programa de posgrado en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico en Bogotá, cumplieron con los requisitos necesarios para desempeñarse con un alto nivel de calidad en la Unidad de Cuidado Intensivo.
- Se contrastaron las competencias laborales del programa de posgrado en Terapia Respiratoria en Cuidado Crítico con el contexto nacional, encontrándose que estas cumplen y superan las expectativas del medio.

50

5. Referencias

- AMCI, A. C. de M. C. y C. I. (2021), *Asociación Colombiana de Medicina Crítica y Cuidado Intensivo*.
- Analysis, K. I. I. S., Height, V., & Height, V. (2009). *Систематичний аналіз флори Волинської височини* PDF created with pdf Factory Pro trial version www.pdffactory.com PDF created with pdf-Factory Pro trial version www.pdffactory.com. 9(1), 131–138.

- Andres Pastrana Arango. (2001). Ley 715 de 2001. *Ministerio de Justicia*, 43for intensivist staffing. *Critical Care Medicine*, 32(1), 31–38.
- Buckley, J. D., Addrizzo-Harris, D. J., Clay, A. S., Curtis, J. R., Kotloff, R. M., Lorin, S. M., Murin, S., Sessler, C. N., Rogers, P. L., & Rosen, M. J. (2009). Multisociety task force recommendations of competencies in pulmonary and critical care medicine. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 180(4), 290–295.
- Díaz Barriga, A. (2006). El enfoque de competencias en la educación ¿una alternativa o un disfraz de cambio? *Perfiles Educativos*, 28(111), 7–36.
- Jiménez, Y., González, M., & Hernández, J. (2011). Propuesta de un modelo para la evaluación integral del proceso enseñanza-aprendizaje acorde con la Educación Basada en Competencias. *CPU-e, Revista de Investigación Educativa*, 13, 1–25.
- lung injury and the acute respiratory distress syndrome (s.f.). *New England Journal of Medicine*, 342(18), 1301–1308.
- Marshall, J. C., Cook, D. J., Christou, N. V, Bernard, G. R., Sprung, C. L., & Sibbald, W. J. (1995). Multiple organ dysfunction score: a reliable descriptor of a complex clinical outcome. *Critical Care Medicine*, 23(10), 1638–1652.
- Ministerio de Educación. (2019). Decreto 1330. *Ministerio De Educación*, 32.
- Ministerio de Protección Social (2005). *Política Nacional de Prestación de Servicios de Salud*
- National Heart and Blood Institute Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) Clinical Trials Network, L. (2006). Pulmonary-artery versus central venous catheter to guide treatment of acute lung injury. *New England Journal of Medicine*, 354(21), 2213–2224.
- Palomera, R., Fernández-Berrocal, P., & Brackett, M. A. (2017). La inteligencia emocional como una competencia básica en la formación inicial de los docentes: algunas evidencias. *Electronic Journal of Research in Education Psychology*, 6(15). <https://doi.org/10.25115/ejrep.v6i15.1292>
- Patel, S. B., & Kress, J. P. (2012). Sedation and analgesia in the mechanically ventilated patient. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 185(5), 486–497.
- Perdomo, I. V., & Martínez Calvo, S. (2010). Estrategia metodológica para evaluar competencias profesionales en especialistas de Higiene y Epidemiología. *Revista Cubana de Salud Pública*, 36, 142–147.
- Roca, J., Pérez, J. M., Colmenero, M., Muñoz, H., Alarcón, L., & Vázquez, G. (2007). Competencias profesionales para la atención al paciente crítico: Más allá de las especialidades. *Medicina Intensiva*, 31(9), 473–484.

- Salas Zapata, W. A. (2005). Formación por competencias en educación superior. Una aproximación conceptual a propósito del caso colombiano. *Revista Iberoamericana de Educación*, 36(9), 1–11. <https://doi.org/10.35362/rie3692765>
- Torrallardona, T. A. (1989). Aguilar-Bargallo X. Almirall-Pujol J. ET. AL. *Cuidados Intensivos*. (Tema Monográfico) *Jano* 1989, 26, 850: 647, 648.

Recibido 28-08-23 Aceptado 15-11-23

Factores internos y externos que influyen en la adopción de las TIC en las empresas del sector cultural¹: Caso Bolívar, Colombia

Internal And external factors influencing the adoption of ICTs in cultural sector companies: Bolivar, Colombia

Ledy Paola Armirola-Garcés²
María Teresa García-Nieto³

Cómo citar:

Aeminola-Garcés, L. y García-Nieto, M. (2024). Factores internos y externos que influyen en la adopción de las TIC en las empresas del sector cultural: Caso Bolívar, Colombia. *Vía Innova*, 11 (1), 53-72.

<https://doi.org/10.23850/2422068X.5837>

¹ El artículo contó con la financiación del programa “Bolívar Gana con Ciencia” a través de la Fundación CEIBA y la línea de Ciencia, Tecnología e Innovación en Cultura. Y también forma parte de los productos del proyecto de innovación docente: Universidad y Sociedad: Comunicación e Integración en Instituciones Públicas y Organizaciones no Lucrativas. Número de Referencia 254. UCM.

² Doctora en Comunicación Audiovisual, Publicidad y Relaciones Públicas (UCM). Investigadora del grupo Comunicación, educación y cultura de la Universidad de Cartagena. ledyarmi@ucm.es

³ Doctora en Ciencias de la Información. Profesora titular UCM, Departamento de teorías y análisis de la información. nieto@ccinf.ucm.es

Resumen

Los permanentes cambios que han traído las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) a la gestión empresarial han repercutido de forma considerable en la adopción de tecnologías en las empresas. Este artículo presenta una investigación realizada en empresas del área cultural del departamento de Bolívar, en Colombia, que buscó comprender cuáles son los factores internos y externos que influyen a la hora de adoptar la tecnología. Es un estudio cualitativo con corte longitudinal, en el que se realizaron entrevistas en profundidad a 21 empresas en dos momentos: antes y después de la pandemia del covid-19, para conocer las perspectivas y situaciones que han influido en el proceso de adopción de tecnología. Los resultados muestran que las empresas tienen una buena disposición para adoptar las tecnologías, están conscientes de su importancia y valoran las TIC como herramientas útiles para sus gestiones empresariales y comunicativas, sin embargo, presentan barreras para la adopción asociadas especialmente a los costos y el uso de la tecnología.

54

Cód. JEL: D21, M14

Palabras claves: Adopción TIC, Cultura Corporativa, Comportamiento de la Empresa, Transformación Digital

Abstract

The permanent changes that information and communication technologies (ICT) have brought to business management have had a considerable impact on the adoption of technologies in companies. This article presents a research conducted in companies in the cultural area of the department of Bolivar in Colombia, which sought to understand the internal and external factors that influence the adoption of technology. It is a qualitative study in which in-depth interviews were conducted with 21 companies before and after the Covid-19 pandemic, in order to understand the perspectives and situations that have influenced the technology adoption process. The results show that companies are willing to adopt technologies, are aware of their importance and value ICTs as useful tools for their business and communication management. However, there are barriers to adoption associated especially with costs and the use of technology.

55

Cód. JEL: D21, M14

Keywords: ICT Adoption, Corporate Culture, Company Behavior, Digital Transformation

1. Introducción

La gestión empresarial ha experimentado en las últimas décadas importantes cambios debido a su estrecha relación con las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). La revolución digital, un mercado de negocios cada vez más interconectado, el internet de las cosas, comunicaciones especializadas, clientes más exigentes y hasta pandemias mundiales como la covid-19, son algunos de los aspectos que están impulsando la transformación digital en las empresas.

Esta transformación digital, además de implicar la adopción, la integración y el aprovechamiento de los recursos tecnológicos disponibles para la optimización de los procesos al interior de la empresa (Slotnisky, 2016), está relacionada con un cambio en la cultura corporativa, pues requiere ante todo de una mirada integral, en la que la implementación de las tecnologías vaya de la mano de la capacitación y el compromiso de todos los miembros de la organización (Muñoz-Sastre et al., 2019).

La pandemia del Covid-19 tomó por sorpresa a muchas empresas que comenzaban a plantearse el paso a lo digital. Sin embargo, para las llamadas “nativas digitales”, empresas en las que la tecnología hace parte de su filosofía y ésta es utilizada como una herramienta (Jiménez, 2016), este momento fue una oportunidad para expandirse y llegar a nuevos mercados.

De acuerdo con el Banco Mundial (2021) durante la pandemia, el 34% de las empresas aumentaron el uso de plataformas digitales y un 17% invirtieron en equipos y soluciones tecnológicas, caso contrario fue el de las empresas pequeñas ubicadas en los países más pobres, que hicieron poca adopción de tecnologías.

Para la OCDE (2021) la crisis del covid-19 planteó la desaparición de algunos modelos de negocio, pero abrió las puertas a nuevas oportunidades basadas en la innovación, además permitió visibilizar la importancia que tiene para las empresas contar con canales de comunicación adecuados para la divulgación de la información y el relacionamiento con sus públicos.

Las empresas que deseen mantenerse vigentes tienen el compromiso ineludible de adoptar las TIC y cambiar sus viejos esquemas manuales por nuevas dinámicas digitales que les ayuden a reducir costos, tiempo y optimizar sus recursos. Pues tal como lo aseguran Palomo-González e Islas-Pineda (2016) el uso de las TIC está relacionado con una mejor competitividad empresarial y sostenibilidad en el tiempo.

Aunque está claro que en la actualidad las TIC son indispensables para las comunicaciones y el funcionamiento de las empresas, existen diversas barreras que les impiden una mejor relación con la tecnología y en muchos casos estos primeros escollos se encuentran en la adopción.

Este artículo presenta un estudio cualitativo realizado entre el 2018 y el 2021 a 21 empresas del sector cultural del departamento de Bolívar en Colombia, con el que se buscó comprender cuáles son los factores internos y externos que influyen en la adopción de las TIC. Se tomaron entrevistas antes y después de la pandemia del covid-19 para conocer las perspectivas de los empresarios sobre la adopción de las TIC.

1.1 La gestión empresarial y el uso de TIC

Las TIC tienen diversas definiciones que abarcan desde dispositivos, sistemas informáticos, procesos, productos, contenidos, hasta sectores relacionados con la producción y el tratamiento de la información. De acuerdo con Belloch (2015) son “tecnologías para el almacenamiento, recuperación, proceso y comunicación de la información” (p. 2). Por su parte, la OCDE (2017) define los productos TIC como aquellos que están destinados a cumplir la función de procesamiento de información y comunicación, incluyendo su transmisión y visualización.

Los avances tecnológicos, especialmente los desarrollos de la web y los dispositivos electrónicos, han sido de gran utilidad para la optimización y el desarrollo de tareas en las organizaciones. Félix-Mateus (2014) asegura que las TIC han logrado ubicar a la empresa en un entorno global y tecnológico en el que la comunicación organizacional ha sido dotada de nuevos canales y herramientas que permiten construir relaciones más fuertes y cercanas.

En esta línea, Grande et al. (2016) sostienen que características de las TIC como la interconexión, la interactividad, la instantaneidad y la innovación, han generado importantes cambios en la manera de relacionarse que se han reflejado en la gestión de la información y el conocimiento.

Las TIC y las redes sociales han dejado avances evidentes que se suman a los importantes resultados que se obtienen al vincular plataformas CMR (Customer Relationship Management) y herramientas multimedia a la gestión del talento humano. Nuevas formas de reclutamiento en línea a través de cursos virtuales y plataformas de empleo cobran gran protagonismo, especialmente con el uso de la gamificación, que, de acuerdo con Prósperi (2017), es una herramienta que ayuda a motivar al personal y orientarlo al resultado.

Diversos estudios afirman la existencia de una estrecha relación entre el éxito empresarial y el uso de las TIC (Asociación Nacional de Instituciones Financieras [ANIF], 2019; Catalán Gil, 2019;

Palomo González e Islas Pineda, 2016). También de la relevancia de la adopción de la tecnología como estrategia clave para impulsar áreas estratégicas de la empresa (Ghobakhloo et al., 2012; León-Sigg et al., 2017), así como de la necesidad de una aplicación práctica que tenga en cuenta tanto la formación profesional, como la planificación adecuada de objetivos empresariales para la consecución de metas (Cano-Pita, 2018).

Las TIC permiten gestionar procesos con mayor eficacia en la empresa, por eso es necesario realizar el proceso de su adopción teniendo objetivos claros y estratégicos para alcanzar mayores logros.

1.1 Aproximación a las teorías de adopción tecnológica

Son varias las teorías de adopción de la tecnología que han puesto en relieve la importancia de analizar las motivaciones que intervienen en los individuos al momento de adoptar y seleccionar un dispositivo o sistema tecnológico. A continuación, se esbozan algunas de las teorías más relevantes en este campo:

Teoría de la Acción Razonada (TAR). Esta teoría ofrece un marco para comprender las actitudes de los individuos al momento de realizar una conducta, analizando aspectos personales y la influencia social que ejerce su entorno sobre sus decisiones. (Fernández-Morales, et al., 2015). Para Ajzen y Fishbein (1980) los sujetos se basan en creencias descriptivas, inferenciales e informativas al momento de tomar decisiones sobre un objeto; estas dependen de la experiencia, los juicios o creencias de otras personas, así como de la información que obtienen del mismo objeto.

Teoría del Comportamiento Planeado (TCP). Esta teoría añade nuevos elementos a la TAR. De acuerdo con Ajzen (1991) los individuos están influenciados por factores que los motivan a realizar acciones, y diferencia entre tres tipos de creencias: de comportamiento, normativas y de control. Para Palos-Sánchez et al. (2019) este modelo mejora su capacidad predictiva al esclarecer la intención del comportamiento, además de tener una aplicación práctica en áreas como el marketing.

Modelo de Aceptación Tecnológica (MAT). Esta teoría sostiene que un individuo tendrá más probabilidades de adoptar la tecnología si la percibe útil y fácil de usar, la primera variable está relacionada con el desempeño y la segunda con el esfuerzo (Yong-Varela et al., 2010). De Acuerdo con Fernández-Morales et al. (2015) este modelo sirvió para generar nuevos aportes relacionados con la influencia social y los procesos cognitivos a partir de la aplicación en estudios relacionados con las tecnologías, softwares, sitios web, sistemas, etc.

El marco TOE (Tecnhonology - Organization Enviroment). Esta teoría se centra en la perspectiva de la organización. Tornatzky y Fleischer (1990) plantean que existen contextos que interactúan entre sí en las empresas y ejercen influencia en la toma de decisiones al momento de adoptar la tecnología, estos son: el tecnológico, el organizativo y el ambiental, en los que se analizan aspectos como las tecnologías internas y externas, el tamaño, los procesos de comunicación, las estructuras de la empresa, el mercado. Etc.

Teoría Unificada de la Aceptación y el Uso de la Tecnología (UTAUT). Esta teoría recopila y analiza las características de ocho modelos de adopción tecnológica y plantea que existen cuatro variables comunes a todos. De acuerdo con Venkatesh et al. (2003) estas son: expectativa de desempeño, que se relaciona con la percepción de utilidad y las motivaciones intrínsecas de los individuos; expectativas de esfuerzo, en la que se encuentran la percepción de facilidad, la complejidad y el grado de uso; la influencia social, que contempla el comportamiento y cómo influyen en este proceso las creencias, las opiniones y las condiciones facilitadoras que se relacionan con la percepción del individuo sobre la existencia de una infraestructura organizacional y técnica que lo soporta.

1.2 La adopción de las TIC en las empresas

En una sociedad cada vez más interconectada, las empresas tienen la misión de adoptar las TIC no solo para mantenerse actualizadas sino para estar en línea con los cambios en el entorno y asegurar su sostenimiento. En el caso del sector de las Mipymes⁴ es aún más importante, pues sus inversiones deben ser estratégicas con el fin de ajustarse a los recursos disponibles que suelen ser mínimos.

De acuerdo con Ghobakhloo et al. (2012) existen factores internos y externos que actúan como influencias o barreras al momento de la adopción. En los internos se encuentran la dirección, el ambiente, las características organizacionales, los recursos y los usuarios de las tecnologías; y en los externos, la competencia, la presión externa, el gobierno, los vendedores y consultores de tecnología. En esta misma línea, Ramayah et al. (2015) afirma que factores internos como las características del CEO, su conocimiento sobre TIC, actitudes e innovación son determinantes al momento de la adopción, mientras que en los factores externos estarían los costos, las ventajas, la compatibilidad y la seguridad que ofrece la tecnología.

La revisión de estudios en este campo, realizada por Vivas et al. (2021), muestra que dentro de las barreras más frecuentes para la adopción de las TIC en las Pymes se encontraron la falta de

⁴ Micro, pequeñas y medianas empresas. En Colombia las microempresas son aquellas que tienen máximo 10 trabajadores y presentan ingresos inferiores a 500 salarios mínimos vigentes, las pequeñas, tienen entre 11 y 50 trabajadores e ingresos inferiores a 5000 salarios mínimos vigentes y las medianas tienen entre 51 y 200 trabajadores e ingresos de entre 100.000 a 610.000 UVT (Decreto N°957, 2019).

recursos económicos, personal capacitado, el tamaño de la empresa y un uso inapropiado de las tecnologías. Por el contrario, las políticas gubernamentales y las consultorías especializadas externas se muestran como un aspecto positivo que ayuda a una implementación exitosa de las TIC.

2. Metodología

El estudio se abordó desde una metodología cualitativa con corte longitudinal en la que se tomaron entrevistas a 21 empresarios antes y después de la pandemia del covid-19. Para Maxwell (2019) el enfoque cualitativo tiene la ventaja de que permite acceder a detalles específicos sobre experiencias y contextos desde la perspectiva de los participantes para comprender de una forma más cercana el fenómeno. Por su parte, el corte longitudinal permite hacer seguimiento a los fenómenos a lo largo de un tiempo determinado (Delgado-Rodríguez y Llorca-Diez, 2004).

En la primera etapa (durante el año 2018) se realizaron entrevistas en profundidad a 21 empresarios del sector cultural del departamento de Bolívar que fueron seleccionados de forma aleatoria, teniendo en cuenta tres criterios: I) Que estuvieran registrados y vigentes en la Cámara de Comercio de Cartagena II) Que pertenecieran a los códigos CIIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades Económicas) 4 A.C relacionados con las industrias culturales, y III) Que fueran Mipymes (ver tabla 1).

60

TABLA 1. Características de las empresas participantes en la investigación

Ref.	Cód. CIIU	Sector cultural	Tamaño	Ubicación
P1	9102	Patrimonio Material / Actividades y funcionamiento de museos, conservación de edificios y sitios históricos	Microempresa	San Jacinto
P2	5911	Audiovisual y Radio / Actividades de producción de películas cinematográficas, videos, programas, anuncios y comerciales de televisión	Pequeña	Cartagena
P3	7420	Artes Visuales / Actividades de fotografía	Microempresa	Cartagena
P4	9006	Artes Escénicas y Espectáculos Públicos / Actividades teatrales	Microempresa	El Carmen de Bolívar
P5	7420	Artes Visuales / Actividades de fotografía	Microempresa	San Pablo
P6	9006	Artes Escénicas y Espectáculos Públicos / Actividades teatrales	Microempresa	Magangué

Ref.	Cód. CIIU	Sector cultural	Tamaño	Ubicación
P7	9101	Patrimonio Material / Actividades y funcionamiento de museos, conservación de edificios y sitios históricos	Pequeña	Cartagena
P8	9007	Música / Actividades de espectáculos musicales en vivo	Microempresa	Arjona
P9	7420	Artes Visuales / Actividades de fotografía	Microempresa	Cartagena
P10	9003	Creación teatral	Microempresa	Cartagena
P11	9006	Artes Escénicas y Espectáculos Públicos / Actividades teatrales	Microempresa	Cartagena
P12	9002	Creación derechos de autor / Creación musical	Microempresa	Cartagena
P13	9101	Patrimonio Material / Actividades y funcionamiento de museos, conservación de edificios y sitios históricos	Microempresa	Cartagena
P14	7420	Artes Visuales / Actividades de fotografía	Microempresa	Santa Rosa del Sur
P15	9102	Patrimonio Material / Actividades y funcionamiento de museos, conservación de edificios y sitios históricos	Mediana	Cartagena
P16	7420	Artes Visuales / Actividades de fotografía	Microempresa	Magangué
P17	5914	Audiovisual y Radio / Actividades de exhibición de películas cinematográficas y videos	Microempresa	Santa Rosa del Sur
P18	9005	Artes Visuales / Artes plásticas y visuales	Microempresa	Turbaco
P19	9102	Patrimonio Material / Actividades y funcionamiento de museos, conservación de edificios y sitios históricos	Pequeña	Cartagena
P20	5914	Audiovisual y Radio / Actividades de exhibición de películas cinematográficas y videos	Microempresa	Cartagena
P21	5911	Audiovisual y Radio / Actividades de producción de películas cinematográficas, videos, programas, anuncios y comerciales de televisión	Microempresa	Cartagena

Nota: elaboración propia.

Del análisis de las unidades de sentido resultaron dos categorías y siete subcategorías, teniendo como referencia la metodología planteada por León-Sigg et al. (2017) (ver tabla 2).

TABLA 2. Descripción de las categorías y subcategorías resultado del proceso de delimitación de las unidades de sentido.

Categorías	Subcategorías	Descripción
Factores internos	Percepción sobre las TIC	Conocimiento, opiniones y beneficios que asocian a las TIC.
	Actitudes hacia las TIC	Disposición positiva o negativa hacia el uso de las TIC.
	Administración y recursos	Gestión administrativa y su influencia en los procesos de adopción de las TIC.
Factores externos	Infraestructura (servicios públicos y TIC)	Importancia e influencia de la prestación de los servicios públicos en el departamento de Bolívar.
	Políticas gubernamentales	Normas, decretos y marco legal.
	Entorno cultural y empresarial	Ambiente empresarial, influencia de la competencia y los proveedores.
	Presión de los clientes	Los clientes como público influyente en las decisiones de adopción de las TIC.

Nota: elaboración propia.

Se realizó una segunda etapa de entrevistas (entre noviembre del 2021 y febrero del 2022) teniendo en cuenta que debido a la pandemia del Covid-19 hubo cambios considerables en la adopción y uso de la tecnología. Por lo tanto, se retomó nuevamente el contacto con los empresarios para conocer sus nuevas perspectivas sobre el tema. La invitación fue aceptada por diez empresarios que habían participado en la primera etapa de la investigación, quienes ofrecieron detalles y narraron sus experiencias durante la pandemia, esto permitió responder a las siguientes preguntas:

Pregunta 1: ¿La pandemia del covid-19 estimuló la adopción de nuevas tecnologías?

Pregunta 2: ¿Qué barreras existieron para la adopción de las TIC durante este periodo (2020 y 2021)?

3. Resultados y discusión

En la primera etapa de la investigación surgieron diversas perspectivas que reflejaron la posición de los empresarios frente a la adopción de las TIC. El análisis de la categoría “Factores internos” permitió comprender cuáles son las percepciones y actitudes que tienen los empresarios con relación a las TIC.

Se observa que los participantes tienen conocimientos sobre tecnologías e ideas claras sobre la necesidad de adoptar las TIC para el desarrollo de sus tareas tanto administrativas como de comunicaciones, además son consideradas herramientas útiles e indispensables para el crecimiento y sostenimiento de su empresa.

“Las tecnologías de la información, tanto en la parte digamos técnica como en conocimientos, significa absolutamente todo: desde las aplicaciones que yo uso para el pago de los impuestos (...) realmente son el eje fundamental de las empresas” (P18, entrevista personal, 14 de agosto del 2018). “Una empresa audiovisual es una empresa de tecnología, uno si no tiene accesorios tecnológicos no puede hacer audiovisual” (P21, Entrevista personal, 17 de agosto del 2018).

El conocimiento sobre las TIC es una ventaja para la adopción. De acuerdo con Ramayah et al. (2015) las empresas que son dirigidas por personas que muestran conocimiento e interés por las TIC tiende a ser más innovadoras y a tomar riesgos. Mientras que para Cano-Pita (2018) conocer la empresa y su plan de negocios es fundamental para poder aprovechar el potencial de las TIC y tener una implementación exitosa.

Dentro de las ventajas que se asocian al uso de las TIC están la disminución de costos en tareas operativas, ahorro de tiempo, la facilidad de capacitarse virtualmente y la utilidad para desarrollar sus labores cotidianas, mientras que en las desventajas se identifican los altos costos de los dispositivos y la necesidad de mantenerlos actualizados por los rápidos avances tecnológicos. Los dispositivos más utilizados son los computadores de escritorio y los teléfonos inteligentes.

Lo anterior reafirma los hallazgos de la investigación realizada por Infométrika (2016) que sostiene que las micro y pequeñas empresas colombianas consideran útiles las TIC porque les facilita el desarrollo de sus tareas y el manejo de la información. En esta línea, Aguilera-Castro et al. (2017) también aseguran que la utilidad de las TIC es un factor percibido de forma positiva por los empresarios, mientras que Sánchez-Gómez et al. (2014) afirman que los altos costos y la inversión de tiempo se consideran desventajas de la implementación de las TIC.

Los participantes muestran interés y una actitud positiva con relación a la adopción de las TIC, especialmente por las mejoras y beneficios que observan en sus empresas. Así lo deja ver la Participante 1: “Yo soy una fiel convencida de que nosotros sin la parte tecnológica no vamos a avanzar, porque ahora todo está muy sistematizado, muy avanzado” (Entrevista personal, 10 de agosto del 2018).

En la subcategoría administración y recursos se observa que las empresas presentan debilidades en su gestión administrativa, la mayoría por falta de formación especializada en el área

o porque no hay un manejo adecuado de los recursos, en parte porque son pocos y la gestión de ahorro es poca o nula.

Esto se refleja en dificultades a la hora de invertir en las TIC porque los dispositivos suelen ser costosos y las licencias de software requieren actualización permanente. “Yo no utilizo contador, yo no utilizo nada, yo desde que estaba joven siempre he sabido administrar lo que es el dinero” (Participante 5, entrevista personal, 14 de agosto del 2018). “La parte administrativa como tal la manejamos cada uno desde sus casas, con los computadores de cada quien” (Participante 10, entrevista personal, 25 de julio del 2018).

La falta de capacitación que muestran algunos empresarios en el área administrativa reafirma los hallazgos en las investigaciones realizadas por Cortés-Jiménez y Henao-Zapata (2017) en las que se encontró que los microempresarios suelen manejar de forma intuitiva e informal sus áreas administrativas por falta de conocimientos o recursos, y en la de LaitónÁngel y López-Lozano (2018) quienes también sostienen que la falta de conocimientos especializados en el área financiera impide el acceso a mejores oportunidades.

Es importante resaltar que, en la primera etapa, las entrevistas mostraron una clara evidencia de que los factores externos sí ejercían una clara influencia que afectaba positiva o negativamente la intención de adoptar las TIC por parte de las empresas.

64

En el caso de la subcategoría de Infraestructura, que incluye servicios públicos y TIC, se observó que existen problemas con relación a la prestación de servicios como energía o internet, lo que genera incomodidad en los empresarios y afecta el desarrollo habitual de su trabajo, esto se observa especialmente en las empresas que se encuentran ubicadas en los municipios del sur del departamento; para el caso de las que están en Cartagena, la queja más frecuente fue los cortes de electricidad: “El internet acá en Magangué es pésimo.” (Participante 4, entrevista personal, 14 de agosto del 2018), “Estábamos todo el día sin luz y sin servicio de internet.” (Participante 5, entrevista personal, 14 de agosto del 2018), “Aquí si se va mucho la luz, hay cortes más o menos dos veces al mes.” (Participante 14, entrevista personal, 17 de agosto del 2018).

Diversas investigaciones e informes muestran que la mala prestación de los servicios públicos del departamento afecta la calidad de vida de la población y se refleja en rezagos económicos y sociales, especialmente en los municipios más alejados de la capital, Cartagena de Indias (Cartagena Cómo Vamos, 2020; Gobernación de Bolívar, 2016; Vence Pareja y Kammerer Kammerer, 2016).

La subcategoría de Políticas Gubernamentales deja ver que, si bien las empresas tienen en cuenta las normativas y conocen la importancia de estar formalizados, no es un elemento que

ejerza influencia al momento de adoptar las TIC. Dentro de los aspectos que sí surgieron como relevantes, está la obligatoriedad de la factura electrónica para los comercios y la digitalización de la parte contable, esto especialmente ha generado que las empresas estén actualizando esta área.

En este sentido, Vivas et al. (2021) aseguran que la ayuda externa y particularmente el papel del gobierno, influye positivamente en la implementación de las TIC en las Pymes. Mientras que Atkinson y Miller (2016) afirman que una legislación adecuada y políticas de apoyo son fundamentales para incentivar la adopción de las TIC.

La subcategoría Entorno Cultural y Empresarial muestra dos aspectos interesantes del sector cultural en cuanto a la influencia que ejerce la competencia: por una parte, está la necesidad de compra y actualización de equipos para diferenciarse de otras empresas y por otra, la colaboración entre empresas que se observa especialmente en el sector audiovisual, en parte por los altos costos de los equipos técnicos y el trabajo por proyectos.

Los participantes consideran que existe clientelismo en las instituciones públicas del departamento y consideran que existen debilidades institucionales que les impiden participar de forma transparente en las convocatorias y proyectos. “Como en todas las demás áreas, en el audiovisual también se maneja el clientelismo.” (Participante 21, entrevista personal, 17 de agosto del 2018), “Aquí accedes a un proyecto porque tú tienes amigos políticos y esos ‘amigos’ te digo, entre comillas.” (Participante 11, entrevista personal, 12 de julio del 2018).

65

Finalmente, en la subcategoría Presión de los Clientes, se reafirma el hecho de que los públicos objetivos ejercen una influencia importante en las empresas, pues presionan a la actualización de sistemas y equipos con el objetivo de ser más competitivas. Fidelizar y atraer más clientes son dos aspectos de sumo interés para las empresas.

En algunos casos se reflejan temores con relación a la adopción de tecnologías como la nube y los softwares de manejo de datos por desconocimiento o inseguridad con respecto a la ciberdelincuencia. “En el tema ese de la nube, ahí si tengo muchas inconsistencias, no manejo muy bien cómo es el tema.” (Participante 12, entrevista personal, 15 de julio del 2018), “Tengo una cierta desconfianza a tener este tipo de archivos en la nube.” (Participante 21, entrevista personal, 17 de agosto del 2018).

3.1 El covid-19: una nueva perspectiva

En cuanto a la categoría de Factores Internos, la percepción y las actitudes hacia las TIC se reafirmaron positivamente, pues con la coyuntura de la pandemia, las empresas se vieron presionadas a adoptar tecnologías, a usar aplicaciones y plataformas digitales con las que anteriormente no trabajaban o utilizaban muy poco, pero que les facilitaron la comunicación con sus públicos.

Algunos empresarios manifestaron que tuvieron que reinventarse con nuevos servicios en línea para poder sostenerse durante este tiempo, y también reconocieron que verse obligados a usar solo los canales digitales los estimuló a ser más creativos y a adoptar tecnologías que de no ser por la presión del momento, no habrían acogido tan rápidamente. Así lo manifestaron los siguientes participantes:

“Cuando estuvo el pico de la pandemia utilizamos mucho el WhatsApp y muchos compañeros escribían por ahí, porque sí o sí había que meterse en la parte digital.” (P6, entrevista personal, 04 de noviembre del 2021), “Nosotros antes utilizábamos la tecnología para transmisiones muy poco, pero a raíz de que todo se dedicó a las reuniones virtuales, fuimos ampliando el portafolio, y ahora hacemos transmisiones de eventos, cuando antes íbamos a cubrirlos.” (Participante 3, entrevista personal, 04 de noviembre del 2021), “Fue una sorpresa para nosotros, pensábamos que nos íbamos a morir de hambre, pero fue muy interesante haber aprendido que había otras formas de brindarle productos a las personas.” (Participante 10, entrevista personal, 04 de noviembre del 2021). Estas experiencias reafirman los hallazgos del estudio de seguimiento e impacto del Covid-19 realizado por Confecámaras (2021) que mostró que el 63% de los empresarios de las Mipymes en Colombia han utilizado las redes sociales, Internet y servicios de Marketplace como canales de ventas.

La mayoría de las empresas entrevistadas, realizan eventos culturales y producciones audiovisuales de matrimonios, fotografía especializada, y cubrimiento de eventos sociales, con lo cual su fuente primaria de ingresos estuvo bastante afectada. En este sentido, el informe de la CEPAL (2020) mostró que los sectores de la economía más afectados por la pandemia fueron aquellos que implicaban aglomeración o cercanía física, como el turismo o los espectáculos.

“La semana antes de la cuarentena nos empezaron a cancelar los eventos y a pedirnos plata de regreso, gracias a Dios yo tengo unas cláusulas en los contratos” (Participante 9, entrevista personal, 31 de enero del 2022). “La pandemia trajo muchas dificultades sobre todo a los actores” (Participante 10, entrevista personal, 04 de noviembre del 2021).

La categoría de factores externos y sus subcategorías son probablemente las que más reflejaron cambios en la segunda etapa de la investigación, pues la aparición de la pandemia y las diversas restricciones que siguieron en los meses posteriores a la cuarentena, impactaron directamente en las empresas y especialmente en la necesidad de utilizar la tecnología, impulsadas por las situaciones de las que no tenían control. Así se reflejó el cambio según los participantes:

“La pandemia logró que nosotros tomáramos consciencia y que el público tomara consciencia para ver los espectáculos a través del Facebook Live y de las otras plataformas que utilizamos, eso fue fundamental y nos ha enseñado mucho” (Participante 10, entrevista personal, 04 de noviembre del 2021).

“Se utilizó mucho el WhatsApp y el Facebook, los compañeros les tomaban fotos a los textos y los mandaban y nosotros lo transcribíamos y los subíamos a la página, o a ellos mismos se les mandaba el link” (Participante 6, 04 de noviembre, del 2021).

“La realización audiovisual no se ha detenido, yo he seguido produciendo (...) me he mantenido realizando cosas durante toda la pandemia, porque uno sigue haciendo cosas y esto también es un momento de reflexión” (Participante 21, entrevista personal, 04 de febrero del 2022).

En cuanto a la subcategoría Infraestructura, quedó en evidencia que la prestación adecuada de servicios de internet y conectividad son fundamentales para el desarrollo y el sostenimiento de estas empresas. “Para mí la conectividad y las soluciones de la tecnología son muy importantes, ya yo tenía actividades híbridas desde hace mucho tiempo.” (Participante 9, entrevista personal, 31 de enero del 2022), “El servicio de internet tuvo sus problemas, a veces se nos caían los conversatorios, pero otra vez regresaban, hubo pequeños intervalos donde se caían los *links* pero regresaba.” (Participante 10, entrevista personal, 04 de noviembre del 2021).

Por su parte, la subcategoría Presión de los Clientes reafirma que estos tienen incidencia en las decisiones de los empresarios para adoptar tecnologías, pues establecer una relación permanente con ellos y ofrecer canales de comunicación adecuados es su prioridad, tanto para sostenerlos, como para buscar nuevos negocios. Así lo dejaron ver los siguientes participantes:

“Utilizamos Facebook Live, ahí hicimos conversatorios y se nos conectaba mucha gente, tuvimos bastante acogida, sabemos que de pronto hay gente que aún tiene miedo de salir abiertamente y quiere ver todo través de las plataformas.” (Participante 10, entrevista personal, 04 de noviembre del 2021), “En la pandemia tuvimos nuestra baja en ventas, pero nos favoreció mucho en aprender nuevas tecnologías, y realmente la sociedad definió mucho porque yo creo que antes si hubiésemos ofrecido una transmisión la gente no creería, pero como ya ven el alcance, podemos mostrar

que se pueden reunir 100 persona en una sala virtual.” (Participante 3, entrevista personal, 04 de noviembre del 2021), “Mi empresa maneja las redes sociales de varios hoteles y eso ha sido una facilidad durante los tiempos de la pandemia porque ha sido trabajo que no se ha interrumpido.” (Participante 21, 04 de febrero del 2022).

El anterior análisis permitió responder las dos preguntas que surgieron en la tercera etapa del estudio.

Pregunta 1: ¿La pandemia del covid-19 estimuló la adopción de nuevas tecnologías? Sí, se reafirma que la pandemia estimuló la adopción de TIC en las empresas del sector cultural, incentivándolas a comprar y/o utilizar nuevas plataformas digitales para relacionarse con sus públicos.

Pregunta 2: ¿Qué barreras existieron para la adopción de las TIC durante este periodo (2020 y 2021)? Para el caso de aquellas empresas que no estaban financieramente sólidas o tenían baja organización administrativa, la pandemia constituyó una barrera por la disminución de sus ingresos que se reflejó en el cese temporal de sus servicios o en limitaciones de conexión y/o relaciones con sus públicos.

A continuación, se establecen los puntos más relevantes de las categorías y subcategorías en términos de estímulos y barreras para la adopción de las TIC en factores internos y externos:

68

Categoría Factores Internos

Estímulos: conocimiento de la importancia de las TIC para el desarrollo empresarial; experiencias positivas con relación al uso de las TIC: ahorro de tiempo, costos y optimización de recursos; acceso a capacitaciones virtuales y a plataformas de comunicación gratuitas.

Barreras: altos costos de las TIC y el mantenimiento constante de los dispositivos, desconocimiento técnico que les permita optimizar las herramientas disponibles, debilidades administrativas y bajos ingresos que les impiden ahorrar e invertir en las TIC.

Categoría factores externos

Estímulos: para el caso de las empresas donde la conexión a internet es estable, se observa diversificación de productos y servicios, ventajas empresariales por formalizarse al momento de comprar productos y acceder a proyectos públicos, la obligatoriedad de la factura electrónica, la competencia y la diversificación de servicios virtuales para diferenciarse, y la presión de los clientes que exigen cada vez más presencia y comunicación a través de las plataformas digitales, así como tener medios de pago virtuales para realizar sus compras y transacciones.

Barreras: problemas en la prestación de servicios públicos, especialmente, en los municipios del sur de Bolívar, los cortes de energía y las inadecuadas vías de transporte. Conexión inestable

en algunas zonas y baja calidad de internet. Percepción de clientelismo, corrupción y debilidad institucional.

4. Conclusiones

En general, se considera que el análisis de los factores internos y externos que influyen en los procesos de adopción de las TIC en las empresas debe abordarse desde una perspectiva teórica amplia, teniendo en cuenta tanto el contexto como las situaciones particulares de los empresarios.

Aunque la pandemia del covid-19 tomó por sorpresa a la población y obligó a las empresas a reinventarse para poder sostener sus negocios, las actitudes y percepciones sobre las TIC se reafirmaron positivamente, pues encontraron en la tecnología una aliada para sobrevivir en tiempos de calamidad.

La investigación reflejó que la adopción de las TIC está influenciada por factores tanto internos como externos que representan desafíos para los empresarios, que requieren de constante actualización y conocimiento para adaptarse a los cambios y a las nuevas tecnologías que les permiten ser más competitivos, eficientes y sostenibles.

De esta forma, aspectos como el acceso al conocimiento, las capacitaciones virtuales, los *softwares* libres o la conexión adecuada a internet, se establecen como estímulos para adoptar las tecnologías. No obstante, aspectos como los problemas en la prestación de servicios públicos como la energía, los altos costos y el mantenimiento de los dispositivos, así como las debilidades administrativas de las empresas para darle manejo al ahorro, se reafirman como barreras que influyen en el proceso de adopción de TIC.

Es importante mencionar que hay subsectores culturales como el audiovisual y radio, fotografía y música, que tienen desde su origen una relación estrecha con la tecnología, por lo tanto, el enfoque estará más en apoyar áreas en las que puedan presentar debilidades, como la administrativa, y fortalecer aquellas que les ayuden a promoverse, como las comunicaciones, además de dar soporte financiero y capacitación permanente.

Esta investigación mostró que, en cuestión de tecnología, es importante ir más allá de las cifras y conocer cuáles son los factores internos y externos que se perciben como barreras o estímulos para la adopción en las empresas de acuerdo con sus contextos particulares. En este sentido, realizar estudios desde el enfoque cualitativo ofrece la posibilidad de analizar en detalle desde testimonios

hasta experiencias que enriquecen y aportan miradas más focalizadas en las reales necesidades que se tienen en la región.

5. Referencias

Aguilera-Castro, A., Ávila-Fajardo, G. P., y Solano-Rodríguez, O. J. (2017). Las TIC en la formulación estratégica de las pymes de Santiago de Cali – Colombia. *Entramado*, 13(1), 102-111.

<https://bit.ly/3gcXGC8>

Ajzen, I., y Fishbein, M. (1980). *Undesrtanding attitudes and predicting social behaviors*. Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall.

Asociación Bancaria y de Entidades Financieras de Colombia. (2018). *Semana económica 2018. Supervivencia de las MiPyme: un problema por resolver*. Bogotá. Asobancaria.14 p.

<https://bit.ly/2XiIpIH>

Atkinson, R. D., y Miller, B. (2016). Una guía a los legisladores para impulsar la adopción de las TIC. Information Technology & Innovation Foundation; TicTac. <https://bit.ly/2LUu5PL>

Banco Mundial. (2021). *Cómo la COVID-19 (coronavirus) afecta a las empresas en todo el mundo*. Washington D. C. Banco Mundial. 1p. <https://bit.ly/3zLl6ZW>

Belloch, C. (2012) *Las Tecnologías de la Información y Comunicación en el aprendizaje*. Material docente [En Línea]. Departamento de Métodos de Investigación y Diagnóstico en Educación. Universidad de Valencia. <https://bit.ly/2yn1Mqp>

Cano-Pita, G. E. (2018). Las TICs en las empresas: evolución de la tecnología y cambio estructural en las organizaciones. *Dominio de las Ciencias*, 4(1), 499-510. <https://bit.ly/3djnWZB>

Cartagena Cómo Vamos. (2020). *Informe de calidad de vida 2020. Especial impacto Covid-19*. Cartagena. Cartagena Cómo Vamos. 203 p. <https://bit.ly/3hzACPg>

Catalán Gil, S. (2019). Gamificación y motivación: nuevas herramientas para la captación de talento. *UCJC Business and Society Review (formerly Known As Universia Business Review)*, 16(3), 146-179. Recuperado a partir de <https://journals.ucjc.edu/ubr/article/view/4076>

CEPAL. (2020). *Sectores y empresas frente al COVID-19: emergencia y reactivación*. Naciones Unidas. 24 p. <https://bit.ly/3PmTy2S>

Confecámaras. (2021). *Resultados Encuesta de las Cámaras de Comercio de Seguimiento y Monitoreo del Impacto de la COVID- 19 en el Sector Empresarial*. Bogotá. Confecámaras. 24 p. <https://bit.ly/3vYeTJa>

- Cortés Jiménez, J. H., y Henao Zapata, M. (2017). Microempresas: análisis empírico de algunos problemas. En Contexto, 6(8), 185-207. <https://bit.ly/2XLdFPI>
- Decreto No 957. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Por el cual se adiciona el capítulo 13 al Título 1 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1074 de 2015, Decreto Único del Sector Comercio, Industria y Turismo y se reglamenta el artículo 2º de la Ley 590 de 2000, modificado por el artículo 43 de la Ley 1450 de 2011. Bogotá, 5 de junio del 2019. <https://bit.ly/35HnX6R>
- Delgado-Rodríguez, M., y Llorca-Díaz, J. (2004). Estudios longitudinales, conceptos y particularidades. Revista Especializada en Salud Pública, 78, 141-148. <https://www.scielo.org/pdf/resp/2004.v78n2/141-148>
- Félix Mateus, A. (2014). La comunicación en las teorías de las organizaciones. El cruzar del siglo XX y la revolución de las nuevas tecnologías. Una visión histórica. Historia y Comunicación Social, 19, 195-210. https://doi.org/10.5209/rev_HICS.2014.v19.45021
- Fernández Morales, K., Vallejo Casarin, A., y McAnally Salas, L. (2015). Apropiación tecnológica: una visión desde los modelos y las teorías que la explican. Perspectiva Educacional, Formación de Profesores, 54(2), 109-125. <https://bit.ly/2zRiUEW>
- Ghobakhloo, M., Hong, T. S., Sabouri, M. S., y Zulki I, N. (2012). Strategies for successful information technology adoption in small and medium-sized enterprises. Information, 3(1), 36-67. <http://doi.org/10.3390/info3010036>
- Gobernación de Bolívar. (2016). Plan de desarrollo 2016 – 2019. Bolívar sí avanza, gobierno de resultados. Cartagena. Gobernación de Bolívar. 500 p. <https://bit.ly/3dtRyTX>
- Grande, M., Cañón, R., y Cantón, I. (2016). tecnologías de la información y comunicación: evolución del concepto y características. International Journal of Educational Research and Innovation (IJERI), 6, 218-230. <https://bit.ly/2KSyxOw>
- Jiménez, C. (2016). La empresa digital. Debates IESA, 21(1) 90-91. <https://bit.ly/3ygWFBc>
- Laitón Ángel, S. Y., y López Lozano, J. (2018). Estado del arte sobre problemáticas financieras en pymes: estudio para América Latina. Revista Escuela de Administración de Negocios, (85), 163-179. <https://doi.org/10.21158/01208160.n85.2018.2056>
- León-Sigg, M., Vázquez-Reyes, S., y Villa-Cisneros, J. L. (2017). Factores que Afectan la Adopción de Tecnologías de Información en Micro y Pequeñas empresas: un Estudio Cualitativo. RISTI – Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação, (22), 20-36. <https://dx.doi.org/10.17013/risti.22.20-36>
- Maxwell, J. A. (2019). Diseño de investigación cualitativa. Barcelona. Gedisa Editorial.
- Muñoz-Sastre, D., Sebastian-Morillas, A., y Nuñez-Cansado, M. (2019). La cultura corporativa: claves de la palanca para la verdadera transformación digital. Revista Prisma Social, 25 (pp. 439-463). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6972158>

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2017). Perspectivas de la OCDE sobre la economía digital 2017. OCDE. 365 p. <https://www.observatoriolaboral.gob.mx/static/estudios-publicaciones/ocde.pdf>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2021). El Futuro del Gobierno Corporativo en los Mercados de Capitales después de la Crisis del COVID-19. OCDE, 5 p. <https://bit.ly/3JT4Hap>
- Palomo-González, M. Á., e Islas Pineda, J. A. (2016). Los factores competitivos que aportan las tecnologías de la información y comunicaciones para las MIP y MES. En Olivares Leal, A., Moya Pardo, M. L., Ochoa Ruíz, J., y Espinoza Morales, F. (Coords), Factores explicativos de competitividad empresarial (1era ed., pp. 9-20). Qartuppi. <https://bit.ly/3a3bZoI>
- Prósperi, C., Sabarots, G., & Villa, M. (2017). Uso de la gamificación para el logro de una gestión empresarial integrada. Perspectivas de las Ciencias Económicas y Jurídicas, 6(2). <http://dx.doi.org/10.19137/perspectivas-2016-v6n2a05>
- Palos-Sánchez, P., Reyes-Menéndez, A., y Saura, J. R. (2019). Modelos de adopción de tecnologías de la información y cloud computing en las organizaciones. Información Tecnológica, 30(3), 3-12. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300003>
- Ramayah, T., Ling, N. S., Taghizadeh, S. K., y Rahman, S. A. (2015). Factors influencing SMEs website continuance intention in Malaysia. Telematics and Informatics, 33(1), 150-164. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2015.06.007>
- Slotnisky, D. (2016) Transformación digital: cómo las empresas y los profesionales deben adaptarse a esta revolución. Buenos Aires. Digital House. <https://bit.ly/3dASTeo>
- Tornatzky, L., y Fleischer, M. (1990). The process of technology innovation. Lexington, MA, Lexington Books. <https://bit.ly/3cPD4oM>
- Yong Varela, L. A., Rivas Tovar, L. A., y Chaparro Peláez, J. (2010). Modelo de aceptación tecnológica (TAM): un estudio de la influencia de la cultura nacional y del perfil del usuario en el uso de las TIC. INNOVAR: Revista de Ciencias Administrativas y Sociales, 20(36), 187-203. <https://bit.ly/3cNpHOE>
- Vence Pareja, J. L., y Kammerer Kammerer, M. G. (2016). Crisis en la costa Caribe del servicio de energía eléctrica prestando por la empresa Electricaribe [trabajo de grado especialización, Universidad Santo Tomas]. CRAiUSTA. <https://bit.ly/3dm4BqW>
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., y Davis F. D. (2003). User acceptance of information technology: towards a unified view. MIS Quarterly, 27(3), 425-478. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- Vivas, G. V., Pazos José Santisteban, Tito Vásquez Brito, & Ordoñez Manolo Cruz. (2021). Revisión de modelos para identificar los factores de adopción de tic en pymes. Revista Ibérica De Sistemas E Tecnologias De Informação, E40(E40), 496-511.

Diseño de un dispositivo electrónico portable y de bajo costo para la estimación de las fuerzas de reacción que se generan durante la marcha a partir del contacto entre los pies y el suelo¹

Design of a low-cost, portable electronic device for the estimation of reaction forces generated during walking from foot-ground contact.

Nelson Eduardo Guevara Muñoz²
Yamir Hernando Bolaños Muñoz³
Pablo Eduardo Caicedo Rodríguez⁴
Wilson Alexander Sierra Arévalo⁵
Luis Eduardo Rodríguez Cheu⁶

Cómo citar:

Muñoz, N., Bolaños, Y., Caicedo, P., Sierra, S., & Rodríguez, L. (2024). Diseño de un dispositivo electrónico portable y de bajo costo para la estimación de las fuerzas de reacción que se generan durante la marcha a partir del contacto entre los pies y el suelo. *Vía Innova*, 11 (1), 73-104. <https://doi.org/10.23850/2422068X.5870>

¹ Análisis de la correlación entre los exponentes de Lyapunov y el margen de estabilidad definido por el centro de presión plantar (CoP).

² Ingeniero en electrónica y maestrante en Automática. Filiación institucional: Grupo de Investigación en Automática, Universidad del Cauca, nelsongm@unicauca.edu.co

³ Magister en Automática. Filiación institucional: Facultad de Ingeniería Electrónica, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, yamir.bolanos.m@uniautonomia.edu.co

⁴ Doctor en Ciencias de la Electrónica. Filiación institucional: Facultad de Ingeniería Electrónica, Corporación Universitaria Autónoma de Cauca, pablo.caicedo.r@uniautonomia.edu.co

⁵ Ingeniero electrónico, Filiación institucional: Ingeniería Biomédica, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, wilson.sierra@escuelaing.edu.co

⁶ Doctor en Ingeniería Biomédica. Filiación institucional: Decano programa de Ingeniería Biomédica, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, luis.rodriguez@escuelaing.edu.co.

RESUMEN

Este artículo presenta un sistema electrónico de bajo costo diseñado para estimar las fuerzas de reacción del suelo (GRF). El sistema consta de un nodo maestro y dos nodos esclavos. El nodo maestro envía instrucciones a sus nodos esclavos, y cada nodo esclavo consta de dos placas electrónicas que muestrean y almacenan datos de dos plantillas de fuerza. Estas plantillas están equipadas con 14 sensores piezo-resistivos *FlexiForce A301* (FSR). Para capturar los movimientos, los nodos esclavos se fijan a los pies de cada participante. Posteriormente, la orden "Inicio" se transmite a través del nodo maestro, que está conectado al puerto USB de un ordenador personal (PC). Una vez finalizada la sesión de marcha, la información recolectada por los nodos esclavos puede descargarse accediendo al *Access Point* generado por estos dispositivos mediante conexión Wi-Fi. El sistema propuesto para la estimación de las GRF fue validado utilizando plataformas de fuerza (*BTS Bioengineering P6000, Italy*), dando un error igual al 15.04 %.

74

Palabras clave: Fuerzas de reacción del suelo, plantillas de fuerza, sensores piezo-resistivos, ESP32, bajo costo.

ABSTRACT

This paper presents a low-cost electronic system designed to estimate ground reaction forces (GRF). The system consists of one master node and two slave nodes. The master node sends instructions to the slave nodes, and each slave node comprises two electronic boards that sample and store data from two force insoles. These insoles are equipped with 14 piezo-resistive *FlexiForce A301* sensors (FSR). To begin capturing movements, the slave nodes are affixed to the feet of each participant. Subsequently, the start command is transmitted through the master node, which is connected to the USB port of a personal computer (PC). Once the walking session is completed, the information obtained by the slave nodes can be downloaded by accessing the *Access Point* generated by these devices through Wi-Fi communication. The proposed system for GRF estimation was validated using force platforms (*BTS Bioengineering P6000, Italy*), giving an error equal to 15.04%.

75

Keywords: Ground reaction forces, force insoles, force sensing resistors, ESP32, Low-Cost.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la marcha humana es de gran relevancia tanto en medicina (Kumada et al, 2020) como en ingeniería (Burkhart et al, 2020), ya que se trata de una capacidad esencial para realizar actividades cotidianas. Sin embargo, esta habilidad tiende a deteriorarse con el envejecimiento (Whitney et al, 1998). Este problema ha motivado el desarrollo de sistemas de captura de movimiento, como los sistemas ópticos, inerciales y las plataformas de fuerza, que generan datos de entrada para el análisis cuantitativo, proporcionando medidas de tendencia central y de dispersión de variables de la marcha, como la longitud y el ancho de los pasos, la velocidad de la marcha, la amplitud de movimiento de las articulaciones y las fuerzas de reacción del suelo (GRF). En particular, las GRF se miden con frecuencia debido a que ayudan a detectar alteraciones en el sistema musculoesquelético. Su importancia radica en la capacidad de identificar enfermedades neurodegenerativas, evaluar la eficacia de los gestos deportivos, analizar los factores osteomusculares implicados en las lesiones de las extremidades inferiores y estimar el riesgo de caída. Las GRF pueden ser estimadas usando tanto plataformas de fuerza como plantillas para calzado (Guo et al, 2021; Choi et al, 2018; Seiberl et al, 2018; Leal-Junior et al, 2018; Zarzar, 2014). Las plataformas de fuerza están diseñadas para uso en interiores y limitan el experimento de captura del movimiento a unos pocos pasos. Por el contrario, las plantillas de fuerza pueden utilizarse en exteriores sin limitaciones en cuanto al número de pasos. Ambos tipos de dispositivos son costosos, aproximadamente \$20.000 USD y a menudo sólo proporcionan valores promedio de los parámetros estimados, lo que puede suponer una desventaja en términos de rentabilidad y análisis de datos.

Este artículo se centra en el desarrollo de unas plantillas de fuerza que se planea emplear en futuros estudios para la evaluación del riesgo de caída utilizando el centro de presión plantar (CoP), el cual se estima a partir de las GRF. El objetivo principal de este estudio radica en que, en la actualidad, la evaluación del riesgo de caída se basa en pruebas subjetivas como: *Performance Oriented Mobility Assessment (POMA)* (Paz et al, 1994; Omaña et al, 2021; Caicedo et al, 2021), *Timed and Go (TUG)* (Sebastião et al, 2016; Langeard et al, 2021), y *Berg Balance Scale (BBS)* (Schelenstedt et al., 2015; O'Brien et al, 2019) cuyos resultados dependen de la pericia de la persona que realiza la prueba, no obstante, mediante el CoP, un concepto consolidado y validado en la comunidad de robots bípedos (Vukobratovic et al, 2004; Park et al., 2022; Ciniglio et al, 2021), se aspira a proponer una evaluación objetiva del riesgo de caída.

A lo largo de la última década, se han propuesto diversas plantillas medidoras de fuerza que se instalan dentro del calzado del caminante. En el estudio de Ciniglio et. al (2021), los autores proponen simular unas plantillas de fuerza con 16 sensores piezo-resistivos utilizando los datos de 39 adultos sanos, información recolectada mediante un sistema comercial Pedar-X (Munich, Germany), que consta de una matriz de 99 sensores. Los 16 puntos de contacto se establecieron a partir de las áreas que experimentaban una mayor presión durante las fases de marcha con el sistema Pedar-X. Con el fin de mejorar el conjunto de datos, el sistema Pedar-X se sincronizó con un sistema estereofotogramétrico (seis cámaras, 60 Hz) y una plataforma de fuerza (Bertec FP2060, 960 Hz). En Choi et al. (2018), los autores presentan el diseño de una red neuronal para estimar las GRF y el CoP en una plantilla equipada con seis sensores piezo-resistivos. El prototipo fue validado mediante una plataforma de fuerza (F-Scan, TEKSCAN Inc, USA) y se contó con la participación de ocho adultos sanos. Los autores concluyeron que es factible estimar con precisión y exactitud las GRF y el CoP con dispositivos de bajo costo. Sin embargo, a diferencia de Oubre et al. (2021), Choi et al. (2018); y Guo et al. (2021), los autores no reportaron cómo replicar el dispositivo que habían desarrollado. En este sentido, el sistema electrónico propuesto en este artículo para la estimación de las GRF es replicable, portable, de bajo costo y de bajo consumo energético. El prototipo descrito consta de dos partes principales: una de ellas son las plantillas equipadas con 14 sensores piezo-resistivos (FlexiForce A301, TEKSCAN Inc, USA), las cuales miden las fuerzas de reacción entre en el pie y el suelo durante la marcha en personas con un peso comprendido entre 60 y 80 kilogramos. La otra parte, corresponde a una aplicación de escritorio diseñada para procesar las fuerzas medidas por las plantillas.

77

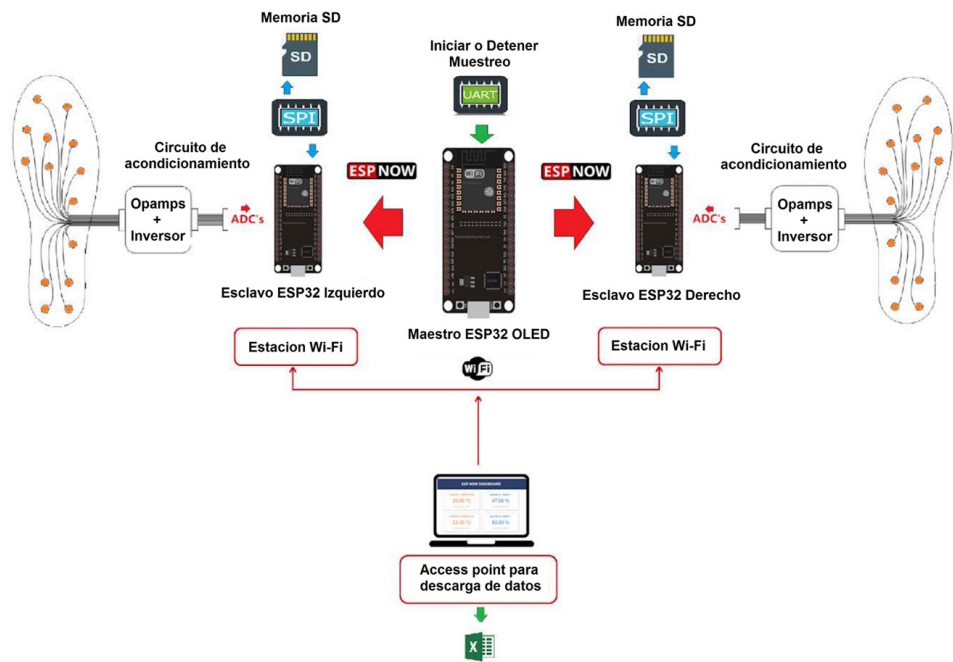
2. METODOLOGÍA

2.1 Descripción hardware

El sistema propuesto para medir las fuerzas de reacción del suelo que se muestra en la Figura 1, consta de los siguientes elementos: i) Un nodo maestro (Maestro ESP32 OLED) que recibe instrucciones desde un ordenador mediante un puerto USB, y posteriormente reenvía estos valores a sus nodos esclavos a través del protocolo de comunicación inalámbrico ESP-NOW; ii) Dos nodos esclavos (Esclavo ESP32 Izquierdo y Esclavo ESP32 Derecho) que actúan como *Access Point*, y que son responsables del muestreo, acondicionamiento y almacenamiento de datos a una frecuencia de 50 Hz. Esto se logra mediante el uso del multiplexor análogo - digital 74HC4067, amplificadores

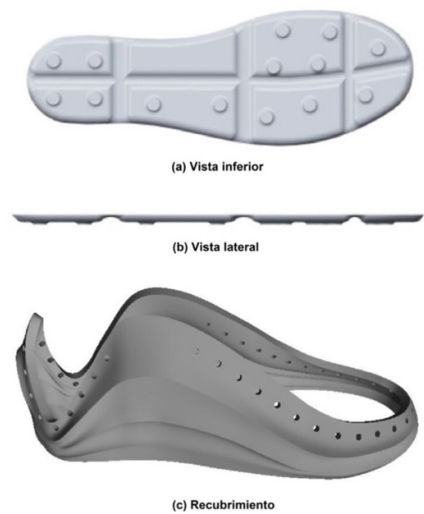
operacionales MCP6004 y memorias *flash* removibles (SD); iii) Dos plantillas equipadas con 14 sensores FlexiForce A301, como se muestra en las Figuras 2 y 3.

Figura 2. Sensor FlexiForce A301.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Diseño 3D de la plantilla y su recubrimiento.

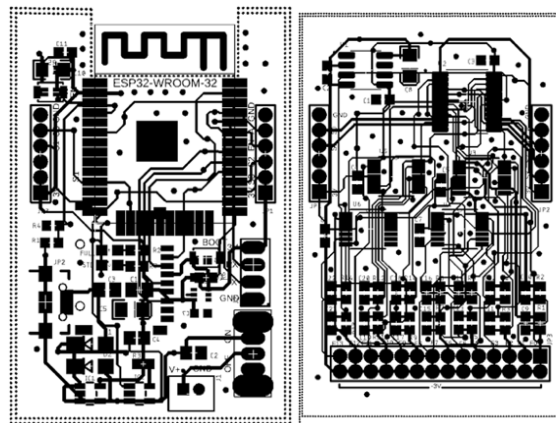


Fuente: Elaboración propia.

2.2 Diseño electrónico

Durante la fase de implementación de cada nodo esclavo, se creó un diagrama esquemático de interconexión compuesto de dos etapas. El primero corresponde al circuito de control y el segundo al circuito de acondicionamiento de señales, los cuales se encuentran disponibles en la carpeta (*Board Production Files*) del repositorio <http://doi.org/10.17632/dytcstytcxw.1>. Para el diseño de los circuitos impresos (PCB) se utilizó el software *Eagle* versión 9.6.2, dando como resultado dos placas de tamaño reducido (32 x 50 mm) que se presentan en la Figura 6.

Figura 6. Tarjeta de control (izquierda) y tarjeta de acondicionamiento (derecha).



Fuente: Elaboración propia.

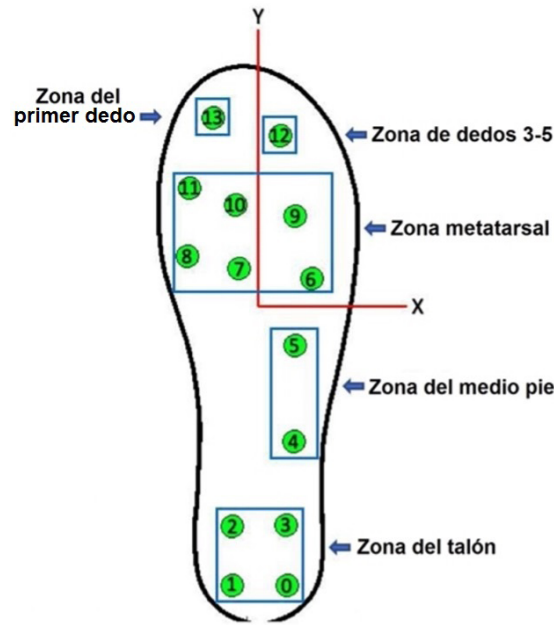
2.3 Diseño de plantillas de fuerza

La ubicación de los sensores es un factor importante para estimar con precisión las GRF. Por lo tanto, los 14 sensores FSR se fijaron de acuerdo con la forma anatómica del pie y a sus áreas prominentes, las cuales experimentan mayor presión que las menos prominentes (Zarzar, 2014). La distribución de los sensores se realizó de la siguiente manera: cuatro sensores para la zona del talón, dos sensores para la zona media del pie, seis sensores para la zona del metatarso, un sensor para el primer dedo del pie y, por último, un sensor para la zona de los dedos tres a cinco del pie, como se muestra en la Figura 7.

El modelo 3D de las plantillas y la distribución de los sensores adaptados en las figuras 3 y 7, se tomó de Zarzar (2014), sin embargo, debido a la falta de contacto directo con el suelo, la fuerza medida resultó ser demasiado baja al insertar las plantillas con los sensores en los zapatos del usuario, esto puede deberse a los materiales flexibles del calzado, lo que permite deflexiones y

zonas anguladas del sensor. Para resolver este problema, se diseñaron y se fabricaron dos recubrimientos (Figura 3) que se adhieren a cada plantilla y deben ser utilizados por todos los participantes. Este enfoque garantiza que la fuerza medida se concentre exclusivamente en los 14 puntos de contacto (FSR). Los criterios de fabricación de las plantillas fueron los siguientes: i) Permitir la flexión del pie sin alterar el patrón de marcha; ii) Ser cómodas, ligeras y delgadas; iii) Transmitir las fuerzas de manera afectiva a través de las zonas sensibles de la plantilla (taches); iv) Soportar las condiciones de humedad y de temperatura dentro del zapato, en el rango de 20 a 45 grados Celsius. La Tabla 1 muestra el sistema de coordenadas de cada sensor FSR en la plantilla.

Figura 7. Distribución de sensores en el pie.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Sistema de coordenadas en la plantilla.

Sensor	X (mm)	Y (mm)
0	12.50	-128.48
1	-12.50	-128.48
2	12.50	-100.49
3	-12.50	-100.49
4	16.44	-61.13
5	16.80	-16.62
6	25.03	14.67
7	-8.41	19.48
8	-32.95	25.50
9	16.98	43.74
10	-10.36	49.02
11	-31.65	57.24
12	10.56	81.05
13	-20.74	89.47

Fuente: Elaboración propia.

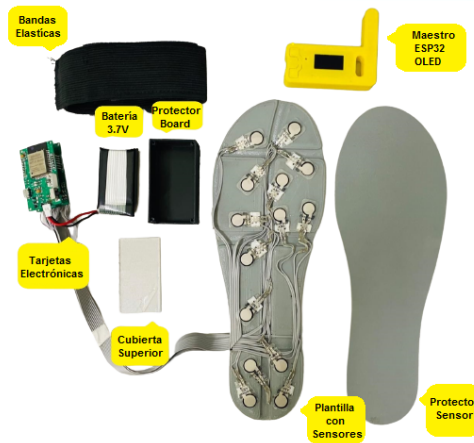
2.4 Integración Hardware y Software

Un servicio especializado en el diseño y fabricación de sistemas electrónicos llevó a cabo la producción de dos PCB de control y dos PCB de acondicionamiento de señales. Empresas como, PCBWay o JLCPVB, emplean los archivos *Bill of Materials* (BOM) y *Gerber* para realizar esta tarea. La documentación necesaria para replicar el prototipo electrónico se encuentra disponible en el repositorio de acceso público: <http://doi.org/10.17632/dytcstytxw.1>

En la Figura 8 se muestra un nodo esclavo ensamblado, el cual está listo para adherirse a su recubrimiento y someterse a pruebas en el laboratorio. A continuación, se describe cuál fue el procedimiento de integración:

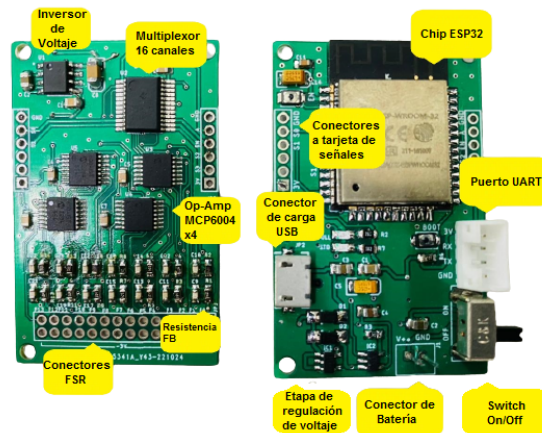
- El primer paso consistió en fijar cada componente electrónico en las placas de control y de acondicionamiento (Figura 9). Esta tarea se realiza manualmente o mediante el uso de hornos de soldadura SMD.

Figura 8. Nodo esclavo ensamblado sin recubrimiento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Tarjetas electrónicas de control y acondicionamiento de señales ensambladas.



Fuente: Elaboración propia.

- El siguiente paso consistió en fabricar las plantillas y sus recubrimientos usando una impresora 3D (Figura 3). Para lograr el nivel deseado de flexibilidad y durabilidad, se recomienda emplear un filamento de Poliuretano Termoplástico (TPU) con una dureza de A90 y un porcentaje de relleno superior al 90 %. Estas especificaciones son comúnmente

utilizadas en la fabricación de suelas para calzado. Los archivos STL necesarios para realizar esta tarea, se encuentran en la carpeta (*3D Insole Design*) del repositorio anteriormente indicado.

- Después de imprimir las plantillas y sus recubrimientos, se centraron y se fijaron 14 sensores *FlexiForce A301* por plantilla, utilizando pegamento flexible, como se muestra en la Figura 10.
- A continuación, utilizando cable ribbon de 60 cm con 28 hilos y soldadura de estaño, se conectó cada sensor FSR soldando un pin a $-3.3V$ y otro pin a su respectivo conector (FSR0 hasta FSR13) en la placa de acondicionamiento de señales, como se muestra en las Figuras 11 y 12. El orden de conexión de los sensores se encuentra descrito en la Figura 7.

Figura 10. Fijación de sensores.



Fuente: Elaboración propia.

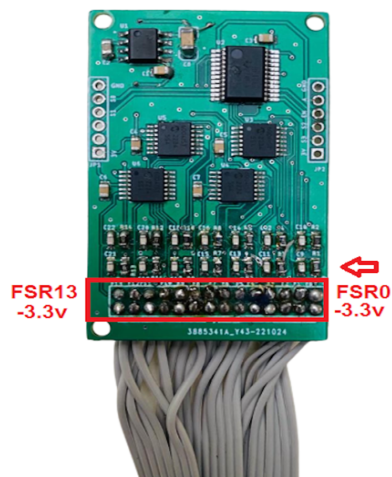
Figura 11. Conexión de sensores.



Fuente: Elaboración propia.

84

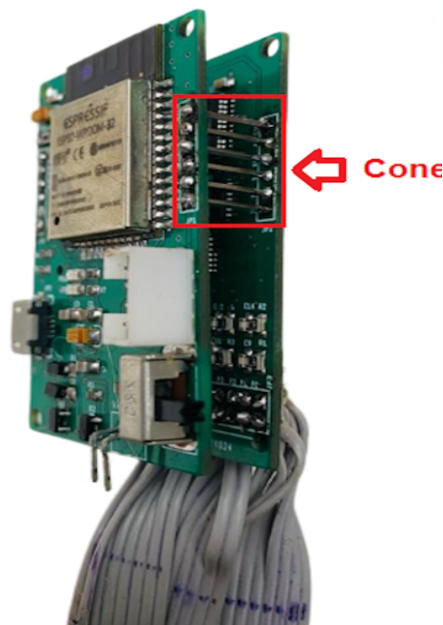
Figura 12. Etiquetas para la conexión de sensores FSR.



Fuente: Elaboración propia.

- Después de conectar correctamente cada sensor, las placas de control y de acondicionamiento de señales se sueldan entre sí utilizando conectores (pin header 2.54 mm), fijando una placa encima de la otra, como se observa en la Figura 13.

Figura 13. Conexión entre placas.

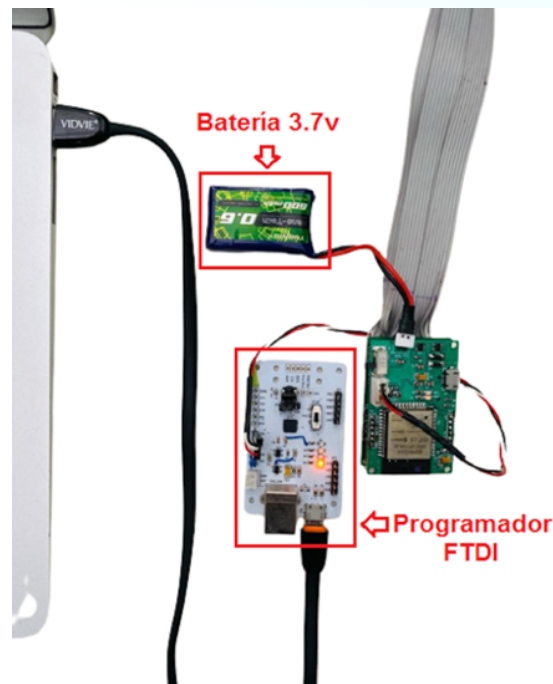


85

Fuente: Elaboración propia.

- Los siguientes pasos consistieron en conectar la batería de 3.7V, encender la placa de control utilizando el interruptor ubicado en el lado derecho (Figura 24) y, finalmente cargar los *firmwares* en los nodos esclavos (*ESP32 Right Slave Firmware*, *ESP32 Left Slave Firmware*) y en el nodo master (*OLED ESP32 Master Firmware*), respectivamente. Para esta tarea, fue necesario conectar cada nodo al puerto USB del computador utilizando un programador FTDI y la aplicación de código abierto Arduino IDE, como se muestra en la Figura 14.

Figura 14. Programación de placas.



Fuente: Elaboración propia.

86

- Después de cargar los *firmwares* desarrollados en las placas, se utilizó una impresora 3D y una cortadora láser para fabricar las carcasas y cubiertas superiores para el nodo maestro y los nodos esclavos. Estas carcasas permiten sujetar cada nodo esclavo al tobillo del participante mediante bandas elásticas (Figuras 8 y 22). Los archivos necesarios para realizar esta tarea se encuentran en la carpeta (*Part For Enclosure CAD Files*) del repositorio anteriormente indicado.
- Finalmente, se fijaron las plantillas a sus recubrimientos utilizando pegante flexible, como se muestra en la Figura 15.

Figura 15. Unión entre plantilla y recubrimiento.



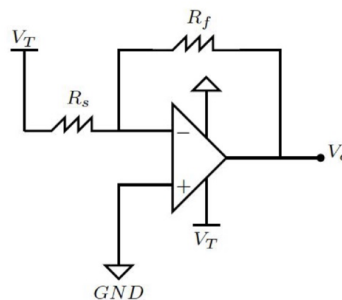
Fuente: Elaboración propia.

2.5 Calibración de sensores FSR

Los FSR fueron muestreados a través de un circuito que convertía los cambios de resistencia en cambios de tensión. Un divisor de tensión fue una alternativa viable; sin embargo, el cambio en la resistencia del FSR con respecto a la fuerza aplicada no es lineal, mientras que el cambio en la conductancia, la propiedad inversa es aproximadamente lineal según el fabricante (Takscan, 2020). Por lo tanto, se optó por emplear un amplificador operacional (MCP6004) en configuración inversora, esto permitió mapear los cambios en la conductancia a cambios de voltaje (0 a 3.3V) y, finalmente, relacionar esta última variable con la fuerza aplicada. El circuito implementado para cada FSR se muestra en la Figura 16.

87

Figura 16. Circuito recomendado para sensores FlexiForce. El amplificador operacional es un MCP6004 de Microchip®.



Fuente: Takscan, 2020.

En estado estacionario, la tensión de salida se describe mediante la Ecuación 1:

$$V_o = -V_t \frac{R_f}{R_s} \quad (1)$$

Donde V_t representa la tensión de alimentación, R_s corresponde a la resistencia del FSR, la cual varía en función de la fuerza aplicada y R_f es la resistencia de referencia. Si se considera que un participante pesa 75 kg (750 N) y el peso corporal se distribuye entre un máximo de cinco sensores en cada fase de la marcha, entonces cada sensor tendría que soportar hasta 15 kg (150 N). Este valor se sitúa por debajo del rango estándar de los sensores *FlexiForce*, capaces de medir hasta 440 N. El valor de R_f se ajustó para que la tensión de salida se mantuviera alrededor de -3.3V. De este modo, se evita saturación y se utiliza todo el rango de tensión, tal y como lo indica el fabricante (Takscan, 2020). El valor de resistencia resultante de R_f fue de 50 k. Además, la tensión de excitación (-3.3V) se obtiene a través del circuito integrado LMC7660 presente en la tarjeta de acondicionamiento de señales. Como resultado, la corriente que fluye a través del sensor FSR a plena carga (cuando $R_f = R_s$) está representada por la Ecuación 2, cuyo valor está muy por debajo de la corriente máxima recomendada por el fabricante de 2.5 mA (Takscan, 2020).

88

$$I = \frac{3.3v}{50 \text{ k}\Omega} = 0.006 \text{ mA} \quad (2)$$

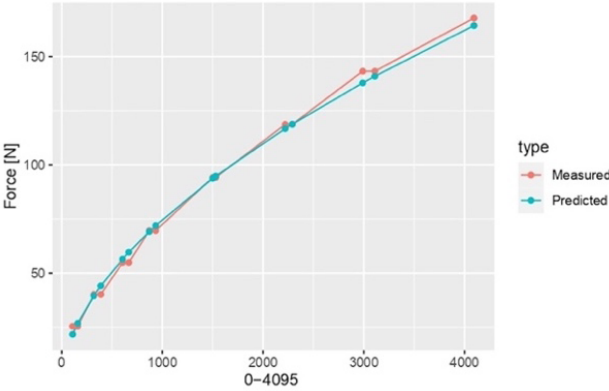
Se aplicaron regresiones lineales y exponenciales a cada sensor; posteriormente se compararon mediante una prueba *T-Student* emparejada para determinar cuál de los dos modelos generaba un error cuadrático medio (RMSE) más bajo. El intervalo de confianza del 95% para la diferencia entre los valores medios del RMSE de los modelos lineal y exponencial fue [0.47, 3.84] Newton, el cual se encuentra en el semieje positivo de la recta real, lo que indica que el modelo lineal en promedio presenta un mayor RMSE que el modelo exponencial ($p\text{-value} = 0.0159$) (Figura 21). Los datos para las regresiones se obtuvieron aplicando ocho pesos de valor conocido a cada sensor (0, 2.50, 3.90, 7.20, 12.1, 16.0, 17.7, 19.9 kg). La regresión exponencial se describe mediante la Ecuación 3.

$$F = a (ADC)^b \quad (3)$$

Donde ADC es el valor numérico entregado por el convertidor análogo-digital (0-4095), y a y b son valores determinados mediante regresión lineal logarítmica (Tabla 2). El modelo exponencial tiene la ventaja de garantizar una fuerza nula cuando el ADC es cero.

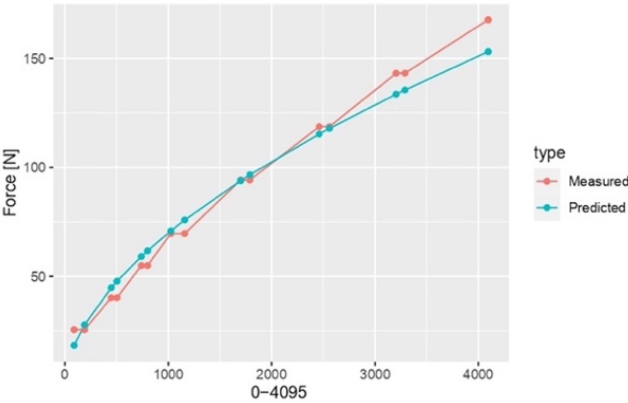
Por el contrario, el modelo lineal ($F = m ADC + c$) entrega una fuerza no nula cuando el pie no está en contacto con el suelo debido a la suma de los interceptos c de cada sensor. Las Figuras 17, 18, 19 y 20 presentan los sensores con mejor y peor ajuste, mientras que la Figura 21 muestra el diagrama de cajas para los valores RMSE de los modelos exponencial y lineal.

Figura 17. Regresión exponencial FSR1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Regresión exponencial FSR4.



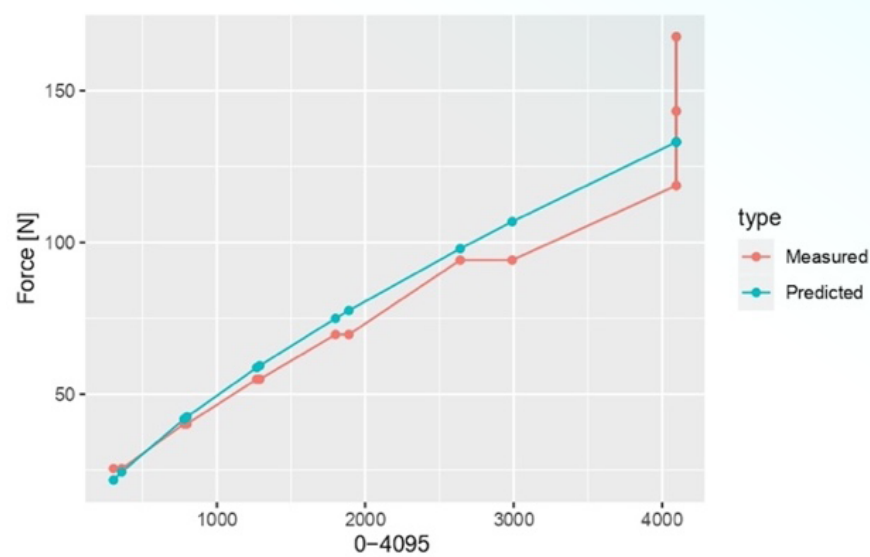
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. *Valores determinados mediante regresión exponencial para cada sensor FSR.*

	Plantilla derecha			Plantilla izquierda		
Sensor	a	b	RMSE	a	b	RMSE
0	1.58	0.56	2.80	1.57	0.55	2.83
1	0.49	0.68	9.61	0.45	0.63	9.65
2	0.80	0.62	10.9	0.87	0.67	10.6
3	0.91	0.62	3.12	0.93	0.69	3.12
4	0.40	0.70	14.47	0.47	0.76	14.57
5	0.48	0.67	14.66	0.48	0.62	14.86
6	3.67	0.45	10.01	3.62	0.45	10.45
7	2.37	0.51	6.52	2.39	0.57	6.76
8	1.69	0.54	7.41	1.65	0.58	7.56
9	0.64	0.66	5.02	0.63	0.67	5.67
10	1.21	0.58	8.86	1.27	0.55	8.98
11	2.51	0.50	6.93	2.59	0.54	6.65
12	2.25	0.51	6.34	2.25	0.56	6.46
13	0.87	0.52	5.20	0.88	0.58	5.45

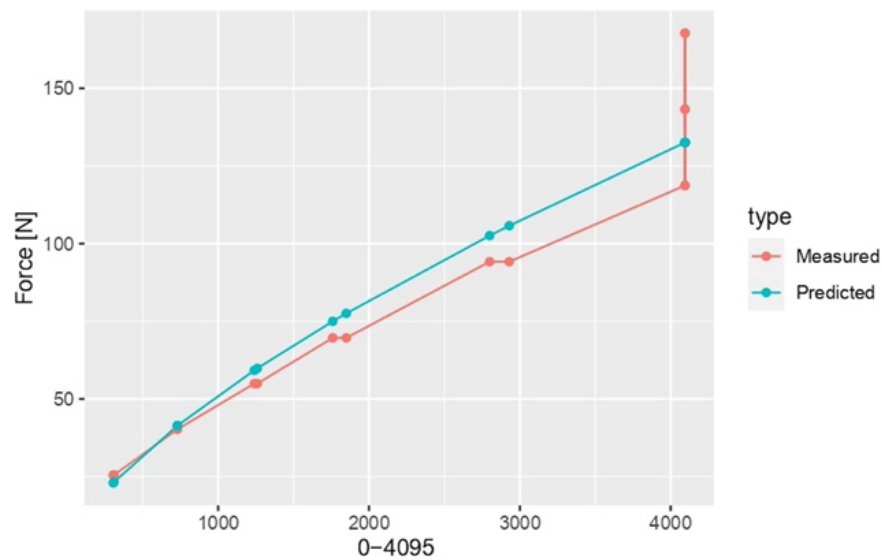
Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Regresión exponencial FSR5.



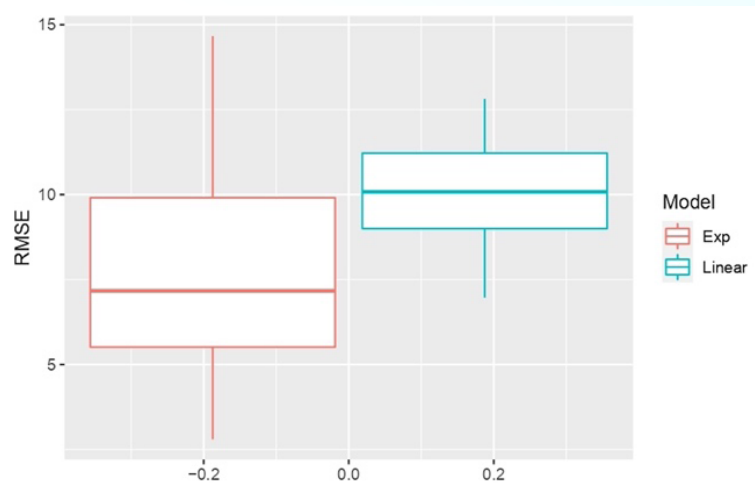
Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Regresión exponencial FSR6.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Modelos exponencial y lineal.



Fuente: Elaboración propia.

2.6 Instrucciones de operación

Después de configurar el prototipo desarrollado y fijarlo en los pies del participante mediante bandas elásticas (Figura 22 y 23), las mediciones se obtienen siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

92

Figura 22. Prototipo desarrollado, vista lateral.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Prototipo desarrollado, vista frontal.



Fuente: Elaboración propia.

Encienda los nodos esclavos ESP32 Izquierdo y ESP32 Derecho cambiando la posición del interruptor de cada nodo hasta que se encienda un diodo LED, como se muestra en la Figura 24.

93

Figura 24. Encender nodo esclavo.



Fuente: Elaboración propia.

- Conecte el nodo maestro ESP32 OLED al ordenador a través del puerto USB (Figura 25) y abra la aplicación de escritorio Arduino IDE. Los parámetros de comunicación serie por defecto son *Baud Rate: 115.200 bps; Parity: none; Number of bits per character: 8 bits*

Figura 25. Conectar nodo maestro a PC.

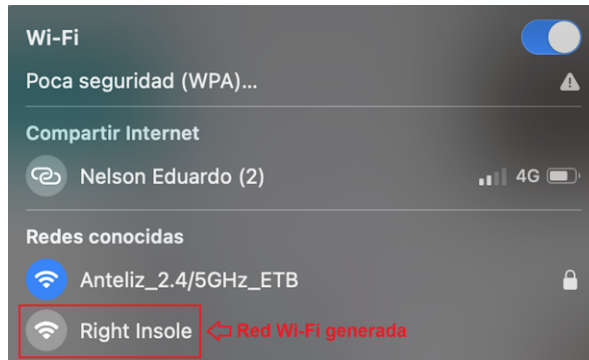


Fuente: Elaboración propia.

- Para iniciar la captura de movimiento, la persona que supervisa la prueba envía el comando “S” a través de Arduino IDE, que se comunica con el nodo maestro mediante el puerto serie. Si el comando es enviado correctamente, aparecerá el siguiente mensaje en la terminal serie del nodo maestro: *“Sent with success”*.
- Una vez iniciada la captura de datos, el participante debe empezar a caminar a un ritmo cómodo y recorrer una distancia de 10 metros en línea recta. Seguidamente, el participante debe darse la vuelta y volver al punto de partida. Es importante mantener un paso natural y evitar alterar la forma habitual de caminar (Figuras 22 y 23).
- Cuando la persona que supervisa la prueba desea finalizarla, envía el comando “T” a través de Arduino IDE. Posteriormente, los nodos esclavos actúan automáticamente como *Access Point*, generando las redes Wi-Fi *Right Insole* y *Left Insole*.

- Para la descarga de datos, el usuario debe conectarse individualmente a cada red Wi-Fi (*Right Insole* o *Left Insole*), como se muestra en la Figura 26. Para este procedimiento, no se requiere contraseña.

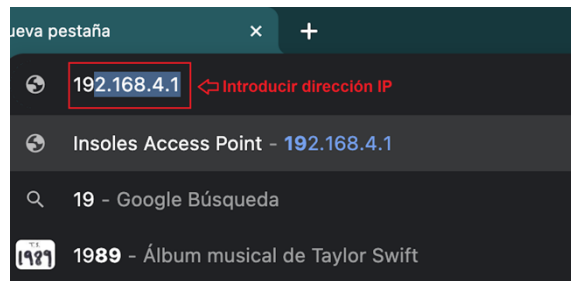
Figura 26. Red Wi-Fi generada.



Fuente: Elaboración propia.

- Una vez conectado a la red Wi-Fi deseada, el usuario debe introducir la dirección IP 192.168.4.1 en un navegador web (Figura 27). Esto desplegará la aplicación web que se muestra en la Figura 28.

Figura 27. Introducir dirección IP.



Fuente: Elaboración propia.

- A continuación, el usuario debe seleccionar la pestaña *Descarga* de la aplicación web (Figura 29). Esto listará los archivos (CSV) almacenados en la memoria del nodo esclavo.

- En el cuadro de texto que se muestra en la Figura 29, el usuario debe introducir el nombre del archivo que desea descargar, ya sea *RightInsole.csv* o *LeftInsole.csv*, dependiendo del nodo esclavo del que esté descargando los datos. A continuación, debe presionar el botón *Ejecutar* para iniciar la descarga.
- Una vez descargados los archivos *RightInsole.csv* y *LeftInsole.csv*, el usuario debe abrir la aplicación de escritorio MATLAB y cargar los siguientes archivos: *3D_Insole.stl*, *pos_sensors.xlsx*, *RightInsole.csv* y *LeftInsole.csv*, como se muestra en la Figura 30. Los dos primeros archivos requeridos se encuentran en la carpeta (*Matlab Desktop Application*) del repositorio.

Figura 28. Sección de inicio.



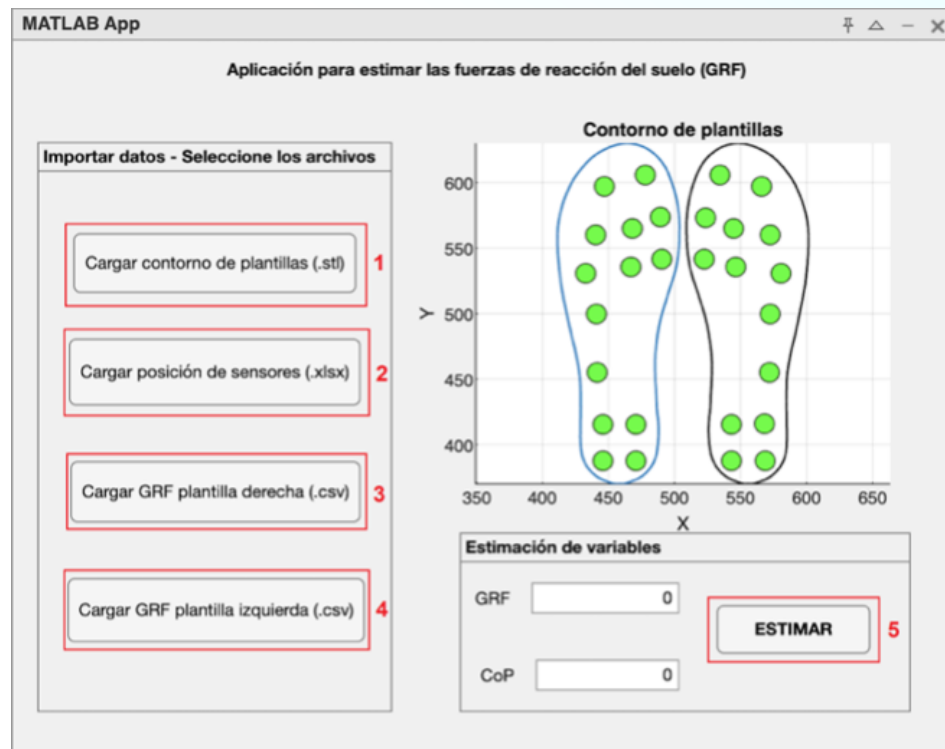
Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Sección de descarga.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Aplicación de escritorio MATLAB.



97

Fuente: Elaboración propia.

- Finalmente, se presiona el botón *Estimar* en la aplicación de escritorio MATLAB para calcular las GRF del participante, como se muestra en la Figura 30.

3. RESULTADOS

En la fase de validación, el prototipo se sometió a pruebas utilizando plataformas de fuerza (*BTS Bioengineering P6000, Italy*) en el Laboratorio de Análisis del Movimiento de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito en la Ciudad de Bogotá D.C, Colombia, como se muestra en la Figura 31.

Figura 31. Laboratorio de análisis del movimiento. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

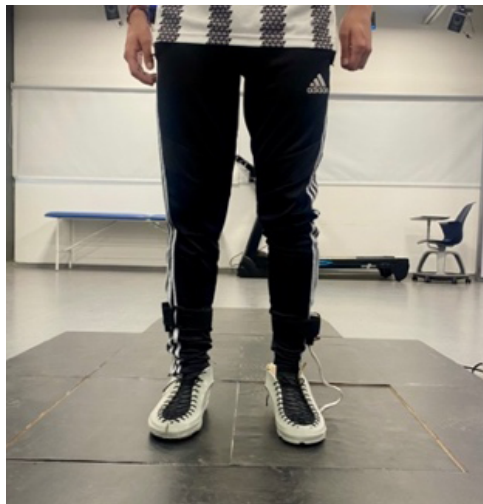


Fuente: Elaboración propia.

Para llevar a cabo las pruebas, se seleccionó a una persona de género masculino, de 21 años, con un peso de 52 kg (≈ 520 N), una talla de calzado US8 y sin historial de patologías con incidencia en la marcha, quien otorgó su consentimiento informado antes de participar en el estudio. Este participante fue equipado con las plantillas de fuerza, como se observa en la Figura 32.

98

Figura 32. Participante equipado con las plantillas de fuerza.



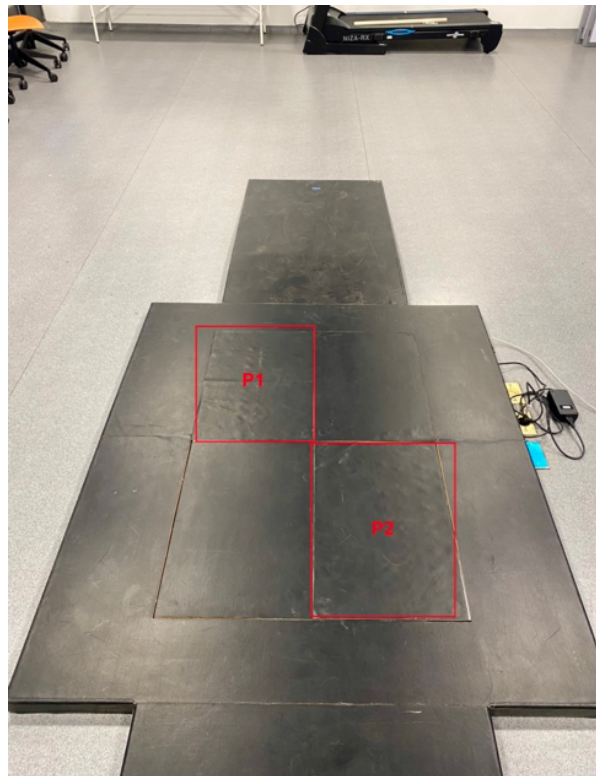
Fuente: Elaboración propia.

La sincronización entre el equipo comercial y el prototipo desarrollado se realizó mediante el dispositivo *BTS Trigger Box* y se estableció una frecuencia de muestreo de 100 Hz con las plataformas de fuerza. Las mediciones se llevaron a cabo de la siguiente manera:

Marcha: Se realizó una caminata de 10 metros en línea recta, asegurando el contacto de cada pie en una plataforma de fuerza (Figura 33). Se instruyó al participante a mantener una marcha natural y evitar alterar su forma habitual de caminar.

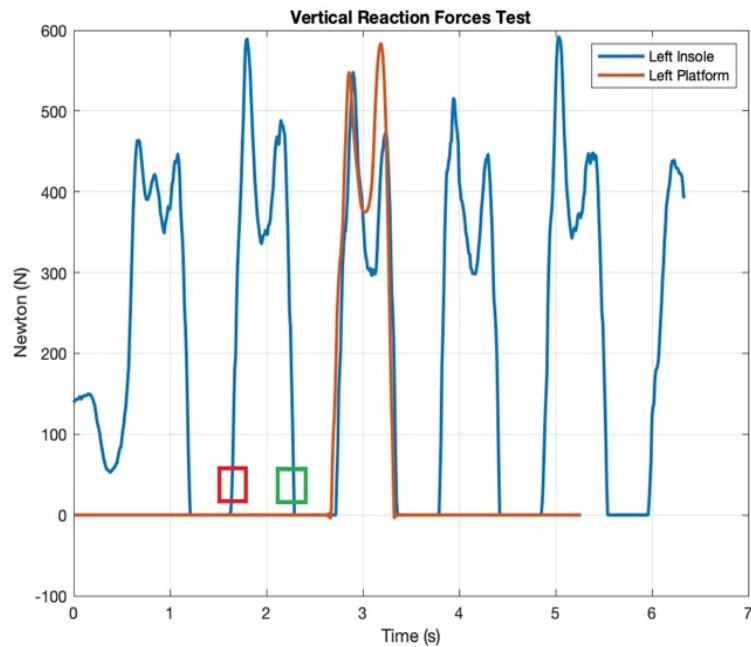
La magnitud de las fuerzas de reacción (GRF) se estimó sumando las fuerzas medidas por cada sensor. En la Figura 34, se presenta el registro de la fuerza vertical de reacción del suelo en función del tiempo para cinco pasos del pie izquierdo. En ella, se logra observar una buena correspondencia entre la medición de la plantilla y la plataforma de fuerza. Adicionalmente, se observa el perfil de fuerza típico del ciclo de marcha humano. En el recuadro de color rojo se aprecia el inicio del golpe de talón (HS), y en el recuadro de color verde se observa el despegue de dedos (TO). El error entre los sistemas fue del 15.04%.

Figura 33. Distribución de las plataformas de fuerza en el laboratorio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. Medición de marcha de la plantilla comparada con una placa de fuerza (pie izquierdo).



Fuente: Elaboración propia.

100

El análisis de los datos reflejó que la fuerza medida por los sensores era menor que el peso del participante durante la locomoción. Esto podría deberse al uso excesivo de los sensores, a la elasticidad del TPU o a diversas deformaciones. Por lo tanto, en una segunda versión del prototipo, se espera reducir este error mediante recalibraciones de sensores y el uso de modelos de aprendizaje automático, siguiendo el mismo procedimiento que en los estudios (Choi et al, 2018; Guo et al, 2021; Zarzar, 2014), donde se busca mejorar la exactitud y precisión en la estimación de las GRF.

4. CONCLUSIONES

El sistema propuesto, denominado GRFMS de bajo costo, estima las fuerzas de reacción del suelo (GRF) con un error del 15.04 %. En relación con los experimentos realizados en modalidad de marcha, las gráficas exhiben señales cuasi periódicas propias de un patrón de marcha normal (Figura 34). Por lo tanto, este prototipo inicial se convierte en una alternativa prometedora, especialmente

en aplicaciones médicas donde la precisión y la exactitud son cruciales para la estimación de variables asociadas a la marcha.

Posteriormente, se espera desarrollar un algoritmo de segmentación para identificar las fases de la marcha y estimar la estabilidad de una persona con base en el centro de presión plantar (CoP). Es fundamental destacar que existen mejoras que podrían implementarse en versiones futuras del dispositivo en términos de calibración y electrónica. Esto incluiría la incorporación de PCB flexibles, una medida que no solo contribuiría a mejorar la estética del dispositivo, sino que también aumentaría su portabilidad y optimizaría la interconexión entre los sensores piezo-resistivos y las placas de acondicionamiento de señales.

5. DISCUSIÓN

En este estudio, se presenta el diseño y desarrollo de un sistema electrónico de bajo costo que estima las fuerzas de reacción generadas durante la marcha a partir del contacto entre los pies y el suelo. Este sistema utiliza sensores piezo-resistivos ubicados estratégicamente en la zona plantar. Además, las plantillas y recubrimientos del sistema se fabricaron con materiales flexibles como TPU mediante impresoras 3D, lo que proporciona ventajas significativas en cuanto a facilidad de fabricación, personalización y costos bajos de impresión. Es importante destacar que el número de sensores y su posición pueden optimizarse para cada usuario, teniendo en cuenta el tamaño y la anatomía del pie.

La caracterización realizada a cada sensor piezo-resistivo de la plantilla, en función de la fuerza aplicada, reveló diferencias de sensibilidad. Estas diferencias pueden deberse a la posición del sensor o a sus deflexiones. Por lo tanto, se determina que cada sensor es único y debe ser calibrado por separado.

El sistema fue validado en pruebas dinámicas, donde el usuario caminó durante 10 metros. Los resultados mostraron una buena correspondencia con un error del 15.04%. Por lo tanto, contar con un sistema con la capacidad de estimar las fuerzas de reacción representa un paso significativo que podría conllevar beneficios tanto a nivel regional como nacional. Esto adquiere una importancia especial al considerar la falta de equipos necesarios para llevar a cabo diagnósticos de este tipo, una deficiencia que actualmente afecta a fisioterapeutas, geriatras y ortopedistas. Adicionalmente, el prototipo ha mejorado la infraestructura física del laboratorio de la Facultad de Electrónica y Te-

lecomunicaciones de la Universidad del Cauca al permitir la medición computarizada de variables asociadas a la marcha.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean reconocer y expresar su sincero agradecimiento al programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores del Departamento del Cauca y a la Universidad del Cauca [ISNI: 0000 0001 2158 6862] por el apoyo financiero durante este proyecto.

7. REFERENCIAS

- Burkhart, K., Grindle, D., Boussein, M., & Anderson, D. (2020). Between-session reliability of subject-specific musculoskeletal models of the spine derived from optoelectronic motion capture data. *Journal of Biomechanics, 112*. <http://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2020.110044>
- Caicedo, P., Rengifo, C., Rodriguez, L., Sierra, W., & Gómez, M. (2020). Dataset for gait analysis and assessment of fall risk for older adults. *Data in Brief, 33*. <http://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106550>
- Choi, H., Lee, C., Shim, M., Han, J., & Baek, Y. (2018). Design of an artificial neural network algorithm for a low-cost insole sensor to estimate the ground reaction force (GRF) and calibrate the center of pressure (CoP). *Sensors (Switzerland), 18*(12). <http://doi.org/10.3390/s18124349>
- Ciniglio, A., Guiotto, A., Spolaor, F., & Sawacha, Z. (2021). The design and simulation of a 16-sensors plantar pressure insole layout for different applications: From sports to clinics, a pilot study. *Sensors, 21*(4), 1–24. <http://doi.org/10.3390/s21041450>
- Company, T. (2020). Takscan calibration quick start guide for FlexiForce™ sensors. Retrieved from <https://www.tekscan.com/sites/default/files/FLX-QS-Calibration-RevG.pdf>
- Guo, R., Cheng, X., Hou, Z.-C., Ma, J.-Z., Zheng, W.-Q., Wu, X.-M., ... Ren, T.-L. (2021). A shoe-integrated sensor system for long-term center of pressure evaluation. *IEEE Sensors Journal, 21*(23), 27 037–27 044. <http://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3116249>
- Kumada, H., Takada, K., Terunuma, T., Aihara, T., Matsumura, A., Sakurai, H., & Sakae, T. (2020). Monitoring patient movement with boron neutron capture therapy and motion capture technology. *Applied Radiation and Isotopes, 163*. <http://doi.org/10.1016/j.apradiso.2020.109208>
- Langeard, A., Desjardins-Crépeau, L., Lemay, M., Payette, M.-C., Bherer, L., & Grenier, S. (2021). Cognitive performances better identify fallers than mobility assessment among older adults

- with fear of falling. **Aging Clinical and Experimental Research*, 33*(10), 2709–2714. <http://doi.org/10.1007/s40520-019-01338-9>
- Leal-Junior, A., Frizzera, A., Avellar, L., Marques, C., & Pontes, M. (2018). Polymer optical fiber for in-shoe monitoring of ground reaction forces during the gait. **IEEE Sensors Journal*, 18*(6), 2362–2368. <http://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2797363>
- O'Brien, M., Hidalgo-Araya, M., Mummidisetty, C., Vallery, H., Ghaffari, R., Rogers, J., ... Jayaraman, A. (2019). Augmenting clinical outcome measures of gait and balance with a single inertial sensor in age-ranged healthy adults. **Sensors (Switzerland)*, 19*(20). <http://doi.org/10.3390/s19204537>
- Omaña, H., Bezaire, K., Brady, K., Davies, J., Louwagie, N., Power, S., ... Hunter, S. (2021). Functional reach test, single-leg stance test, and Tinetti performance-oriented mobility assessment for the prediction of falls in older adults: A systematic review. *Physical Therapy*, 101(10). <http://doi.org/10.1093/ptj/pzab173>
- Oubre, B., Lane, S., Holmes, S., Boyer, K., & Lee, S. (2021). Estimating ground reaction force and center of pressure using low-cost wearable devices. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**. <http://doi.org/10.1109/TBME.2021.3120346>
- Park, C., Kim, B., Kim, Y., Eum, Y., Song, H., Yoon, D., ... Han, J. (2022). Carved turn control with gate vision recognition of a humanoid robot for giant slalom skiing on ski slopes. **Sensors*, 22*(3). <http://doi.org/10.3390/s22030816>
- Park, H. Y., Kim, J. H., & Yamamoto, K. (2022). A new stability framework for trajectory tracking control of biped walking robots. **IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18*(10), 6767–6777. <http://doi.org/10.1109/TII.2021.3139909>
- Paz, J., & West, M. P. (1994). *Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*.
- Schlenstedt, C., Brombacher, S., Hartwigsen, G., Weisser, B., Möller, B., & Deuschl, G. (2015). Comparing the fullerton advanced balance scale with the mini-BESTest and Berg balance scale to assess postural control in patients with Parkinson disease. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96*(2), 218–225. <http://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.09.002>
- Sebastião, E., Sandroff, B., Learmonth, Y., & Motl, R. (2016). Validity of the Timed Up and Go Test as a measure of functional mobility in persons with multiple sclerosis. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 97*(7), 1072–1077. <http://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.12.031>
- Seiberl, W., Jensen, E., Merker, J., Leitel, M., & Schwirtz, A. (2018). Accuracy and precision of loadsol® insole force-sensors for the quantification of ground reaction force-based biomechanical running parameters. **European Journal of Sport Science*, 18*(8), 1100–1109. <http://doi.org/10.1080/17461391.2018.1477993>

- Vukobratovic, M., & Branislav, B. (2004). Zero-moment point - thirty five years of its life. *International Journal of Humanoid Robotics, 1*, 157–173. <https://doi.org/10.1142/S0219843604000083>
- Whitney, S., Poole, J., & Cass, S. (1998). A review of balance instruments for older adults. *American Journal of Occupational Therapy, 52*(8), 666–671. <http://doi.org/10.5014/ajot.52.8.666>
- Zarzar, P. G. (2014). Force sensing insole for a balance enhancement system (Master's thesis). Carleton University.

Recibido 2024 Aceptado 2024

Las Normas Internacionales de Información Financiera: Una mirada desde la bibliometría

International Financial Reporting Standards: A look from bibliometrics.

Larent Tatiana Cuasquer Arteaga¹

David Esteban Guerrero Muñoz²

Ricardo Alfredo Rojas Medina³

Cómo citar:

Arteaga, L., Muñoz, D., Caicedo, P. & Medina, R. (2024). Las Normas Internacionales de Información Financiera: Una mirada desde la bibliometría. *Vía Innova*, 11 (1), 105-126. <https://doi.org/10.23850/2422068X.6815>

¹ Estudiante, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, lcuasquer@unal.edu.co.

² Estudiante, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, dguerreromu@unal.edu.co.

³ Profesor, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, rarojasm@unal.edu.co

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados del análisis bibliométrico a la investigación científica relacionada con las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF). Para la realización del estudio se tomó la información científica existente en las bases de datos Scopus y Web of Science hasta febrero de 2024, fecha en la que se realizó el estudio. El análisis se llevó a cabo utilizando la librería Bibliometrix del programa R-Project y los resultados permitieron identificar un crecimiento en la producción desde el año 2001, los autores relevantes y las revistas de mayor importancia. Se logró establecer que la productividad científica está concentrada en un pequeño grupo de investigadores, y la mayoría de los artículos son publicados por unas cuantas revistas. El tema principal estudiado es el impacto y la adopción de las NIIF y se encontró que Estados Unidos es uno de los países con mayor producción de artículos.

Palabras clave : Bibliometría, Normas Internacionales de Información Financiera, Análisis bibliométrico, Productividad científica.

ABSTRACT

This paper presents the results of the bibliometric analysis of scientific research related to International Financial Reporting Standards (IFRS). The study was carried out by taking the existing scientific information in the Scopus and Web of Science databases up to February 2024, the date on which the study was conducted. The analysis was carried out using the Bibliometrix library of the R-Project program and the results made it possible to identify a growth in production since 2001, the relevant authors and the most important journals. It was established that scientific productivity is concentrated in a small group of researchers, and most of the articles are published by a few journals. The main topic studied is the impact and adoption of IFRS and it was found that the United States is one of the countries with the highest production of articles.

Keywords: Bibliometrics; International Financial Reporting Standards; Bibliometric analysis; Scientific productivity.

8. INTRODUCCIÓN

La adopción de las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF) representa un hito significativo en la estandarización y transparencia de la información contable a nivel mundial. Este artículo presenta un análisis bibliométrico de la producción científica relacionada con las NIIF, utilizando las bases de datos de Scopus y Web of Science. El estudio se llevó a cabo utilizando el paquete bibliometrix, una librería que hace parte del programa R y con la cual es posible estudiar la productividad científica. El contenido del documento comprende el desarrollo metodológico del estudio, en el cual se indican las palabras claves que fueron utilizadas para desarrollar la búsqueda en las bases de datos y una síntesis estadística del tipo de información encontrada. Luego se procedió a identificar revistas y artículos más relevantes, los cuales van acompañados de los indicadores que miden su importancia. Se realiza un análisis del tema tomando la producción de los autores a través del tiempo y un estudio temático en el cual se identifican los temas motores, emergentes o en declive y los temas básicos.

9. REFERENTE TEÓRICO

107

9.1 Bibliometría

La bibliometría, también conocida como análisis bibliométrico, es una disciplina que posibilita el análisis cuantitativo de la producción de documentos científicos. Permite mapear y comprender tendencias dentro de un área de investigación específica, así como examinar la colaboración entre investigadores, la difusión del conocimiento y la identificación de autores e instituciones destacadas en el campo de estudio escogido (Moral, J., et al, 2020).

Esta disciplina contribuye a la toma de decisiones en la investigación, promoviendo la síntesis efectiva de conocimientos acumulados. Es una herramienta fundamental para evaluar tanto la productividad como el impacto de la investigación que además, proporciona análisis objetivos y fiables en un entorno donde la magnitud de las publicaciones académicas crece de forma exponencial, por lo que esta expansión voluminosa de la literatura científica hace que la síntesis, recopilación y análisis de artículos para la investigación, se vuelva cada vez más desafiante, dando así la importancia a la este campo (Moral, J., et al, 2020).

Una de las herramientas más usadas para realizar este tipo de análisis es el paquete Bibliometrix (Aria, M., y Cuccurullo, C., 2017), instrumento de análisis bibliométrico de código abierto

diseñado para evaluar y cuantificar la producción científica de un tema, y también permite identificar patrones, tendencias y relaciones en la literatura académica. Utilizando medidas y análisis estadísticos, el paquete Bibliometrix permite a investigadores y académicos realizar análisis de manera objetiva y sistemática de la información contenida en una amplia variedad de publicaciones científicas, lo cual resulta crucial en un entorno investigativo de constante crecimiento y cambio (Aria, M., y Cuccurullo, C., 2017). Bibliometrix es una herramienta flexible que se ha convertido en un recurso valioso para la comunidad académica en la gestión del crecimiento exponencial de la información científica y en la toma de decisiones informadas basadas en evidencia. Hace parte del lenguaje de programación R, que es ampliamente utilizado en los campos de estadística y análisis de datos; además de ser un entorno de software de código abierto, gratuito, que proporciona una amplia gama de herramientas y bibliotecas especializadas para el procesamiento, visualización y el modelado de datos (Gentleman, R., e Ihaka, R., 1993). Iniciado por Robert Gentleman y Ross Ihaka en la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda, a principios de la década de 1990, R ofrece una sintaxis sencilla que facilita tanto la manipulación de datos como la implementación de algoritmos. Su comunidad de usuarios y desarrolladores contribuye activamente a la creación de paquetes y extensiones para ampliar sus capacidades (Gentleman, R., e Ihaka, R., 1993).

108

9.2 Antecedentes

En Colombia, la Ley 1314 de 2009 regula los principios y normas contables, así como el aseguramiento de la información financiera, y señala las entidades competentes para promulgar y vigilar las normas. Su objetivo es conformar un sistema único y homogéneo de información altamente clara y de cumplimiento obligatorio, con el cual los estados financieros brinden información comprensible, transparente, comparable, confiable, pertinente y útil para la toma de decisiones (Ley 1314 de 2009 art.1).

Las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF) se caracterizan por definir los requisitos para la preparación de estados financieros generales, asegurando que la información sea relevante y precisa para accionistas, empleados, acreedores y el público en general. Están basadas en un marco conceptual que busca proporcionar orientación global y consistente, eliminando tratamientos opcionales y promoviendo la comparabilidad y transparencia de la información financiera a nivel internacional (Restrepo, J. & Muñoz, L. 2011).

La importancia del establecimiento de unas normas internacionales se da como respuesta a la globalización económica, ya que resulta necesario que los países adopten normas internacionales para garantizar la comparabilidad, transparencia y confiabilidad de la información financiera. Bajo este contexto, la implementación de las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF) es esencial para participar en la economía global y mantener la competitividad (Restrepo, J. & Muñoz, L. 2011).

El organismo emisor de las Normas Internacionales De Información Financiera (NIIF) es el Consejo de Normas Internacionales de Contabilidad o IASB por sus siglas en inglés, este es un emisor de normas de contabilidad del sector privado que ha ganado el prestigio a nivel mundial gracias a la confianza y el respaldo que ha obtenido por parte de los emisores de normas contables nacionales y los organismos de gobierno que las regulan. Parte de su éxito se ocasionó debido a que en la década de los 90, los organismos emisores de las normas contables eran escasas y de poca calidad, lo que llevó a la adopción de las IASB como el principal emisor de un conjunto de estándares contables en un marco globalmente aceptado (Zeff, S., 2012).

El origen de este organismo comienza después de la segunda guerra mundial; la diversidad de normas contables entre países era marcada, ya que cada una dependía de su contexto nacional. Sin embargo, en la década de los 50 se inició un periodo de rápido crecimiento del comercio internacional que conllevó grandes sumas de inversión extranjera directa en Europa, por lo que muchas empresas extendieron su alcance más allá de sus fronteras nacionales. Este fue un desafío que planteaba la importancia de unas normas contables a nivel internacional como una prioridad emergente en medio de la reconstrucción de Europa. La creación de multinacionales estadounidenses en Europa en la década de los 60 promovió el cambio para la armonización y la mejora de la comparabilidad de los estados financieros y en 1973, después de varias reuniones con organismos contables de varios países, se fundó el Comité de Normas Internacionales de Contabilidad (IASC) con el objetivo principal de crear las Normas Internacionales De Contabilidad (NIC) (Zeff S, 2012)

A finales de la década de los 90 se decidió reestructurar la IASC con el fin de mejorar la confiabilidad y la regulación financiera, rediseño que fue aprobado y en el que se cambió el nombre a Junta de Normas Internacionales de Contabilidad (IASB), cuyas normas se conocieron en adelante como Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF), emitidas en el 2004 (Zeff S, 2012).

10. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del análisis bibliométrico se consultaron las bases de datos de *Scopus* y *Web of Science*, por ser líderes en volumen de producción y calidad, y ser las bases de datos que usa el paquete Bibliometrix (Zhu y Liu, 2020). La ecuación de búsqueda utilizada fue establecida para las dos bases con las palabras claves “IFRS” (Normas internacionales de información financiera) e “IASB” (Junta de Normas Internacionales de Contabilidad) utilizando el conector “OR” entre ellas, en razón a que cualquier documento que tuviera alguna de estas características reunía los requisitos exigidos para ser considerado como fuente.

Para la base de datos de Scopus se realizaron filtros de búsqueda limitados a las áreas “Business Management and Accounting”, “Economics, Econometrics and Finance”, “Social Science”. Además se filtró a las *aiguillettes* categorías “IFRS,” “Value Relevance,” “Article,” “Decision Making”, “Accounting”, “Accounting standards”, “Financial Reporting”, “International Financial Reporting Standards”, “Regulation”, “Accountability”. En Web of Science, la búsqueda se refinó por las categorías “Business Finance” y “Management”.

Bajo la anterior situación, se identificaron un total de 2.675 registros, los cuales fueron sometidos a un proceso de depuración a fin de eliminar la duplicidad de documentos por encontrarse en las dos bases de datos. Realizada esta labor, se hallaron 422 archivos duplicados, los cuales fueron retirados, obteniendo así un total de 2.253 documentos.

Para la elaboración del estudio, se utilizaron las principales instrucciones del paquete Bibliometrix, enfocándose en aquellas que permiten realizar tanto un análisis general como un análisis más profundo de los datos. A partir de los resultados se espera identificar los países más productivos, así como los autores más prolíficos y las revistas más influyentes. Además, se busca detectar temas emergentes y tendencias predominantes, al igual que los principales motores de investigación. También se cuantifica la cantidad de artículos publicados y se obtendrá una visión integral del panorama de la producción científica en este ámbito.

En la tabla 1 se suministra en detalle la pantalla que arroja el paquete Bibliometrix una vez realizada la primera búsqueda, en ella se puede observar que el periodo considerado inicia en 2001 y finaliza en junio de 2024, fecha en la que se realiza el presente estudio. Adicionalmente se indica la cantidad de documentos que conforman la base de datos y se encuentra que la tasa de crecimiento promedio anual del tema es del 21,37 %, el promedio de citas por documento es de 15,06 y el total de estudios referenciados alcanzó una cifra de 85.001 estudios.

Tabla 1. Resumen de la información sobre el estudio

Período de tiempo	2001 - 2024
Fuentes (Revistas, Libros, etc.)	483
Documentos	2253
Tasa de Crecimiento Anual (%)	21,37%
Citas promedio por documento	15,06
Citas promedio por año por documento	1,603
Referencias	85001

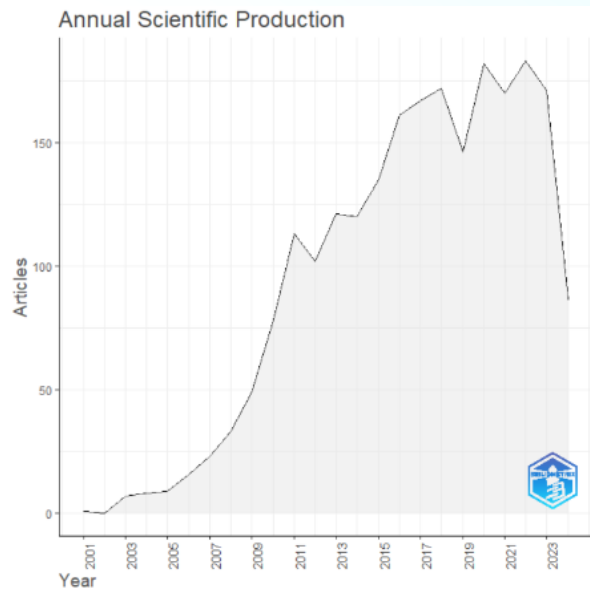
Fuente: elaboración propia

11. ANÁLISIS DE RESULTADOS

11.1 Producción

El comportamiento de la producción científica anual se ve reflejado en el Gráfico 1, en el cual se observan fluctuaciones significativas en la cantidad de artículos publicados. Se destaca el crecimiento progresivo desde el año 2003 hasta alcanzar su máximo pico en el año 2022, periodo en el cual se encuentran publicados 183 artículos. En el año 2024 se nota un fuerte descenso, sin embargo, debe recordarse que el análisis de este año solo comprende los meses de enero a abril, fecha en la que se hace el estudio. Por lo tanto, es muy probable que se realicen más publicaciones en el tiempo restante. En general, el período comprendido entre 2016 y 2023 se destaca por el aumento en el volumen de publicaciones, reflejando un período de actividad y crecimiento significativo en la producción científica.

Figura 1. Producción Científica Anual



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2 se indican los autores que han contribuido significativamente en la producción científica y que se han destacado por su actividad investigativa, medida por la cantidad de publicaciones realizadas. Al revisar los resultados, se destacan Nobes, Tsalavoutas, Kim y Bradbury con 14, 14, 13, y 12 artículos publicados, respectivamente. Nobes ha efectuado contribuciones en temas como el conservadurismo contable, la brecha de expectativas, la imagen fiel, entre otros (Elsevier, 2024). Tsalavoutas, por su parte, ha contribuido con una línea de investigación centrada en estados financieros, y adopción y desarrollo de investigación, desempeño de la firma e industria, responsabilidad social corporativa y desarrollo sostenible (Elsevier, 2024). Bradbury, por su parte, tiene aproximadamente 20 temas o líneas de investigación, entre las más destacadas están los estados financieros, informes de auditoría e inversores, responsabilidad social corporativa, voluntariado corporativo y análisis de contenidos (Elsevier, 2024).

Tabla 2. Autores más productivos

Autores		Artículos	
Autores		Artículos Fragmentados	
Nobes C		14	
Tsalavoutas I		14	
Kim J		13	
Nobes C		12.00	
Procházka D		7.50	
Tawiah V		7.17	

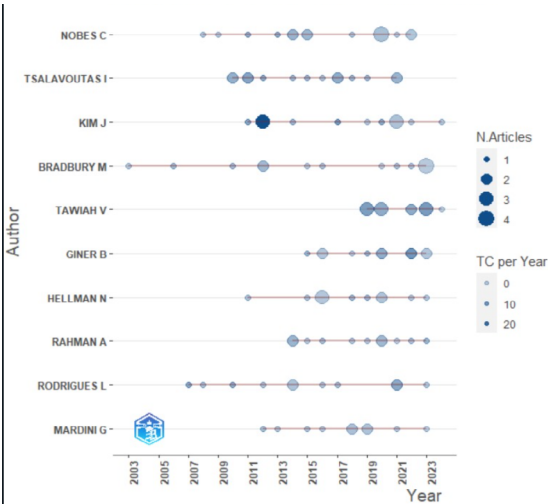
Autores	Artículos	Autores	Artículos Fragmentados
Bradbury M	12	Nurunnabi M	07.01
Tawiah V	12	Bradbury M	6.33
Giner B	11	Tsalavoutas I	6.33
Hellman N	11	Iatridis G	6.00
Rahman A	11	Le M A	05.08
Rodrigues L	11	Kim J	4.75
Mardini G	10	Boolaky P	4.58

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 2 se hace la representación gráfica de la producción científica de los principales autores. En la figura se observa que Nobes realizó su primera publicación en el año 2008 y su productividad se mantiene constante en el tiempo, salvo en el año 2024 en el cual publica cuatro artículos. De otra parte, Tsalavoutas inició su trabajo en 2010 y lo continuó hasta 2021, destacando que en los años 2010, 2011, 2017 y 2021, el autor publicó más de un artículo. En la tercera línea del gráfico aparece Kim J, quien comenzó su trabajo en 2011 y cuenta con 13 publicaciones. En los años 2012 y 2020, este autor publicó dos artículos en cada año. Se destaca la publicación de 2012 por su mayor índice de citación, lo que se representa con un color más intenso. Finalmente, Tawiah es el autor con el horizonte temporal más corto, comenzando en 2018 con tres artículos publicados. En 2019 y 2021 también publicó tres artículos cada año, mientras que en 2020 generó dos artículos y en 2023 uno.

113

Figura 2. Producción de autores en el tiempo



En la Tabla 3 se observan los artículos más citados. El primero es “The Economics of Disclosure and Financial Reporting Regulation: Evidence and Suggestions for Future Research” publicado por Leuz, C., y Wysocki, P. en 2016. El escrito cuenta con 671 citas y en este artículo se analiza la literatura empírica existente sobre las consecuencias de la adopción y divulgación de los informes financieros, incluyendo la evidencia sobre la adopción de las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF) (Leuz, 2016). Le sigue en número de citas el artículo titulado “Market Reaction to the Adoption of IFRS in Europe”. Este estudio cuenta con 416 citas y fue realizado por Armstrong en el 2010. En este trabajo se examinan las reacciones de los mercados de valores europeos a 16 eventos asociados con la adopción de las normas internacionales de información financiera (NIIF) en Europa, destacando la reacción positiva de empresas con información previa a la adopción de menor calidad y una reacción negativa en empresas ubicadas en países con derecho codificada (Armstrong et al, 2010). El tercer artículo más citado se titula: “Does Mandatory Adoption of International Financial Reporting Standards in the European Union Reduce the Cost of Equity Capital?” Trabajo realizado por Li en 2010, en el que se examina si la adopción obligatoria de las NIIF en la Unión Europea reduce el coste del capital social. El estudio se realizó en un periodo de 1995 a 2006 y se encontró resultados afirmativos en los que la adopción de las NIIF reduce significativamente el coste del capital social en 47 puntos básicos.

Tabla 3. Artículos más citados

Autor	Año	Artículo	DOI	Citas
Leuz C	2016	The Economics of Disclosure and Financial Reporting Regulation: Evidence and Suggestions for Future Research	10.1111/1475-679X.12115	671
Armstrong	2010	Market Reaction to the Adoption of IFRS in Europe	10.2308/accr.2010.85.1.31	416
Li Sq	2010	Does Mandatory Adoption of International Financial Reporting Standards in the European Union Reduce the Cost of Equity Capital?	10.2308/accr.2010.85.2.607	395
Hans B	2013	Mandatory IFRS reporting and changes in enforcement	10.1016/j.jacceco.2013.10.007	393

Fuente: Elaboración Propia

11.2 Índices de productividad

El índice H es un indicador usado para medir la productividad y el impacto de las publicaciones científicas de un autor; combina el número de documentos publicados por un autor con el número de citas que estos han recibido, por lo tanto, es útil para evaluar tanto la cantidad como la calidad de la producción científica (Arencibia J, Carvajal, R, 2008).

El índice G es una extensión del índice H, que busca reflejar no solo la cantidad de publicaciones de un autor sino también su impacto en términos de citas, siendo más sensible al considerar el impacto de las citas de manera más equitativa y permitir una evaluación más precisa del impacto de las publicaciones (Arencibia, J., Carvajal, R, 2008).

En la Tabla 4 se suministran los autores con los índices G y H más representativos. En primer lugar, se encuentra Tsalavoutas con un total de 14 publicaciones y los índices H y G más altos, con valores de 11 y 14 respectivamente. Otros autores destacados son Nobes con un índice H de 9 y un índice G de 14; también se encuentra Kim J. quien presenta el mayor número de citas totales (630) y unos índices H y G de 7 y 13 respectivamente. Finalmente, está el autor Tawiah V., quien presenta su primer escrito en el año 2019 y cuenta con un índice H de 7 y un índice G de 11.

Tabla 4: Índices H Y G De Autores

Autor	Índice H	Índice G	Citas Totales	Número De Publicaciones	Primera Publicación
Bradbury M	7	12	183	12	2003
Giner B	5	11	140	11	2015
Hellman N	5	9	97	11	2011
Kim J	7	13	630	13	2011
Mardini G	5	8	80	10	2012
Nobes C	9	14	307	14	2008
Nurunnabi M	8	10	248	10	2014
Procházka D	6	8	79	10	2011
Rahman A	6	10	120	11	2014
Rodrigues L	9	11	369	11	2007
Street D	8	9	387	9	2004
Strouhal J	4	8	70	10	2008

Autor	Índice H	Índice G	Citas Totales	Número De Publicaciones	Primera Publicación
Tarca A	8	10	444	10	2007
Tawiah V	7	11	128	12	2019
Tsalavoutas I	11	14	504	14	2010

Fuente: Elaboración Propia

En lo concerniente a la calidad de las publicaciones en revistas, estas también son evaluadas mediante los índices H y G. En este aspecto se destaca la Revista International Journal of Accounting, con un total de 1788 citas, un índice H de 23 y un índice G de 41. Le sigue la revista Accounting and Business Research, que totaliza 1.741 citas y presenta un índice H de 22 y un índice G de 41. Otra revista para destacar es Accounting in Europe, que presenta índices H y G de 17 y 23, respectivamente, y cuenta con un número total de citas de 819.

Tabla 5. Revistas más productivas y de mayor impacto

Revista	Índice H	Índice G	Citas Totales	Número de Publicaciones	Primera Publicación
Accounting and Business Research	22	41	1741	54	2007
Accounting and Finance	14	24	628	41	2009
Accounting Forum	15	25	642	32	2004
Accounting in Europe	17	23	819	94	2015
International Journal of Accounting	23	41	1788	63	2006
International Journal of Accounting and Information Management	14	19	485	42	2009
Journal of Applied Accounting Research	14	21	555	47	2006
Journal of Financial Reporting and Accounting	10	14	298	42	2014

Revista	Índice H	Índice G	Citas Totales	Número de Publicaciones	Primera Publicación
Journal of International Accounting Auditing and Taxation	7	13	199	26	2019
Journal of International Accounting Research	15	27	787	49	2009

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 3 se muestra el comportamiento de las publicaciones para las principales fuentes a nivel individual y en conjunto. Allí se observa cómo la producción fue generada a partir del año 2005 y, al llegar 2008, se presenta un cambio significativo en el volumen de publicaciones, en especial con las revistas Accounting in Europe e International Journal of Accounting, esto por los crecimientos notorios en la producción justificados por la pendiente que presentan sus curvas hasta llegar al año 2023, en el que se encuentra un total de publicaciones superior a 80 para la revista Accounting in Europe y de 50 para la revista Journal of Accounting.

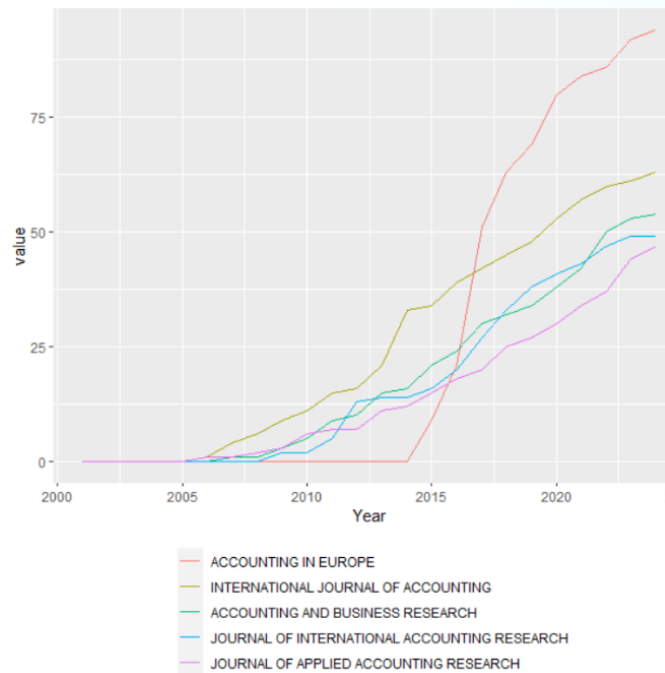
“Accounting in Europe” es una revista académica, publicada por Taylor & Francis en asociación con la European Accounting Association. Divulga investigaciones tres veces al año, centrándose en normas y regulaciones contables, contabilidad financiera y de gestión, auditoría, ética y responsabilidad social, historia de la contabilidad e innovaciones tecnológicas. Su objetivo es avanzar en el conocimiento contable y fomentar el debate entre académicos, profesionales y reguladores, con un enfoque especial en el contexto europeo (Taylor & Francis 2024).

El “International Journal of Accounting” es una revista académica publicada por Elsevier, que presenta investigaciones cuatro veces al año. Se enfoca en normas y regulaciones contables internacionales, contabilidad financiera y de gestión, auditoría, gobierno corporativo, ética y la intersección de la contabilidad con la economía y las finanzas. Su objetivo es avanzar en el conocimiento contable global y fomentar el intercambio de ideas entre académicos y profesionales de todo el mundo (Scimago, 2024).

“Accounting and Business Research” es una revista académica publicada por Taylor & Francis, que da a conocer investigaciones cuatro veces al año. Se enfoca en contabilidad financiera y de gestión, auditoría, gobierno corporativo, ética, responsabilidad social e innovaciones tecnológicas. Su objetivo es avanzar en el conocimiento de la contabilidad y fomentar el intercambio de ideas entre

académicos y profesionales (Scimago, 2024). En el Gráfico 3 se muestra la evolución y crecimiento de estas revistas mediante un estudio comparativo.

Figura 3. Evolución de las publicaciones para las principales fuentes

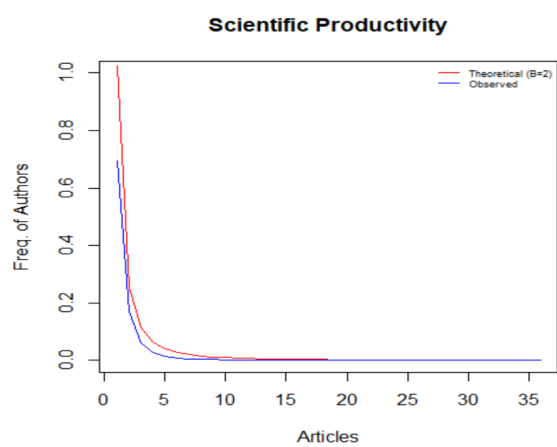


Fuente. Elaboración propia

11.3 Ley De Lotka

La Ley de Lotka, es un modelo que hace una descripción gráfica de la productividad de los autores. Fue concebida inicialmente por Alfred J. Lotka en 1926 como un modelo que establece si la productividad científica está concentrada en determinar si un pequeño grupo de investigadores realiza un alto número de publicaciones o si son muchos autores quienes generan pocos contenidos sobre un tema de interés en particular (Restrepo, C. & Urbizagástegui, R., 2010). Al realizar este análisis bibliométrico se comprobó que el modelo cumple la ley de Lotka, es decir, un gran número de artículos están concentrados en un grupo pequeño de investigadores. Los resultados del modelo establecido son suministrados en el Gráfico 4, en donde la línea roja muestra el modelo teórico y la azul indica los valores observados; allí se puede comprobar la calidad del ajuste, se encuentra que en la medida que se vaya desplazando por el eje horizontal la cantidad de artículos va aumentando, pero el número de autores disminuya de manera notoria.

Figura 4: Ley de Liotka



11.4 Ley De Bradford

La ley de Bradford, conocida también como la ley de dispersión de la literatura científica, describe una relación cuantitativa entre las revistas y los artículos. Esta ley establece que la mayoría de los artículos se concentran en un pequeño número de revistas, mientras que solo una pequeña proporción de artículos se distribuye en una gran cantidad de revistas (Rojas M. et al, 2024)

Según la información del paquete Bibliometrix, de un total de 2.253 documentos, las primeras diez revistas con mayor cantidad de publicaciones acumulan un total de 496 artículos, por lo que un grupo pequeño de revistas contienen un grupo considerable de publicaciones.

Tabla 6. ley de Bradford

	Revista	Rango	Frecuencia	Frecuencia acumulada
1	Accounting in Europe	1	94	94
2	International Journal of Accounting	2	63	157
3	Accounting and Business Research	3	54	211
4	Journal of International Accounting Research	4	49	260
5	Journal of Applied Accounting Research	5	47	307
6	International Journal of Accounting and Information	6	42	349
7	Journal of Financial Reporting and Accounting	7	42	391

8	Accounting of Finance	8	41	432
9	Accounting Forum	9	32	464
10	Accounting Review	10	32	496

Fuente: Elaboración Propia

11.5 Estudio temático por medio de análisis de clústeres

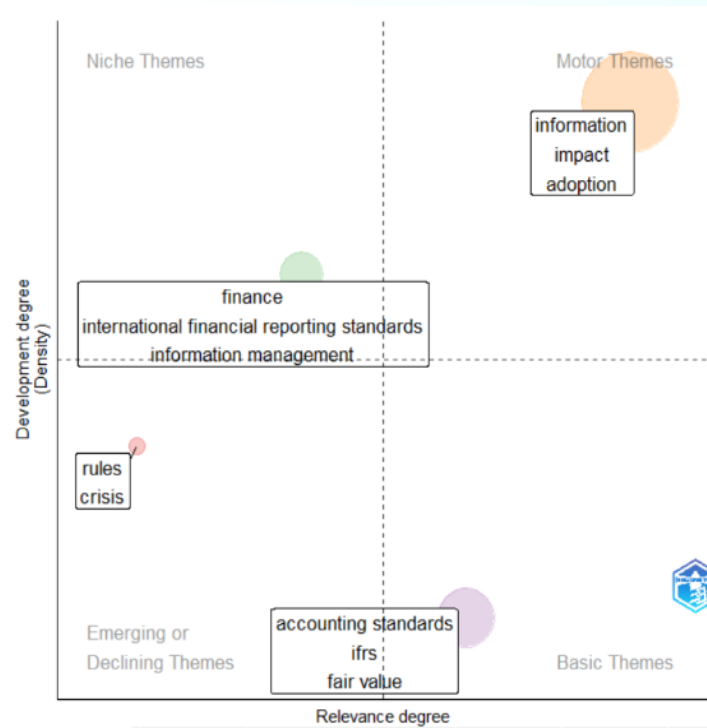
El estudio se realiza a través de un mapa en el que se segmentan cuatro clústeres o grupos que presentan la característica de ser muy homogéneos al interior del grupo y heterogéneos entre ellos. Los resultados se muestran en el Gráfico 5 en el que el primer cuadrante, ubicado en la parte superior derecha, muestra los temas motores, es decir, los que están desarrollados dentro de la literatura científica y que tienen que ver con conceptos aplicables a temas referentes a “information”, “impact” y “adoption”, lo que indica que el cuadrante se identifica con el tema: impacto de la adopción de la información financiera.

En el cuadrante superior izquierdo se encuentran los temas nicho, es decir, que tienen relaciones y desarrollos importantes en su propio ámbito de estudio, pero pocas conexiones fuera de este. Aquí se encuentran los términos “finance”, “information management” e “international financial reporting standard” lo que indica que el cuadrante se identifica con la gestión de la información según las normas internacionales de información financiera para el ámbito de las finanzas.

Los temas del cuadrante inferior izquierdo son aquellos que no están muy bien desarrollados y no son relevantes dentro del campo de estudio por su inexactitud y poca concentración, aquí se encuentran los términos “rules” y “crisis”.

Por último, en el cuadrante inferior derecho contiene temas generales y básicos. Aquí se observan los términos “IFRS”, “Accounting Standard” y “fair value”, lo que indica que el tema central de estudio para el cuadrante es el valor razonable en las NIIF.

Figura 5. Mapa temático basado en el análisis de clústeres de palabras claves.



Fuente: Elaboración propia

121

11.6 Redes de Colaboración

En la Tabla 7 se observan las publicaciones realizadas por cada país y la colaboración existente entre ellos. En primer lugar, aparecen el total de publicaciones efectuadas por el país, las cuales se identifican bajo el título de Artículos; este valor se discrimina indicando las publicaciones realizadas solamente por el país (SCP) y las publicaciones de cada país en colaboración con otros países que se muestran bajo el título MCP. Adicionalmente se encuentra la proporción de publicaciones realizadas con otro país respecto al total de publicaciones realizadas por el país de origen, lo que se ha denominado ratio MCP y que tiene como fórmula de cálculo la siguiente expresión: $(MCP / ARTÍCULOS)$.

Es el caso de Estados Unidos, este país cuenta con 233 artículos de los cuales 185 fueron realizados solamente por los E.U. (SCP) y 48 fueron hechos en colaboración con otros países (MCP). Estas cifras establecen una proporción de publicaciones de 2.060, valor obtenido al calcular la proporción de artículos producidos en colaboración con otros países respecto al número total de publicaciones, es decir, $(MCP / ARTÍCULOS)$. Le siguen en la lista Reino Unido y Australia.

Tabla 7: Producción científica por países y colaboración entre ellos

País	Artículos	Frecuencia	SCP	MCP	Ratio MCP
EE. UU.	233	1.272	185	48	2.060
Reino Unido	168	917	118	50	2.976
Australia	154	841	129	25	1.623
China	83	453	68	15	1.807
Brasil	78	426	71	7	897
España	71	388	67	4	563
Italia	69	377	59	10	1.449
Alemania	66	360	55	11	1.667
Canadá	53	289	42	11	2.075
Francia	49	267	40	9	1.837

Fuente: Elaboración propia

12. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

122

En el artículo titulado: “Stakeholders’ Response to IFRS adoption/ convergence on accounting quality and disclosures: A bibliometric review of Scopus database”, escrito por Bathla (2023), se realiza un estudio bibliométrico sobre la convergencia en las NIIF en la base de datos Scopus. Allí se indica que la producción media de citas es de 9.04, lo que indica un crecimiento acelerado de documentos; manifiesta además que 259 autores han analizado las percepciones sobre la aplicación de las NIIF, el promedio de autores por documento es de 2.44 y la colaboración entre países es escasa.

Estos resultados difieren con los obtenidos en el presente estudio, ya que aquí la producción media de citas es de 13.19M; la tasa de crecimiento anual de documentos es de 14.64 %, el volumen de producción ha crecido de una manera exponencial en especial en la última década, el ratio de colaboración entre países es muy bajo confirmada la baja colaboración entre países. Al justificar las diferencias existentes entre el número de citas y el promedio de autores por documento, estas se originan en razón a que el estudio referenciado tomó solamente la base de datos de Scopus, mientras que el que se está realizando abarca los sistemas Scopus y Vos.

13. CONCLUSIONES

A través del análisis bibliométrico realizado, se ha obtenido una visión integral y clara del desarrollo y las tendencias en la investigación sobre las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF). Este análisis destaca la influencia de ciertos autores, países y publicaciones en este campo a lo largo del tiempo, así como los temas clave que impulsan la investigación actual y que pueden proporcionar indicios sobre la dirección futura de los estudios.

Entre los hallazgos más destacados, se observa un crecimiento notable en la producción científica a partir del año 2000, coincidiendo con el establecimiento de la Junta de Normas Internacionales de Contabilidad (IASB) como organismo emisor de las NIIF. Este hecho sugiere que la formalización y el reconocimiento global de las NIIF generaron un interés significativo en la investigación relacionada.

Durante la primera década del nuevo milenio, este crecimiento fue constante y rápido, reflejando la creciente importancia y adopción de las NIIF en la práctica contable y financiera a nivel global. En este contexto, la revista *Accounting In Europe* se identifica como la más prolífica en términos de publicaciones sobre las NIIF, consolidándose como una plataforma clave para la difusión de investigaciones en este ámbito. Por otro lado, la *International Journal of Accounting* se destaca por su alta calidad, medida por los índices H y G, lo que sugiere que los artículos publicados en esta revista tienen un alto impacto y son ampliamente citados.

En cuanto a los autores, Nobes C. es identificado como el de mayor calidad y producción en este campo, lo que resalta su influencia y contribución significativa a la literatura sobre las NIIF. Sus investigaciones abarcan temas como el conservadurismo contable, la brecha de expectativas y la imagen fiel, demostrando un enfoque amplio y profundo en áreas clave de la contabilidad. A nivel de países, Estados Unidos emerge como el más productivo en la investigación sobre las NIIF, lo que podría reflejar la influencia de su mercado financiero y académico en el desarrollo y adopción de normas contables internacionales.

El artículo más citado es "The Economics of Disclosure and Financial Reporting Regulation: Evidence and Suggestions for Future Research" publicado por Leuz, C. en 2016. Es fundamental en el campo, indicando su relevancia y la influencia de su autor en la investigación sobre las NIIF. También es recalable el hecho de que en todos los títulos de los artículos más citados está, de alguna manera, relacionada la adopción de las NIIF, lo cual indica que este tema ha sido una de las principales preocupaciones e intereses de la comunidad académica. Además, la confirmación de la

Ley de Lotka sugiere que un pequeño grupo de investigadores produce una proporción significativa de la literatura en este campo, lo cual es común en muchas áreas de investigación científica.

Finalmente, los temas motores identificados son “información”, “impacto” y “adopción”, lo que indica que la investigación se centra en el impacto de la adopción de las NIIF en la calidad y transparencia de la información financiera. Estos temas son críticos para entender cómo las NIIF ofrecen claridad en las prácticas contables y proveen información para la toma de decisiones financieras a nivel global.

14. IMPACTOS

El impacto de este estudio radica principalmente en la capacidad para informar a la comunidad académica, científica y profesional sobre las tendencias del campo de las NIIF, facilitando el desarrollo de conocimientos sobre la calidad, transparencia y confiabilidad de la información financiera. Esto incide de forma positiva en la toma de decisiones de inversión, aumenta la confiabilidad financiera en un país donde este tema haya sido ampliamente desarrollado, además es un buen indicador de que en cuestión de normativas, se está garantizando que la información sea transparente.

124

15. REFERENCIAS

- Arencibia, J., & Carvajal, R (2008). Los índices H, G y R: su uso para identificar autores líderes en el área de la comunicación durante el período 2001-2006. *ACIMED*, 17(4). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352008000400007&lng=es&tlng=es.
- Aria, M., & Cuccurullo, C (2017). Bibliometrix story. <https://www.bibliometrix.org/home/index.php>
- Aria, M., & Cuccurullo, C (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Armstrong, C. S., Barth, M. E., Jagolinzer, A. D., & Riedl, E. J (2010). Market reaction to the adoption of IFRS in Europe. *The accounting review*, 85(1), 31-61. <https://doi.org/10.2308/accr.2010.85.1.31>
- Bathla, S., Sharma, A. K., & Kandpal, V (2023). Stakeholders' response to IFRS adoption/convergence on accounting quality and disclosures: A bibliometric review of Scopus database. *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23912>

- Christensen, H. B., Hail, L., & Leuz, C (2013). Mandatory IFRS reporting and changes in enforcement. *Journal of Accounting and Economics*, 56(2-3), 147-177. <https://doi.org/10.1016/j.jaccoco.2013.10.007>
- Consejo Técnico de la Contaduría Pública (2012). *Direccionamiento Estratégico del Proceso de Convergencia de las Normas de Contabilidad e Información Financiera y de Aseguramiento de Información, con estándares internacionales*. Ministerio de Industria y Comercio. Recuperado de <https://www.javeriana.edu.co/personales/hbermude/documentosmodernizacion/DireccionamientoEstrategico2.pdf>
- Elsevier (2024). Perfil del autor: Christopher W. Nobes. Recuperado de <https://www-scopus-com.ezproxy.unal.edu.co/authid/detail.uri?authorId=7003376534#tab=topics>
- Elsevier (2024). Perfil del autor: Ioannis Tsalavoutas. Recuperado de <https://www-scopus-com.ezproxy.unal.edu.co/authid/detail.uri?authorId=36471079300>
- Elsevier (2024). Perfil del autor: Michel Eric Bradbury. Recuperado de <https://www-scopus-com.ezproxy.unal.edu.co/authid/detail.uri?authorId=18933679600>
- Gentleman, R., & Ihaka, R (1993). What is R?. R Project for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/about.html>
- Ley 1314 de 2009. Por la cual se regulan los principios y normas de contabilidad e información financiera y de aseguramiento de información aceptados en Colombia, se señalan las autoridades competentes, el procedimiento para su expedición y se determinan las entidades responsables de vigilar su cumplimiento. 13 de julio de 2009. Diario Oficial No. 47.409.
- Leuz, C., & Wysocki, P (2016). The economics of disclosure and financial reporting regulation: Evidence and suggestions for future research. *Journal of Accounting Research*. <https://doi.org/10.1111/1475-679X.12115>
- Li, S (2010). Does mandatory adoption of International Financial Reporting Standards in the European Union reduce the cost of equity capital?. *The accounting review*, 85(2), 607-636. <https://doi.org/10.2308/accr.2010.85.2.607>
- Ministerio de Comercio (2012). Documento de sustentación de la propuesta a los Ministerios de Hacienda y Crédito Público y de Comercio, Industria y Turismo sobre la aplicación de las Normas Internacionales de Información Financiera en Colombia. <https://www.ctcp.gov.co/proyectos/contabilidad-e-informacion-financiera/documentos-discusion-publica/documento-de-discusion-publica-mejoras-sobre-el-du/1-recomendacion-del-ctcp-16-de-octubre-de-2012>
- Moral, J., et al (2020). Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. *El profesional de la información*. <https://doi.org/10.3145/epi.2020.ene.03>

- Restrepo, C., & Urbizagástegui, R (2010). La productividad de los autores en la ciencia de la información colombiana. *Ciência da Informação*, 39, 09-22. https://www.researchgate.net/publication/278007592_La_productividad_de_los_autores_en_la_ciencia_de_la_informacion_colombiana
- Restrepo, J., & Muñoz, L (2011). Colombia: hacia la adopción y aplicación de las NIIF y su importancia. Universidad de Antioquia. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/adversia/article/view/10954>
- Rojas Medina, R., & Muñoz Callejas, R (2024). Propuesta para realizar análisis bibliométricos utilizando el paquete bibliometrix. Universidad Nacional de Colombia.
- Scimago (2024). Accounting and Business Research. Recuperado de <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=28034&tip=sid&clean=o>
- Scimago (2024). International Journal of Accounting. Recuperado de <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=29804&tip=sid&clean=o>
- Taylor & Francis (2024). Accounting in Europe: About This Journal. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/journals/raie20/about-this-journal#advertising-information>
- Zeff, S (2012). The evolution of the IASC into the IASB, and the challenges it faces. *The Accounting Review*. <https://publications.aaahq.org/accounting-review/article-abstract/87/3/807/3355/The-Evolution-of-the-IASC-into-the-IASB-and-the>
- Zhu, Y., & Liu, X (2020). A tale of two databases: The use of Web of Science and Scopus in academic papers. *Scientometrics*. <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-020-03387-8>

Aplicación móvil para las unidades de servicio del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar en el municipio de Fusagasugá -Colombia¹

Mobile application for the service units of the Colombian Institute of Family Welfare in the municipality of Fusagasugá - Colombia

Jairo Eduardo Márquez Díaz²

Bryan Emmanuel Hernández-Gutiérrez³

Juan Pablo Chaparro-Vásquez⁴

Cómo citar:

Díaz, J., Hernández-Gutiérrez, B. & Chaparro-Vásquez, P. (2024). Aplicación móvil para las unidades de servicio del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar en el municipio de Fusagasugá -Colombia. *Vía Innova*, 11 (1), 127-149. <https://doi.org/10.23850/2422068X.6818>

¹ Aplicación móvil para la estimulación psicomotriz, reducción de hábitos de sedentarismo en la primera infancia, municipios de Colombia, Muzambinho Brasil.

² Doctor en Educación por la Universidad de Baja California (UBC - México), Maestría en seguridad de la información empresarial, Universidad de Barcelona (España), Maestría en Bioética, Universidad El Bosque (Colombia), Ingeniero de Sistemas, Lic. En Matemáticas y Física. Docente Investigador de la Universidad de Cundinamarca, jemarquez@ucundinamarca.edu.co. Director de grupos de investigación Nanoingeniería y Actividad de Investigación Científica Académica (S@R@). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6118-3865>

³ Ingeniero en Sistemas de la Universidad de Cundinamarca, con experiencia en diseño, instalación y pruebas de sistemas de software. behernandez@ucundinamarca.edu.co, Chía. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1253-271X>

⁴ Ingeniero de Sistemas de la Universidad de Cundinamarca, desarrollador de software de la Misión TIC 2022, jpchaparro@ucundinamarca.edu.co, Chía. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1790-2890>

RESUMEN

Las habilidades motoras gruesas son un recurso fundamental en la atención a la primera infancia. Esta atención requiere planificación en las actividades a desarrollar con los infantes que asisten a las Unidades de Servicio (UDS) pertenecientes al Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) en el municipio de Fusagasugá - Colombia. Con la implementación de una aplicación móvil diseñada a la medida en un medio que carecía de este recurso, resulta invaluable no solo como herramienta de asistencia, sino también como apoyo a las Unidades de Servicio de la región, ayudando a profesores y madres comunitarias a planificar sus labores diarias. El diseño de la aplicación se fundamenta en la metodología Mobile-D, caracterizada por ser flexible y adaptable a las necesidades cambiantes de los usuarios, proporcionando un rápido desarrollo e iteración. Los resultados muestran que la aplicación facilita la gestión de los recursos pedagógicos y fichas de registro de las actividades que deben ser diligenciadas permanentemente. El diseño, desarrollo y ejecución de los recursos pedagógicos gestionados a través de la aplicación, facilitan los procesos académicos y administrativos que anteriormente se realizaban de forma manual. De acuerdo con las conclusiones, el aplicativo móvil cumplió con los requerimientos utilizando herramientas como React Native, Sequelize y Express, facilitando su planificación y ejecución. Las lecciones aprendidas resaltan la importancia de involucrar a los usuarios en la planificación y la elección adecuada de las herramientas para aumentar la accesibilidad y el alcance del aplicativo.

128

Palabras clave: Primera Infancia, Habilidades Motoras, Madres Comunitarias, Aplicación Móvil.

ABSTRACT

Gross motor skills are a fundamental resource in early childhood care, which requires planning in the activities to be developed with infants who attend the service units (UDS) belonging to the Colombian Institute of Family Welfare (ICBF) in the municipality of Fusagasugá-Colombia. With the implementation of a custom-designed mobile application in a medium that lacked this resource, it turns out to be invaluable not only as an assistance tool, but also as a support for the service units of the region, helping teachers and community mothers to plan their daily tasks. The design of the application is based on the Mobile-D methodology, characterized by being flexible and adaptable to the changing needs of users, providing rapid development and iteration with them. The results show that the application facilitates the management of pedagogical resources and registration forms of the activities that must be permanently completed. The design, development and execution of the pedagogical resources managed through the application facilitate academic and administrative processes that were previously carried out manually. According to the conclusions, the mobile application met the requirements using tools such as React Native, Sequelize and Express, facilitating its planning and execution. The lessons learned highlight the importance of involving users in the planning and the appropriate choice of tools to increase the accessibility and reach of the application.

129

Keywords: Early Childhood, Motor Skills, Community Mothers, Mobile Application.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) ejecuta políticas para brindar atención integral a la primera infancia, promoviendo equidad e inclusión. La estrategia “De Cero a Siempre” busca articular organizaciones y servicios en cooperación internacional para apoyar esta atención. El ICBF brinda educación enfocada en el desarrollo de habilidades motoras gruesas a niños desde la gestación hasta los seis años.

Sin embargo, un problema detectado en este servicio es que las consultas y registros de las Habilidades Motoras Gruesas (HMG) se llevan de manera manual, demandando tiempo y recursos para el personal que allí labora. En consecuencia, se propone el desarrollo de una aplicación móvil para registrar y monitorear las actividades de los niños, ofreciendo un seguimiento detallado de su progreso, incluyendo herramientas para gestionar y programar actividades, facilitando la planificación y organización diaria. La aplicación garantiza la seguridad y privacidad de los datos que se utilizarán para realizar análisis de habilidades motoras y salud, brindando una base sólida para la toma de decisiones informadas en el cuidado infantil.

2. HABILIDADES MOTORAS GRUESAS

Las Habilidades Motoras Gruesas (HMG) involucran los movimientos musculares de los brazos, piernas y torso (Cekin y Erkmen, 2020; Jung et al., 2020). Romero (2021) afirma respecto a las HMG que “permiten la construcción de competencias necesarias para el ser humano, entendiendo que incide en aspectos fundamentales como el desarrollo social, cultural, afectivo, psicológico, físico y espiritual, los cuales hacen parte de su ser biológico” (p. 35).

Estas habilidades son realizadas de manera rutinaria por todas las personas en diferentes grados, ya que están condicionadas por diferentes factores laborales, físicos, sanitarios e incluso religiosos (Laguna, et al., 2021). Estas habilidades se desarrollan naturalmente, pero no deben subestimarse ya que implican elementos fundamentales que contribuyen al bienestar general de una persona. Por ejemplo, las HMG están presentes en la coordinación muscular, la cual está dirigida por el sistema neurológico. Si este sistema falla, puede afectar directamente el equilibrio y la coordinación.

Las HMG son la base de las habilidades motoras finas (Paul et al., 2020; Ahmad et al., 2020), las cuales permiten que un individuo pueda realizar movimientos pequeños y precisos que requie-

ren un alto grado de coordinación, como acariciar a una mascota o sostener un objeto delicado. Estas habilidades se relacionan con diversas destrezas (Espinoza y Rodríguez, 2017) que se adquieren desde la primera infancia, como el equilibrio, la coordinación, la fuerza física, el tiempo de reacción y la conciencia corporal. Por lo tanto, es esencial que padres y profesores presten especial atención a estos aspectos durante la infancia; esto conlleva a observar escenarios donde los niños presentan un tono muscular no tan pronunciado, reflejando al exterior como “escuálidos o flojos”, mientras que otros presentan un tono muscular pronunciado que se caracteriza por su rigidez (Ruiz, et al., 2020).

Cuando se presenta una limitación en las HMG, se puede afectar significativamente la calidad de vida y la autoestima de un individuo, ya sea en tareas importantes como desplazarse o interactuar con los demás. También, pueden ser inhabilitadas por diversas causas, entre las más comunes se encuentran las lastimaduras, enfermedades y deformidades congénitas. En la población infantil, las HMG son fundamentales en el desarrollo psicomotor, y su limitación puede afectar la capacidad del niño para caminar, correr, gatear, patear, mover brazos y piernas (Savelsbergh et al., 2020).

Desarrollar estas habilidades es fundamental para el desarrollo físico, social, emocional y cognitivo de los niños. De no fomentarse, puede haber consecuencias negativas como dificultades con las actividades físicas y la coordinación, disminución de la movilidad e independencia, mayor riesgo de lesiones, dificultades para participar en actividades grupales y sentimientos de inhibición por sus habilidades. Además, el desarrollo cognitivo también puede verse afectado, ya que el cerebro y el cuerpo están estrechamente relacionados y el movimiento y la actividad física desempeñan un papel fundamental en el desarrollo del cerebro. En casos severos, puede llevar a una discapacidad física a largo plazo.

131

2.1 Modalidades de atención a la primera infancia

El ICBF ha definido cuatro etapas para el desarrollo de las habilidades motrices básicas en los niños. La primera etapa se extiende desde el periodo prenatal hasta los seis años, y se centra en la exploración de las capacidades perceptivas de los niños, ayudándoles a conocer su cuerpo y a entender cómo interactúa con el entorno que los rodea. Para facilitar este proceso, es fundamental llevar a cabo actividades que promuevan la coordinación de las extremidades superiores e inferiores, utilizando el juego como herramienta principal.

La segunda etapa ocurre entre los 7 a 9 años, donde las habilidades motrices se vuelven más complejas y se van perfeccionando de manera lúdica. La tercera etapa abarca las edades de 10 a 13 años, donde se espera que se desarrolle de manera ideal las habilidades motoras a través de actividades deportivas o expresivas. La cuarta etapa comprende las edades de 14 a 17 años, donde las habilidades motrices básicas ya están lo suficientemente pulidas para el desarrollo de actividades que demandan concentración, fuerza y destreza, como la gimnasia.

Conforme a lo anterior, el proyecto se enfocó en el estudio particular de la primera etapa, donde las destrezas motrices se exploran a través de la coordinación de la movilidad en las extremidades y diferentes partes del cuerpo. En esta etapa, es importante fomentar movimientos que demandan actividades cognitivas, sensoriales y motoras específicas de mayor destreza, ya que esto es fundamental para el desarrollo de conexiones sinápticas y la construcción de una identidad social en los primeros años.

El ICBF ofrece diferentes servicios integrales a la población infantil de 18 meses a 5 años, así como a personas gestantes y lactantes, con el fin de promover el desarrollo integral en la educación inicial (Jiménez et al., 2021). Estas modalidades de atención se adaptan a las demandas y necesidades específicas de cada región y comunidad, brindándose a grupos de 10 a 14 niños en viviendas de las madres o padres comunitarios, o en espacios destinados por la comunidad o entes territoriales. El servicio funciona los cinco días hábiles de la semana durante ocho horas al día, y se proporciona alimentación en tres tiempos de consumo que deben cubrir el 70 % de las necesidades de ingesta diarias de energía y nutrientes.

132

El ICBF (2020) ofrece diversas modalidades de atención a la primera infancia:

1. Hogares Comunitarios de Bienestar Familiar (HCB); son atendidos por madres comunitarias en sus propias viviendas. La población objetivo son niños de 0 a 5 años en condiciones de vulnerabilidad.
2. Hogares Comunitarios de Bienestar Agrupados (HCBA); se aglomeran de 2 a 7 hogares comunitarios en un mismo lugar y cuentan con una unidad de atención aportada por la comunidad. La población objetivo son niños menores de 5 años.
3. Centro de Desarrollo Infantil (CDI); está destinado a la primera infancia en condición de vulnerabilidad. Los CDI tienen unidades de servicio (UDS), que se desarrollan en espacios físicos e infraestructuras adecuadas para brindar atención integral a la niñez. Las UDS cuentan con jornadas de sensibilización y vacunación articuladas con la Secretaría de Salud y hospitales locales.

4. Estas unidades desarrollan tareas educativas, para las cuales participan madres comunitarias, quienes reciben una capacitación técnico-laboral en atención a la primera infancia. La población objetivo de las UDS está conformada por infantes desde los 3 años, aunque también se atienden niños desde los 6 meses hasta los 6 años.
5. Modalidad Familiar para los HCB; se especializa en la atención de personas gestantes y lactantes, así como población infantil hasta los dos años, donde se enseña a las familias las buenas prácticas de cuidado y crianza.

2.2 Necesidades detectadas

El actual manual de mantenimiento de registros de acciones administrativas y pedagógicas en entornos de atención a la primera infancia plantea un desafío generalizado, caracterizado por la tarea repetitiva y lenta de completar plantillas de Excel o Word para documentarlos. Esto no solo genera ineficiencias en términos operativos y funcionales, sino que también exige una solución más racionalizada y tecnológicamente impulsada.

El proceso manual de mantenimiento de registros en entornos de atención a la primera infancia, en particular para las UDS, implica una variedad de procesos administrativos y pedagógicos, incluido el seguimiento de la asistencia, la planificación de lecciones y el seguimiento del progreso de las Habilidades Motoras Gruesas. Estos procesos son fundamentales para garantizar la calidad de la atención y la educación brindadas a los niños pequeños, pero la naturaleza manual del proceso actual crea varios desafíos como:

1. El proceso manual es proclive a errores e imprecisiones, ya que las equivocaciones humanas pueden introducirse fácilmente en los datos. Esto puede dar lugar a registros inexactos, generando graves consecuencias para los niños atendidos, así como para los proveedores de cuidado de la primera infancia.
2. El proceso manual demanda mucho tiempo, ya que requiere que el personal complete plantillas e ingrese datos manualmente. Esto resta tiempo que el personal podría dedicar a tareas más importantes, como brindar atención y educación a los niños.
3. El proceso manual carece de la capacidad de generar informes y análisis en tiempo real, dificultando que el personal del ICBF monitoree y evalúe la eficacia de sus programas. Esta falta de visibilidad de la información puede dificultar la identificación

de áreas de mejora y la toma de decisiones basadas en datos. Además, el proceso manual no es escalable, ya que resulta cada vez más difícil gestionar y mantener los registros a medida que aumenta el número de niños y personal. Esto puede provocar un aumento significativo de la carga de trabajo del personal administrativo y docente, que puede desencadenar en agotamiento y rotación.

Para abordar estos desafíos, es necesaria una solución tecnológica. Una plataforma digital que automatice el proceso de mantenimiento de registros, proporcionando informes y análisis en tiempo real, que puede ayudar tanto a las UDS como al ICBF a optimizar sus tareas administrativas, reducir errores e ineficiencias, mejorar la calidad general de la atención y la educación brindadas a los niños pequeños.

2.3 Solución propuesta

El punto clave del problema detectado fue diseñar una aplicación que permitiera capturar y registrar automáticamente datos de diversas fuentes, como asistencia e hitos del desarrollo y prácticas relacionadas con las habilidades motoras gruesas en las UDS, sin la necesidad de ingresarlos manualmente. No se optó por una aplicación web o Web App, porque las UDS no disponen de los recursos financieros, técnicos y tecnológicos para ello. La aplicación se dejará como aporte por parte de la Universidad de Cundinamarca sin ningún costo.

Esto conllevó a tomar en cuenta lo siguiente:

- **Informes y análisis en tiempo real:** proporcionar capacidades de análisis e informes en tiempo real, que permita tanto a las UDS como al ICBF monitorear y evaluar fácilmente la efectividad de sus programas, identificar áreas de mejora y tomar decisiones basadas en datos.
- **Paneles de control personalizables:** permitir personalizar esta interfaz para satisfacer sus necesidades y preferencias específicas, proporcionando una vista personalizada de los datos que son más relevantes para sus programas.
- **Herramientas de colaboración:** incluir soluciones que permitan a las UDS e ICBF trabajar juntos y compartir información, como planes de lecciones, informes de progreso y evaluaciones del desarrollo, de manera segura y confidencial.

- Integración con otros sistemas: articularse con software como el de análisis del ICBF que permite realizar la trazabilidad de los procesos en cada UDS. Esto agilizaría las tareas administrativas y reduciría la carga de la entrada manual de datos.
- Seguridad y privacidad: contar con controles sólidos para proteger la información confidencial de los niños y las familias atendidas, como cifrado, inicio de sesión y autenticación seguros, así como controles de acceso.
- Escalabilidad: tener la capacidad de adaptarse al crecimiento del programa del proveedor de atención infantil temprana, incluida la capacidad de agregar nuevos usuarios, ubicaciones y funciones según sea necesario.
- Interfaz fácil de usar: tener una plataforma intuitiva y sencilla, incluso para usuarios que no estén familiarizados con la tecnología.
- Capacitación y soporte: proporcionar recursos como documentación y atención al cliente, para ayudar a las UDS e ICBF a aprovechar al máximo la plataforma y resolver cualquier problema que pueda surgir.
- Planes de aprendizaje personalizados: permitir crear programas para cada niño, en función de sus necesidades motoras gruesas, intereses y habilidades únicos. Esto puede ayudar a garantizar que cada beneficiario reciba el nivel adecuado de desafío y apoyo para alcanzar sus objetivos de desarrollo.
- Valoración y herramientas de evaluación: incluir una gama de herramientas para ayudar a las UDS e ICBF a medir el progreso y el desarrollo de los niños bajo su cuidado. Esto puede incluir evaluaciones estandarizadas, listas de verificación de observación y otros tipos de evaluaciones.
- Integración con otros sistemas: adaptación a otros sistemas y herramientas comúnmente utilizados en la educación infantil, como sistemas de información estudiantil, sistemas de gestión del aprendizaje y sistemas de gestión financiera. Esto puede ayudar a agilizar las tareas administrativas y reducir la carga de la entrada manual de datos.
- Escalabilidad: con capacidad de adaptación al crecimiento de las UDS, incluida la capacidad de agregar nuevos usuarios, ubicaciones y funciones según sea necesario.
- Accesibilidad: comprensible para todos los usuarios, independientemente de su ubicación física. Esto puede incluir características como facilidad de respuesta móvil, cumplimiento de accesibilidad y soporte en varios idiomas.

- Seguridad y privacidad de los datos: contar con controles sólidos de seguridad para proteger la información confidencial de los niños y las familias atendidas, como cifrado, inicio de sesión seguro y autenticación.

Una de las tecnologías emergentes con mayor impacto en la sociedad contemporánea resulta ser la tecnología móvil (Márquez, 2021), cuyas aplicaciones van mucho más allá de solo comunicar a las personas, llegando a facilitar la implementación de diversos recursos digitales para múltiples propósitos, donde la educación no está exenta. Es así como surge la necesidad de desarrollar una aplicación móvil para un grupo de Unidades de Servicio (UDS) ubicadas en el municipio de Fusagasugá, cercano a la capital de Bogotá, Colombia.

Tomando en cuenta la solución propuesta, la aplicación móvil se diseñó con el objetivo de asistir a profesores, madres cabezas de hogar y personal administrativo que laboran en las UDS, en lo concerniente a gestionar y administrar los procesos formativos relacionados con las Habilidades Motoras Gruesas (HMG) (González et al., 2019). Esto conllevó a implementar cursos en línea masivos y abiertos o MOOC (Massive Open Online Course) acompañados por una cartilla guía, diseñados por docentes de la Universidad de Cundinamarca extensión Fusagasugá, diseñada para trabajar en las diferentes sesiones por semana que tienen los infantes.

136

La aplicación centraliza procesos de gestión y administración académica que se lleva a cabo de manera permanente al interior de las UDS, como son:

- Los Centros de Cuidado Infantil que se reparten por zonas dependiendo del sector geográfico al cual están establecidos.
- Cada centro zonal tiene su propio administrador, encargado del registro y control de agentes comunitarios, control de actividades y demás funciones administrativas.
- Los centros zonales se clasifican en UDS e instituciones.
- Los agentes comunitarios son los encargados de la organización, supervisión y cuidados de los infantes registrados en sus centros zonales.

3. METODOLOGÍA

La elección de la metodología ágil Mobile-D para el desarrollo de la aplicación se fundamenta en su capacidad para adaptarse a las necesidades cambiantes de los usuarios y al entorno dinámico del desarrollo de software (Smith, 2022). Esta metodología se caracteriza por su enfoque colaborativo e iterativo, que permite a los equipos multifuncionales trabajar de manera efectiva y eficiente.

Esta metodología prioriza la entrega frecuente de software funcional, que no solo facilita la obtención de retroalimentación continua por parte de los usuarios, sino que también asegura que el producto evolucione de acuerdo con sus expectativas y requerimientos. Además, la flexibilidad que ofrece Mobile-D permite a los equipos ajustar su trabajo en función de los comentarios recibidos, optimizando así el proceso de desarrollo y maximizando la satisfacción del cliente.

En comparación con otras metodologías ágiles, como Scrum o Kanban, Mobile-D se destaca por su enfoque específico en el desarrollo de aplicaciones móviles, incorporando prácticas y herramientas diseñadas para abordar los desafíos únicos de este ámbito (Valdés et al., 2024). Mientras que Scrum se centra en la gestión de proyectos a través de sprints, y Kanban enfatiza el flujo continuo de trabajo, Mobile-D integra estos principios en un marco que prioriza la experiencia del usuario y la adaptabilidad en un entorno móvil. Esto la convierte en una opción ideal para proyectos donde la flexibilidad y la rápida adaptación son esenciales para el éxito (Alrabaiah y Medina, 2021).

Así las cosas, la metodología se resume en la siguiente tabla:

Tabla 1. Descripción técnica de la metodología Mobile-D

Fase	Actividades	Objetivos
Explorar	1. Reunir requisitos. 2. Definir el alcance del proyecto. 3. Crear un plan del proyecto.	Comprender las necesidades de los usuarios y crear un plan para el desarrollo de la aplicación móvil.
Inicializar	4. Diseñar la arquitectura de la aplicación móvil. 5. Crear el diseño de la interfaz de usuario (UI) y la experiencia de usuario (UX).	Crear una base sólida para la aplicación móvil y asegurarse de que sea fácil de usar.

Fase	Actividades	Objetivos
Producción	6. Implementar las características de la aplicación. 7. Probar la aplicación. 8. Despliegue de la aplicación.	Crear una aplicación móvil funcional que cumpla con los requisitos de los usuarios.
Estabilizar	9. Corregir cualquier error que se encuentre en la aplicación. 10. Mejorar la aplicación en función de los comentarios de los usuarios.	Asegurarse de que la aplicación móvil sea estable y satisfaga las necesidades de los usuarios.
Prueba y corrección del sistema	11. Realizar pruebas del sistema para asegurarse de que la aplicación funcione como se espera. 12. Corregir cualquier error que se encuentre durante las pruebas del sistema.	Asegurarse de que la aplicación móvil esté lista para su lanzamiento.

Fuente: elaboración propia.

138

Para integrar la metodología ágil Mobile-D en el proceso de desarrollo, se procedió a seguir los siguientes pasos:

- **Colaboración:** se procedió a establecer un equipo multifuncional que incluía un desarrollador, un diseñador y partes interesadas para trabajar juntos en la aplicación.
- **Historias de usuarios:** se identificó y priorizó las historias de usuarios en función de los requisitos de la aplicación. Estas se utilizaron para guiar el proceso de desarrollo.
- **Planificación de Sprint:** se planificó cada sprint en función de las historias de los usuarios y las prioridades de las partes interesadas. Todos los miembros del equipo asistieron a las reuniones de planificación del sprint, donde se definieron de manera clara las metas y objetivos.
- **Stand-ups diarios:** se realizaron reuniones diarias para revisar el progreso del sprint, discutir cualquier desafío o problema y planificar el trabajo del día.
- **Revisión de Sprint:** al final de cada sprint, se revisó el progreso y se demostró el software en funcionamiento a las partes interesadas. Se recibieron comentarios y se realizaron los ajustes necesarios a la aplicación.

- **Retrospectiva de Sprint:** se realizó una reunión de retrospectiva de sprint para revisarlo e identificar áreas de mejora. Se discutió qué salió bien, qué no salió bien y qué se podría hacer diferente en el próximo sprint.

4. RESULTADOS

La integración de la metodología ágil Mobile-D en el proceso de desarrollo resultó en varios beneficios que incluyen:

- **Colaboración mejorada:** la optimización en la articulación entre los miembros del equipo fue fundamental para el desarrollo de soluciones efectivas en el ámbito de la atención infantil y procesos de gestión académica. La interacción constante entre desarrolladores, diseñadores y expertos en atención infantil permitió una comprensión más profunda de las necesidades de los usuarios finales (niños, padres, educadores y administrativos). Esto resultó en una aplicación que no solo es funcional, sino también intuitiva y adaptada a los requerimientos específicos de las UDS, lo que a su vez pudo traducirse en una atención más personalizada y efectiva.
- **Tiempo de comercialización más rápido:** la capacidad de entregar software funcional en iteraciones cortas permitió que las UDS implementaran la solución rápidamente en el municipio de Fusagasugá, adaptándose a las necesidades emergentes en la atención infantil. Por ejemplo, al identificar una nueva necesidad en la gestión de la salud o la educación infantil, la metodología ágil facilitó el desarrollo e implementación de esta solución en un tiempo reducido. Este escenario resulta ser crucial en situaciones donde la atención rápida es esencial, como en el seguimiento de la salud infantil o la respuesta a crisis educativas.
- **Mayor transparencia:** la transparencia en el desarrollo del software a través de demostraciones regulares y revisiones de sprint fomentó la confianza entre las partes interesadas, incluidos los directores de las UDS, educadores y padres de familia. Esta confianza fue fundamental para la implementación exitosa de la aplicación, ya que permitió a todos los involucrados sentirse parte del proceso y más comprometidos con el uso de la herramienta. La transparencia también facilitó la identificación temprana de problemas o áreas de mejora, que contribuyó a una atención infantil de mayor calidad.

- **Calidad mejorada:** la detección temprana de defectos y la corrección continua durante el desarrollo fueron aspectos críticos que garantizaron que el software cumpliera con los estándares de calidad necesarios para la atención infantil. Esto incluyó desde la administración de datos hasta la comunicación con los profesores responsables de estos y la gestión de recursos técnicos y tecnológicos disponibles.
- **Adaptabilidad:** el enfoque de la metodología ágil Mobile-D en la mejora continua y la adaptación a los requisitos cambiantes permitió responder rápidamente a los nuevos requisitos y condiciones del mercado. Esta adaptabilidad ayudó a mantenernos competitivos y ofrecer un producto que satisficiera las necesidades cambiantes de los clientes, en este caso las UDS y el ICBF.
- **Mayor satisfacción del cliente:** las frecuentes demostraciones de software en funcionamiento y la participación de las partes interesadas en el proceso de desarrollo ayudaron a garantizar que la aplicación cumpliera con las necesidades y expectativas de los clientes. Esto resultó en una mayor satisfacción de las UDS e implementación del producto más exitoso.
- **Riesgo reducido:** la disminución del riesgo de fracaso del proyecto fue crucial, especialmente en el ámbito de la atención infantil y en los procesos educativos y administrativos asociados, considerando que los recursos técnicos y tecnológicos eran limitados. La metodología ágil, al facilitar una retroalimentación continua y la validación del producto, ayudó a garantizar que la aplicación se mantuviera alineada con las necesidades del cliente, minimizando la posibilidad de implementar una solución ineficaz.
- **Moral del equipo mejorada:** la naturaleza colaborativa e iterativa de la metodología ayudó a mejorar la moral y la motivación del equipo. Esto se debió a la sensación de logro y progreso que surgió al entregar software funcional en iteraciones cortas y a la participación de las partes interesadas en el proceso de desarrollo.

4.1 Backend

En el desarrollo del proyecto, se eligió el administrador de base de datos Postgres como la principal solución de almacenamiento de datos debido a sus sólidas capacidades en categorización de datos y manejo eficiente de grandes volúmenes de información. Para garantizar la escalabilidad y seguridad del *backend*, se creó un *script* de migración de base de datos para facilitar las modificaciones del modelo interno sin comprometer la integridad de los datos almacenados.

Para implementar la lógica del servidor y mantener el código base, se propuso un marco integral que incluía los siguientes componentes:

1. Enrutador de solicitudes: maneja de manera eficiente las solicitudes de información dirigiéndolas a los controladores y *middleware* adecuados.
2. Controladores: validan los datos entrantes, realizan lógica empresarial y utilizan *middleware* con fines de seguridad.
3. Administrador de rutas: determina la ruta para enviar datos proporcionando una capa de protección contra posibles ataques.

Para mejorar aún más la seguridad de la aplicación, se integraron las siguientes bibliotecas:

- JOI (Inferencia de objetos JSON): verifica los tipos de variables para prevenir posibles vulnerabilidades de seguridad.
- Passport: maneja la autenticación y autorización de sesiones internas, asegurando que solo los usuarios autorizados puedan acceder a datos confidenciales.

Al aprovechar estas tecnologías y mejores prácticas, la solución propuesta proporciona una infraestructura *backend* sólida y segura para el proyecto, lo que permite el manejo eficiente de grandes volúmenes de datos y garantiza la integridad de la información almacenada.

4.2 Frontend

A continuación, se describen las principales características y funcionalidades del aplicativo móvil, donde el usuario puede interactuar con los siguientes componentes de gestión: cuenta de usuarios, agenda, infantes, grupo de niños, horarios, actividades de infante, aportes de actividades y sedes.

Validación de identidad: el acceso a la aplicación cuenta con dos roles, uno para todos los agentes voluntarios y otro para los administradores e investigadores. La interfaz gráfica de inicio de sesión se presenta como una pantalla clara y sencilla, tal como se observa en la Figura 1. Esta pantalla ofrece dos opciones principales: “Inicio de sesión” y “Registro”.

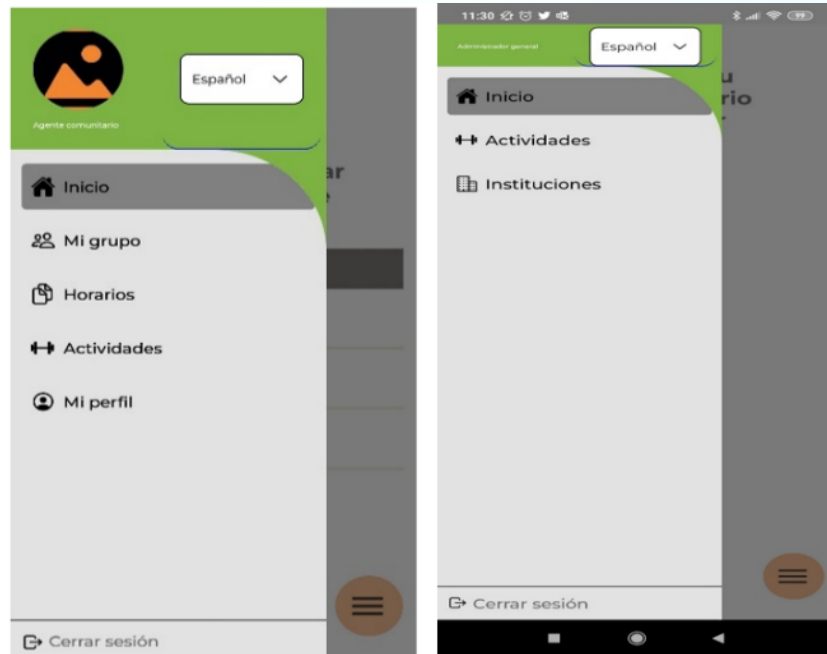
Figura 1. Pantalla inicio de sesión y registro de usuario.

Fuente: elaboración propia

La opción de inicio de sesión permite al usuario acceder a la aplicación mediante la introducción de las credenciales previamente creadas, como el nombre y la contraseña. Por otro lado, la opción de registro ofrece la oportunidad de crear una cuenta en la aplicación. El proceso de registro se presenta a través de un formulario tal como se aprecia en la secuencia de imágenes de la Figura 1.

Menú principal: es importante que los usuarios tengan un acceso sencillo a todos los apartados de la aplicación, para ello, se creó un menú principal que ayuda a realizar esta navegación. Este menú cambia sus opciones según el usuario que ingrese a la aplicación, tal como se observa en la figura 2.

Figura 2. Menú general agente comunitario.



Fuente: elaboración propia

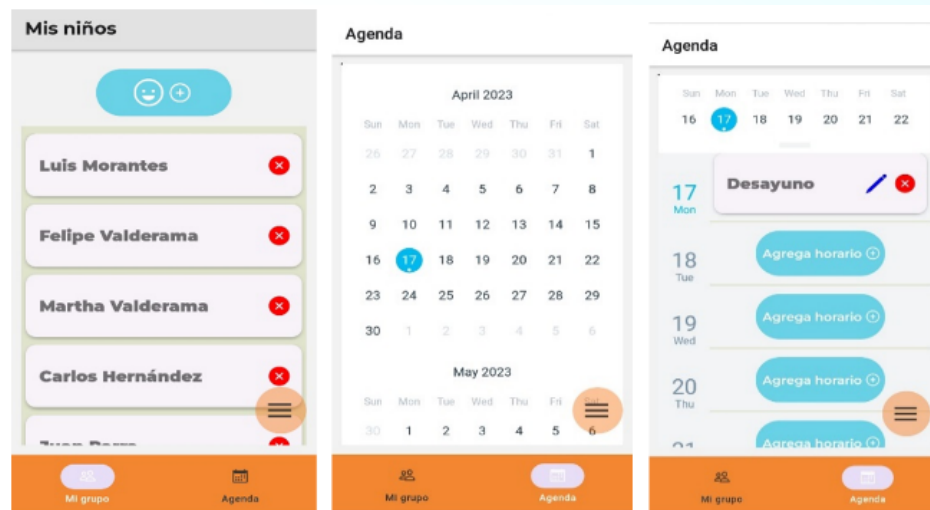
143

Los agentes comunitarios son los usuarios que requieren usar la aplicación, por lo tanto, son quienes manejarán la mayoría de sus funcionalidades. El menú administrativo permite a administradores e investigadores añadir los apartados más importantes y restrictivos de la aplicación, como son el registro de las actividades lúdicas y las instituciones que podrán usar la aplicación.

Manejo de idiomas: se creó un selector de idiomas, el cual le permite a la aplicación completa modificar el idioma en el cual representa la información. Estos idiomas son: español, inglés y portugués, que permite mejorar la accesibilidad internacional a la aplicación.

Administración de infantes: se creó el apartado de “Mis niños”, que permite observar toda la información del grupo de niños que tiene bajo su cargo el agente comunitario como se muestra en la figura 3a y las actividades asignadas.

Figura 3. a). Pantalla Mis niños. b) Pantalla agenda.



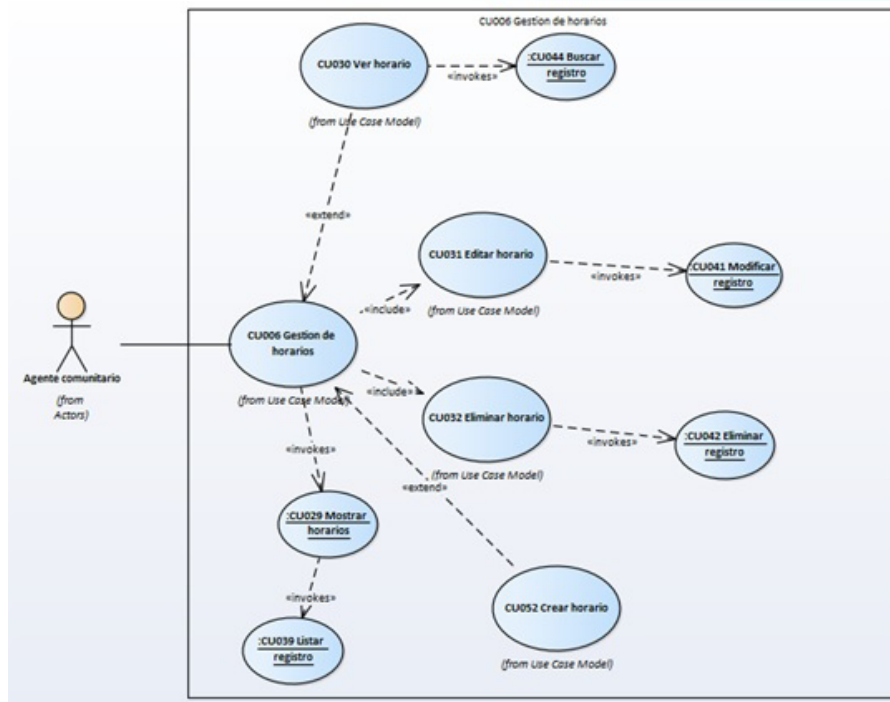
Fuente: elaboración propia

El apartado de Agenda permite registrar los días en los que se asignará un horario como se muestra en la figura 3b. Solo se puede asignar uno por día y se mostrará una lista de los días que tienen un horario.

Administración de horarios: la aplicación permite que los agentes comunitarios administren sus horarios a partir de las actividades que registran los administradores de la aplicación, por tanto, se creó el apartado de “Mis horarios”, que permite la visualización y creación de horarios. La aplicación permite la colaboración de los investigadores de educación física y profesores de las UDS, quienes pueden registrar las actividades en conjunto con los agentes comunitarios de las instituciones.

En la Figura 4, se muestra el caso de uso relacionado con la gestión de horarios, que permite al agente comunitario (madre comunitaria, profesor y administrativo) tener un mayor control sobre su horario y facilita la gestión de sus cronogramas diarios.

Figura 4. Caso de uso Gestión de horarios.



Fuente: elaboración propia

145

Basado en la experiencia de interactuar con la población infantil en la parte instructiva relacionada con el desarrollo de las HMG, se evidencia la importancia de incorporar las Tecnologías de la Información (Márquez, 2021a) en conjunto con las tecnologías y pedagogías emergentes (Márquez, 2021b) de contribuir en la formación de la población infantil mediante la teoría del juego, la interacción e inmersión y desarrollo de las habilidades motrices de manera dirigida.

El alcance de la aplicación móvil una vez implementada permitió obtener los siguientes resultados:

- Empoderar a los cuidadores en las instituciones de cuidado infantil para administrar y monitorear de manera eficiente las actividades de los niños.
- Proporcionar herramientas para programar y organizar las actividades diarias.
- Recopilar datos sobre las actividades de los niños para analizar las deficiencias motrices y de salud.
- Garantizar la privacidad y seguridad de los datos recopilados.
- Facilitar el análisis de datos para la toma de decisiones informadas sobre el desarrollo de los niños.

- Implementar los idiomas español y portugués para mejorar la accesibilidad de la aplicación, dado que se pretende escalar en una comunidad en Muzambino, Brasil.

La metodología ágil Mobile-D utilizada en el desarrollo de la aplicación móvil permitió analizar una evolución continua del proyecto. Los resultados incluyen el diseño y la funcionalidad del aplicativo, así como la documentación del producto que los usuarios pueden comprender de manera intuitiva.

Se realizaron pruebas al sistema alojado en un servidor web Railway mediante la herramienta Postman, con el fin de asegurar que la API funcionara correctamente, las cuales se resumen en la tabla 2:

Tabla 2. Pruebas de API.

Nombre de la prueba	Objetivo	Calificación
API 1 InicioSesión	Comprobar el inicio de la sesión con credenciales correctas e incorrectas.	Aprobada
API 2 InfoAgenteComunitario	Solicitar toda la información relacionada al agente comunitario	Aprobada
API 3 Inactividades	Solicitar toda la información relacionada a las actividades	Aprobada
API 4 InfoHorarios	Solicitar la información de los horarios, incluidas las actividades	Aprobada
API 5 InfoUDS	Solicitar la información de las UDS	Aprobada
API 6 InfoInfantes	Solicitar la información de los infantes, incluida la información de los acudientes, comentarios y asistencias a las actividades	Aprobada
API 7 CreaciónAgenteComunitario	Creación de un agente comunitario, incluidos sus datos personales, cuenta y asociación a UDS.	Aprobada
API 8 CreaciónActividades	Creación de las actividades.	Aprobada
API 9 CreaciónHorarios	Creación de los horarios, incluidas cada una de las actividades y el tiempo total de elaboración del horario.	Aprobada
API 10 CreaciónUDS	Creación de las UDS.	Aprobada
API 11 CreaciónInfantes	Creación de los infantes, incluida la información de los acudientes y asociación a los infantes.	Aprobada

Fuente: elaboración propia

En la aplicación dentro de sus objetivos de desarrollo se mejoró su accesibilidad implementando tres idiomas: español, portugués e inglés. Esta función garantiza que los cuidadores de ambos países (Colombia y Brasil) puedan utilizar la aplicación de manera efectiva sin barreras idiomáticas.

Se llevaron a cabo diversas pruebas de hardware y software para garantizar el correcto funcionamiento y estabilidad del sistema en términos de compatibilidad y cumplimientos de requisitos establecidos. Estas pruebas permitieron identificar y establecer posibles defectos, errores y áreas de mejora que pudieran afectar el rendimiento y la eficacia del sistema.

En cuanto a la recopilación de datos, se garantiza la seguridad y privacidad de la información personal de los niños y los cuidadores. Los datos recopilados se utilizarán para realizar análisis exhaustivos de las habilidades motoras y la salud de los niños, lo que permitirá la identificación de posibles deficiencias y áreas de mejora. Estos análisis proporcionarán a los investigadores y profesionales del cuidado infantil una base sólida para tomar decisiones informadas sobre el desarrollo de los niños y diseñar estrategias de intervención adecuadas.

5. AGRADECIMIENTOS

147

Gracias a la Universidad de Cundinamarca por financiar este proyecto de investigación según convocatoria interna con código 11 del 2021-10-11. También, los autores agradecen a los grupos de investigación Nanoingeniería de la Facultad de Ingeniería de Sistemas y Centro de Investigación en Actividad Física, Ejercicio y Deporte (CAFED), de la Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física, por apoyar el desarrollo de este proyecto.

6. REFERENCIAS

- Ahmad, S., Kamaruzaman, J., and Ahmad, N. (2020). Gross motor skills, physical activity and body composition in primary school children. *Acta Kinesiologica*, 14(1), 1-7. <https://doi.org/10.26582/ak.1401.01>
- Alrabaiah, H. A., & Medina, M. N. (2021). Agile Beeswax: Mobile app development process and empirical study in real environment. *Sustainability*, 13(4), 1909. <https://doi.org/10.3390/su13041909>
- Cekin, R., and Erkmen, N. (2020). The Comparison of Effects of Gross Motor Training Program on Gross Motor and Cognitive Skills of 6-Year-Old Children. *Elementary Education Online*, 19(2), 747-758. <https://doi.org/10.17051/ilkonline.2020.657717>

- Espinoza, A. y Rodríguez, R. (2017). La generación de ambientes de aprendizaje: un análisis de la percepción juvenil. *RIDE*, 7(14), 110-132. <https://dx.doi.org/10.23913/ride.v7i14.276>.
- González, S. L., Álvarez, V. and Eliza L. N. (2019). Do Gross and Fine Motor Skills Differentially Contribute to Language Outcomes? A Systematic Review. *Frontiers in Psychology*, 10, 2670, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02670>
- ICBF. (2020). Modalidades de atención a la primera infancia. <https://www.miprimerainfancia.com/modalidades-de-atencion/>
- Jiménez, A; Romero, C y Cagua, F. (2021). La felicidad como propósito de la motricidad humana desde la primera infancia. *Revista Con-Ciencias del Deporte*, 3(1), 69-82. Recuperado de <http://revistas.unellez.edu.ve/revista/>
- Jung, L. A., Modgill, G., Ambegaonkar, J. P., and Caswell, S. V. (2020). Systematic Review of the Associations Between Fundamental Motor Skills and Components of Physical Literacy in Childhood. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 24(4), 359-374. <https://doi.org/10.1080/1091367X.2020.1758507>
- Laguna, C. A., Jiménez, L. C., Benavides, P. E. V., Blanco, V. H., y Ornelas, C. M. (2021). Habilidades motrices en preescolares, comparación por género. *Revista De Ciencias Del Ejercicio FOD*, 16(1). <https://doi.org/10.29105/rcefod16.1-50>
- Márquez, D. J. E. (2021). TIC y tecnologías emergentes en la educación superior. Márquez Díaz, J. E. (Coord.). *Tecnologías emergentes en la educación superior. Nuevos planteamientos a una enseñanza y aprendizaje dinámicos*. (pp. 247-294) Editorial de la Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Colombia. <https://doi.org/10.36436/9789585195073>
- Márquez, D. J. E. (2021). Tecnologías y pedagogías emergentes. Márquez Díaz, J. E. (Coord.). *Tecnologías emergentes en la educación superior. Nuevos planteamientos a una enseñanza y aprendizaje dinámicos*. (pp. 178-246) Editorial de la Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Colombia. <https://doi.org/10.36436/9789585195073>
- Márquez, D. JE. (2017). Tecnologías emergentes, reto para la educación superior colombiana. *Revista Ingeniare*, 13(23), 35-57. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.2.2882>
- Paul, C. M., Yeh, S. H., and Trauntvein, N. (2020). Gross motor skill competence and physical activity in children: a systematic review. *Journal of Sport and Health Science*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.02.010>
- Romero, C. (2021). Valoración del nivel de madurez de las habilidades motrices gruesas en niños de 3 a 5 años en Hogares Comunitarios de Bienestar del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. *Revista Con-Ciencias del Deporte*, 3(1), 31-52. Recuperado de <http://revistas.unellez.edu.ve/revista/>

- Ruiz, E. C., Terry, J.A., Méndez, I., and Morales A. (2020). Analysis of Motor Intervention Program on the Development of Gross Motor Skills in Preschoolers. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(13), 4891. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134891>
- Savelsbergh, G. J. P., & Eigiste, W. (2020). Competition in young children: Effects on gross motor skill learning, motor exploration, and intrinsic motivation. *Infant and Child Development*, 29(2), 1-18. <https://doi.org/10.1002/icd.2158>
- Smith, J. (2022). Mobile-D: Agile Methodology for Mobile App Development. *Journal of Mobile Technology*, 10(2), 45-60. <https://doi.org/10.1234/jmt.2022.10.2.45>
- Valdés, R., Y., Hochstetter, D. J., Diéguez, R. M., Bustamante, M. A., & Cadena, M. R. (2024). Analysis of Strategies for the Integration of Security Practices in Agile Software Development: A Sustainable SME Approach. *IEEE Access*, 12, 35204-35230, 2024, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3372385>.

Recibido: 16 de marzo de 2024 Aceptado: 10 de mayo de 2024

Desarrollo de un modelo de *machine learning* para determinar el comportamiento de heladas en la Sabana de Bogotá¹

Development of a machine learning model to determine the behavior of fröst in the Bogotá Savannah.

Robinson Castillo Mendez²

Julian Andres Camacho C.³

Cómo citar:

Mendez, R. & Camacho, J. (2024). Desarrollo de un modelo de machine learning para determinar el comportamiento de heladas en la Sabana de Bogotá. *Vía Innova*, 11 (1), 150-164. <https://doi.org/10.23850/2422068X.6819>

¹ Proyecto Implementación de un modelo de Machine Learning para determinar el comportamiento de heladas y variables meteorológicas fundamentales en la agricultura

² Robinson Castillo Méndez Ingeniero Electrónico Máster en Microelectrónica, Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones CEET (Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA), rcastillom@sena.edu.co, Bogotá D.C.

³ Julián Andrés Camacho Ingeniero Electrónico Magister en Gestión Sostenible de la Energía, Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones CEET (Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA), jacamachoc@sena.edu.co, Bogotá D.C"

RESUMEN

Se presenta el avance realizado en el desarrollo e implementación de un modelo de *machine learning* para determinar el comportamiento de las condiciones climatológicas fundamentales en la agricultura, y de la ocurrencia de una helada en la Sabana de Bogotá. Inicia con la creación de una base de información relacionada a estas variables, la caracterización, diseño, simulación, implementación y validación del sistema para llegar a la obtención de dicho modelo. Se incorpora un modelo de regresión múltiple y árboles de decisión para su implementación. Se establece una base de información actual e histórica acerca del comportamiento de las variables meteorológicas de Temperatura, Pluviosidad y Humedad Relativa, así como de la eventualidad de ocurrencia de una helada en la Sabana de Bogotá, logrando así la creación de la base de aprendizaje. Se ha caracterizado el sistema y se han definido los requerimientos de diseño, los cuales se encuentran en etapa de desarrollo e implementación. Se espera obtener un alto nivel de asertividad en el pronóstico realizado para aplicarlo en la agricultura de la Sabana de Bogotá inicialmente, así como mejorar las capacidades para realizar con mayor precisión cualquier actividad relacionada con el cultivo a partir de la recolección de información y el aprendizaje.

Una importante herramienta para determinar el comportamiento que tendrá un cultivo o una cosecha es la predicción. Con *machine learning* la agricultura está evolucionando en ese sentido, permitiendo al agricultor tener mayores elementos de decisión y de procesamiento de información sobre su cultivo.

Palabras clave: Aprendizaje Automático; Modelo de Predicción de Heladas; Sabana de Bogotá; Variables Climatológicas.

ABSTRACT

This work presents the progress made in the development and implementation of a machine learning model to determine the behavior of fundamental weather conditions in agriculture and the occurrence of frost in the Sabana de Bogotá. The project started with the establishment of an information base pertaining to the aforementioned variables. Then by the characterization, design, simulation, implementation, and validation of the system, with the objective of obtaining the model. A multiple regression model and decision trees have been incorporated for implementation purposes. A database has been constructed comprising current and historical data on the behaviour of meteorological variables: temperature, rainfall and relative humidity. Also the database includes information on the probability of frost occurrence in the Sabana de Bogotá. The learning base has been created and the system has been characterised and designed. The latter is currently in the development and implementation phase. It is expected to the forecasting will be highly accurate and will initially be applied to agriculture in the Sabana de Bogotá. Furthermore, it is expected that the precision of activities related to crop management, from data collection to learning.

A significant instrument for forecasting the behavior of a crop or harvest is the application of machine learning. The field of agriculture is making progress, enabling farmers take in more comprehensive decision-making and information processing regarding their crops.

Palabras clave: Machine learning; Frost prediction model; Sabana de Bogotá; Climatological variables.

1. INTRODUCCIÓN

El sector agrícola tiene una alta importancia dentro de la economía del país, pero tiene también un bajo nivel de aprovechamiento de los recursos tecnológicos disponibles, bien sea por brechas de conocimiento, altos costos, o por ser un sector poco flexible frente a cambios tecnológicos. Adicionalmente, el cambio climático tiene un papel relevante dentro de la dinámica de la actividad agrícola en la región y en el país; las variables meteorológicas y las heladas afectan considerablemente los cultivos y su rendimiento.

La agricultura en Colombia se ha visto poco beneficiada por los avances tecnológicos en materia de aprendizaje automático y ciencia de datos, estas técnicas ayudan a entender los patrones y las dinámicas que sigue la naturaleza. La temperatura, la pluviosidad y la humedad relativa, son variables climatológicas fundamentales en la agricultura; así mismo, las heladas son eventos climáticos de gran preocupación en la actividad agrícola debido al potencial de pérdidas sociales y económicas que de ellas se derivan. Los daños en los cultivos por heladas tienen un efecto negativo para la planta afectando su tejido y reduciendo su rendimiento y calidad.

La transformación digital de la agricultura ha hecho evolucionar varios aspectos de la gestión hacia sistemas inteligentes artificiales en aras de la puesta en valor de los datos cada vez más numerosos, originados en diversas fuentes. El aprendizaje automático tiene un considerable potencial para atender numerosos desafíos en el establecimiento de sistemas agrícolas a partir del conocimiento. La inteligencia artificial y el Machine Learning (ML) aplicados en la agricultura, mejoran las capacidades para realizar con mayor precisión cualquier actividad relacionada con el cultivo, basados en la recolección de información y el aprendizaje.

A partir de información histórica de variables meteorológicas y de las heladas, es posible mejorar las decisiones tomadas en las actividades de la agricultura, buscando determinar patrones que garanticen mayor rendimiento y calidad de los cultivos, implementando modelos de predicción basados en aprendizaje de máquina. El trabajo planteado tendrá impacto en el sector agrícola, por lo que se propone desarrollar e implementar un modelo de *machine learning* que permita determinar el comportamiento de las variables meteorológicas: temperatura, pluviosidad y humedad relativa, así como de las heladas en la sabana de Bogotá, con el fin de brindar nuevas herramientas y modelos de apoyo para el desarrollo de las actividades en el sector de la agricultura tradicional de la región. Se trata de un trabajo aún en curso, por lo que este documento presenta

el avance realizado en el desarrollo e implementación de este modelo, aplicado inicialmente a la región de la Sabana de Bogotá.

1.1 Generalidades

La agricultura tradicional se ve afectada por factores ambientales externos, los cuales reducen el rendimiento y la calidad de los cultivos. El cambio climático es uno de los principales factores que incide en este campo (Ramírez Gómez, 2020). Una importante herramienta para determinar el comportamiento que tendrá un cultivo o una cosecha es la predicción con Aprendizaje Automático; la agricultura está evolucionando en ese sentido, permitiendo al agricultor tener mayores elementos de decisión y de procesamiento de información sobre su cultivo. La agricultura en Colombia no se ha visto muy beneficiada por los avances tecnológicos en materia de *machine learning* y ciencia de datos, estas técnicas ayudan a entender los patrones y dinámicas que sigue la naturaleza. Trabajos como los desarrollados por García Cañón (2019), González Botero (2018) o Marqués Gozalbo (2020) abordan técnicas de aprendizaje automático y su aplicación en la agricultura en relación a variables meteorológicas, del suelo y de heladas.

Así mismo, los trabajos presentados por autores como Cunha et al. (2018) o Sharma et al. (2021) son evidencia de que el *machine learning* cada vez tiene mayor relevancia en el sector agrícola, teniendo en cuenta que la agricultura desempeña un papel fundamental en el crecimiento económico de cualquier país y también, que con el aumento de la población, los frecuentes cambios en las condiciones climáticas y los recursos limitados, satisfacer las necesidades alimentarias de la población actual se convierte en una tarea difícil.

154

1.2 Acerca de las heladas: nociones básicas

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura - FAO, una *helada* se considera como la baja temperatura que empieza a causar daños en los tejidos de las plantas, evidenciándose en sus aspectos fisiológicos. Se considera que en cualquier región del mundo es posible la ocurrencia de temperaturas por debajo de 0°, exceptuando las zonas de clima exclusivamente tropical; lo anterior significa que una helada puede ocurrir también en países de clima tropical en altitudes elevadas (Snyder et al., 2010).

El término “Helada” hace referencia a la formación de cristales de hielo sobre las superficies, tanto por congelación del rocío como por un cambio de fase de vapor de agua a hielo. En general, una helada corresponde a un evento meteorológico cuando los cultivos y otras plantas experimentan daño por congelación (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), 2020). El Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, define la helada como la ocurrencia de una temperatura igual o menor de 0 °C a una altura de dos metros sobre el nivel del suelo.

Desde el punto de vista meteorológico, se alcanza el grado de helada cuando la temperatura del aire, a dos metros de la superficie del suelo, es igual o inferior a cero grados. Así mismo, el término “helada” puede definirse en el campo agrometeorológico como la temperatura a la cual los tejidos de la planta comienzan a sufrir daño, considerando aspectos fisiológicos como la resistencia susceptible del cultivo a bajas temperaturas en sus diferentes estados de desarrollo, altura de la planta sobre el nivel del suelo y la temperatura de la hoja (Gonzalez Botero, 2018). Cuando la temperatura alcanza los cero grados centígrados, debido a la posibilidad de nucleación del hielo, aumenta la posibilidad de éxtasis y desintegración en las células vegetales, y los productos agrícolas sensibles pueden resultar dañados, lo que tiene efectos importantes en la producción (Barooni et al., 2023).

155

La radiación solar, la circulación del viento, el vapor de agua en la atmósfera, la altitud, latitud y otras características topográficas de la zona, determinan la temperatura del aire y, consecuentemente, la posible ocurrencia de una helada. Las principales variables atmosféricas que inciden en las heladas son: Humedad Relativa, Velocidad del Viento, Temperatura, Precipitación y Radiación Solar. Según la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2020), de acuerdo a las causas, las heladas se clasifican en:

Heladas por Radiación: la pérdida de calor que se presenta en las plantas y el suelo al ceder a la atmosfera durante la noche por medio del proceso de radiación, es originada por las heladas de radiación. Este tipo de helada es producto de la inversión de la temperatura (las temperaturas aumentan con la altura respecto a la superficie del suelo). Se presentan dos subcategorías de heladas por radiación: una denominada “blanca”, la cual se caracteriza porque el vapor de agua se deposita sobre la superficie y forma una capa blanca de hielo que se denomina normalmente “escarcha”; el otro tipo es la helada “negra” que ocurre cuando la temperatura cae por debajo de 0 °C y no se forma hielo debido a que la humedad es suficientemente baja. Normalmente, la helada blanca

produce menos daño que la helada negra (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), 2020).

Heladas por Advección: ocurren debido a la invasión de masas de aire frío originario de las regiones polares y se presentan de manera continua por varios días. Son más características en latitudes medias y altas (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), 2020).

Heladas por Evaporación: se presentan cuando, después de una precipitación, desciende la humedad relativa del aire, la vegetación intercepta parte de la precipitación reteniendo el agua en el follaje y troncos, se produce una intensa evaporación, el calor de evaporación que el agua necesita para pasar del estado líquido al gaseoso lo toma de las plantas y en consecuencia, la temperatura de algunos órganos vegetales desciende a límites que ocasionan daños (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), 2020).

1.3 Aprendizaje Automático (Machine Learning o Aprendizaje de Máquina)

El Aprendizaje Automático puede definirse como un tipo de Inteligencia Artificial que desarrolla técnicas que permiten a máquinas tomar decisiones; también como un proceso automatizado que extrae patrones de los datos. Para construir los modelos utilizados en las aplicaciones de análisis predictivo de datos, se utiliza el aprendizaje automático supervisado (Kelleher et al., 2015). Los algoritmos de *machine learning* funcionan buscando a través de un conjunto de posibles modelos de predicción, el modelo que captura mejor la relación entre las características descriptivas y la característica de destino en un conjunto de datos.

A medida que los algoritmos incorporan datos de entrenamiento, es posible producir modelos más precisos basados en dichos datos. En general, en Aprendizaje de Máquina e Inteligencia Artificial, cuando se encuentran en un entorno controlado, reciben una gran cantidad de datos y sus respectivos resultados con los que se podrá crear relaciones entre ideas (Aprendizaje Supervisado). El aprendizaje supervisado generalmente comienza con un conjunto establecido de datos y cierta comprensión de cómo se clasifican, por lo que está destinado a encontrar patrones en los datos que se pueden aplicar a un proceso de análisis. Estos datos tienen características etiquetadas que definen su significado (Hurwitz & Kirsch, 2018).

El aprendizaje supervisado usa datos etiquetados por humanos y se usa comúnmente cuando los datos pueden predecir eventos probables. En otras palabras, es una entrada cuando se conoce la salida deseada. El algoritmo aprende un conjunto de entradas junto con las salidas correctas

correspondientes y aprende comparando su salida real con las salidas correctas para encontrar errores. Una vez que encuentra los errores, puede modificar el modelo en consecuencia.

2. METODOLOGÍA

De manera general, para el alcance planteado en este trabajo, el cual llega hasta la descripción del diseño de alto nivel de la solución propuesta, se ha abordado la siguiente metodología:

Creación de base de información: se establece una base de información actual e histórica acerca del comportamiento de las variables meteorológicas de interés y de la ocurrencia de heladas en la sabana de Bogotá, logrando así la creación de la base de aprendizaje e información para el modelo a desarrollar.

Figura 1. Metodología base de información.



157

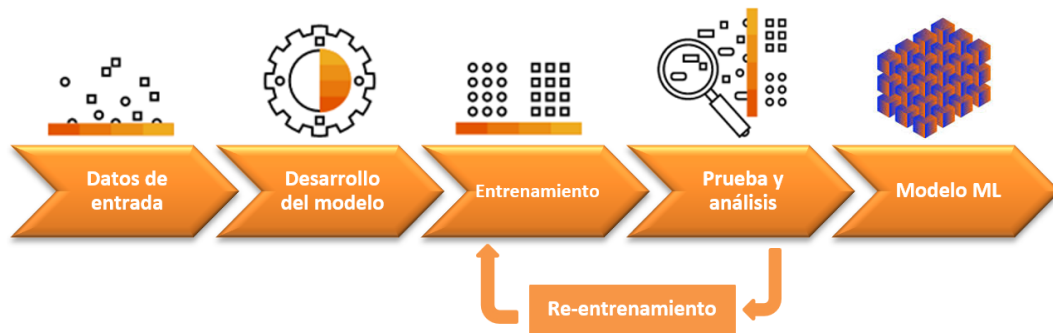
Fuente: (Elaboración propia, 2024)

La recolección de datos se realizó de las estaciones meteorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM pertenecientes a la red de heladas y ubicadas en la región de la Sabana de Bogotá. Para este caso, las variables de interés fueron: Humedad Relativa, Precipitación, Velocidad del Viento, Temperatura: mínima y máxima diarias, al suelo (10 cm). La depuración y análisis de la información se ha realizado mediante las herramientas Python y MATLAB®, eliminando vacíos y acondicionando los datos para su procesamiento (modelo de regresión múltiple).

Caracterización del modelo: se caracteriza el sistema y se definen los requerimientos de diseño. En esta etapa se plantea también determinar la herramienta de desarrollo en la cual se creará y bajo la cual el modelo *machine learning* determinará el comportamiento de las variables meteorológicas definidas y de las heladas en la Sabana de Bogotá.

El sistema se basa en un modelo de aprendizaje supervisado (Figura 2), incorporando árboles de decisión (estructura donde en cada nodo se hace una pregunta y, en función de la respuesta, se sigue hacia un nodo u otro) como base del modelo. Una vez caracterizados y definidos los parámetros, se inician las etapas de desarrollo y simulación.

Figura 2. Modelo de Machine Learning.

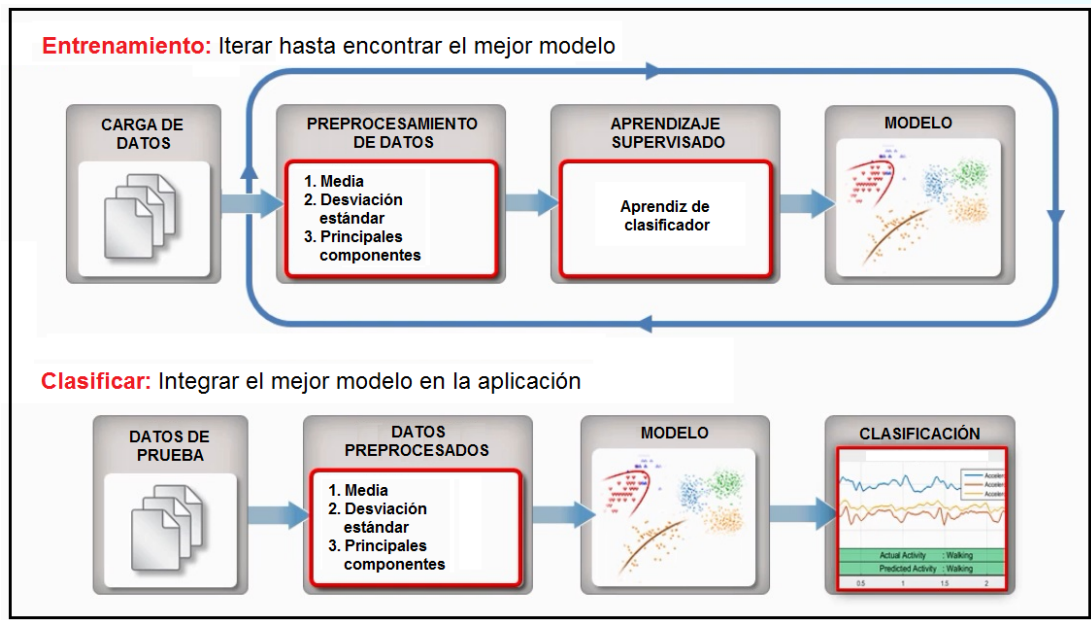


Fuente: Castillo Méndez (2023)

Desarrollo y simulación del sistema: una vez especificado el sistema en función de los requerimientos de diseño y de los parámetros definidos, de acuerdo a la herramienta de desarrollo y/o programación seleccionada, se realiza el diseño y simulación del modelo Machine Learning propuesto, empleando las herramientas Python y MATLAB®. El diseño y desarrollo del sistema consta de dos grandes etapas: entrenamiento basado en iteraciones hasta identificar el modelo ML de mejor desempeño; y la clasificación, la cual integra el modelo determinado en la solución, como lo muestra la Figura 3.

A un alto nivel, el diseño del sistema consta de los siguientes bloques básicos: el primer bloque del sistema se encarga de acceder a la información. A continuación, se realiza la extracción de características y una vez conformado el vector de entrada, durante la etapa de desarrollo, esta información se usará para el entrenamiento (aprendizaje supervisado, Figura 2). Eso permitirá determinar las capas y pesos requeridos para la red neuronal, la cual generará un vector de salida que se corresponderá con alguna de las salidas esperadas. Desde el punto de vista de interfaz de usuario, se desplegará la información correspondiente a la salida del sistema, lo cual equivale a indicar el estado de las variables climatológicas de interés y probabilidad de ocurrencia de la helada.

Figura 3. Metodología para desarrollo del modelo ML.



Fuente: Elaboración propia basada en MathWorks®, 2024.

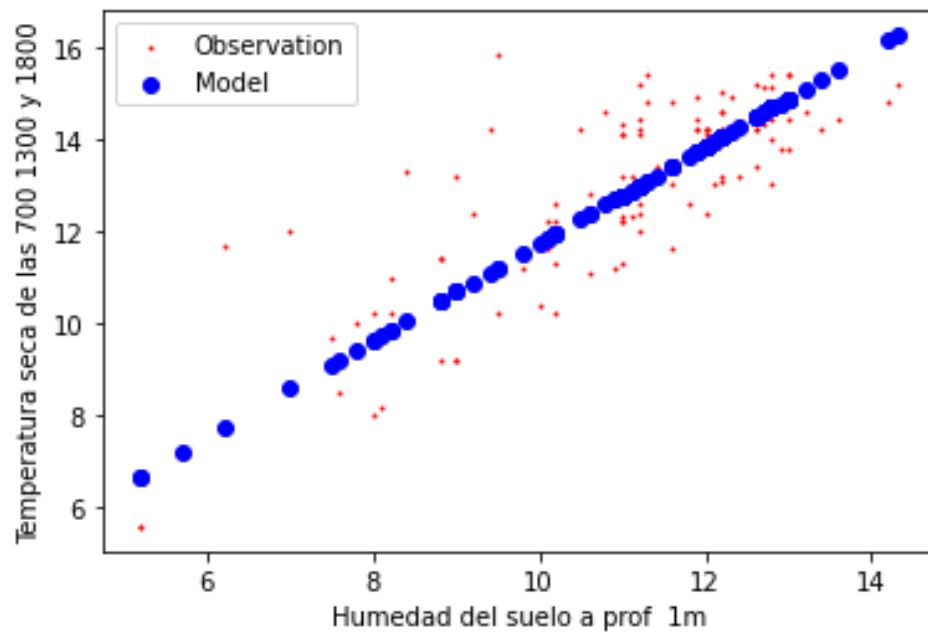
Implementación del sistema: una vez simulado el sistema, se adecuará el ambiente de operación y pruebas técnicas y funcionales a nivel de laboratorio. (Etapa en desarrollo).

Validación del sistema: mediante una prueba de desempeño, se aplicarán pruebas funcionales, verificando el desempeño del modelo. Una vez realizado el análisis de los resultados, se determinará si se realiza un ciclo de ajuste y nuevas pruebas.

3. RESULTADOS

Se evaluó parcialmente el comportamiento del modelo frente a las variables climatológicas de interés. Como se aprecia en la Figura 4, el comportamiento del modelo se acerca a lo esperado de acuerdo a los datos de las observaciones realizadas:

Figura 4. Comportamiento del modelo.



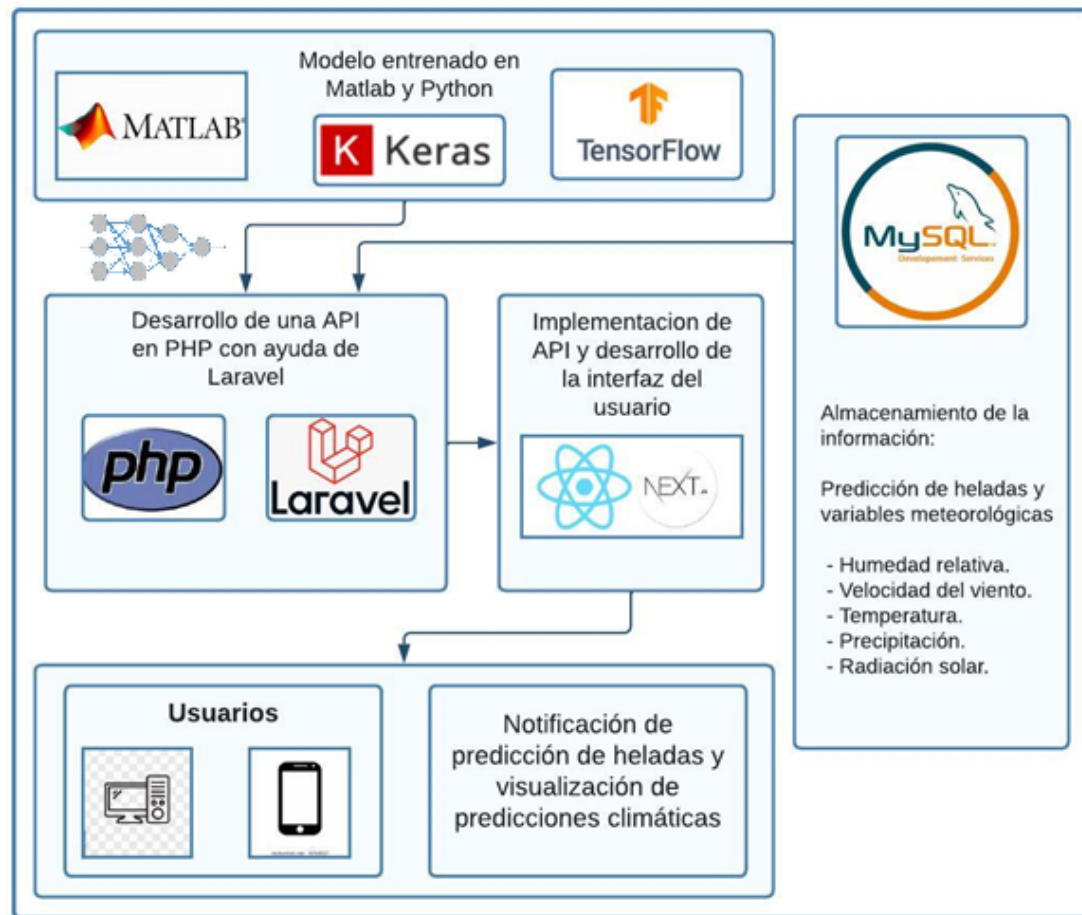
Fuente: Elaboración propia.

160

Es importante mencionar que, dentro del alcance dado a partir de los requerimientos del sistema, además de determinar el comportamiento de las variables meteorológicas y la probabilidad de evento de helada, a nivel de interfaz de usuario, la información deberá mostrarse en un aplicativo web de tal manera que las predicciones realizadas puedan ser consultadas por cualquier usuario.

La arquitectura y herramientas del sistema han tenido las siguientes consideraciones: para el acondicionamiento y análisis de datos, desarrollo e implementación del sistema, se ha realizado el diseño y entrenamiento del modelo combinando las herramientas Python y MATLAB®, y se ha estructurado la incorporación de una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) soportando el almacenamiento de la información en una base de datos que permita la provisión requerida para administrar el flujo de datos requerido (ver Figura 5).

Figura 5. Arquitectura de alto nivel y herramientas del sistema.



Fuente: elaboración propia.

El algoritmo para el modelo aprende un conjunto de entradas junto con las salidas correctas correspondientes y lo hace comparando su salida real con las salidas correctas para encontrar errores, establecer los parámetros y realizar estimaciones y predicciones. A medida que va identificando errores, puede ajustar los parámetros del modelo en consecuencia (pesos de la red).

A nivel de interfaz de usuario, las figuras 6 y 7, muestran la vista de la aplicación web y su estructura, respectivamente. Un estado de variables climatológicas y predicción de probabilidad de helada son mostrados inicialmente, adicionalmente, se ha contemplado que el usuario pueda generar reportes de predicciones sobre la región de interés (permitido a partir del registro del usuario).

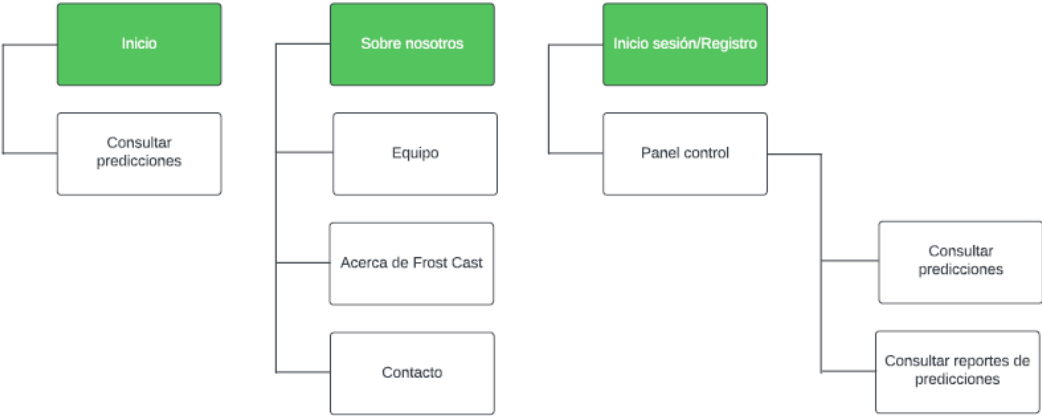
El proceso de implementación aún se encuentra en ejecución. La validación y pruebas funcionales para verificar el desempeño del modelo y de todo el sistema, permitirá realizar un análisis de los resultados y determinar si se realiza un ciclo de ajuste y nuevas pruebas.

Figura 6. Landing aplicación web para interfaz de usuario.



Fuente: (Elaboración propia, 2024)

Figura 7. Estructura aplicación web para interfaz de usuario.



Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

Se han presentado de manera general los avances realizados en el desarrollo de un modelo de aprendizaje automático para determinar heladas y el comportamiento de variables climatológicas relevantes en agricultura en la Sabana de Bogotá. Dentro de la definición de requerimientos, se ha establecido que el despliegue hacia el usuario se realizará mediante un aplicativo web. Los principales avances en este aspecto también se abordan en este documento.

El aprendizaje de máquina (Machine Learning) tiene amplia aplicación en diferentes procesos y en diferentes áreas; se define como un proceso automatizado que extrae patrones de los datos y es un subcampo importante de la Inteligencia Artificial, tecnología relevante dentro de la Industria 4.0, por esto es importante para el Grupo de Investigación GICS generar capacidades internas que le permitan cerrar brechas de conocimiento en estas tecnologías, a partir del desarrollo de procesos de investigación aplicada y desarrollo, como el presentado en este trabajo.

En relación a las heladas, el enfoque del desarrollo de este trabajo es abordar las que se ocasionan por radiación. Cuanto más variables se consideren, existen mayores probabilidades de obtener un modelo con un nivel de asertividad más alto. Para efectos del presente trabajo se han considerado las variables climáticas de Humedad Relativa, Precipitación, Velocidad del Viento, Temperatura: mínima y máxima diarias, al suelo (10 cm), lo anterior por disponibilidad de información histórica en la región.

Es recomendable dar continuidad al proceso de desarrollo del sistema para poder materializar una solución que apoye el proceso de predicción de variables climatológicas y eventos de heladas en la Sabana de Bogotá, y fortalecer las herramientas tecnológicas disponibles para el sector agrícola de la región, problemática inicial que originó el planteamiento y ejecución del proyecto descrito. Así mismo, es importante fortalecer la base de conocimiento y realizar futuras iteraciones de entrenamiento y re-entrenamiento para robustecer el sistema que será implementado **más adelante**.

Como trabajo futuro, de manera inmediata se encuentra finalizar las fases de implementación y validación. Así mismo, se espera que al finalizar el proyecto, se puedan entregar resultados concluyentes en cuanto a la posibilidad de generar un modelo de predicción temprana de eventos de heladas basado en información agrometeorológica histórica. Es importante mencionar que esto corresponde a un trabajo inicial en dicha temática y resulta necesario validar la metodología presentada y sistema a obtener con registros asociados a diferentes estaciones meteorológicas ubica-

das en distintas zonas geográficas del país para, de esta manera, lograr establecer una generalidad de mayor aplicación al modelo propuesto.

5. REFERENCIAS

- Barooni, M., Ziarati, K., & Barooni, A. (2023). Frost Prediction Using Machine Learning Methods in Fars Province. *2023 28th International Computer Conference, Computer Society of Iran, CSICC 2023*. <https://doi.org/10.1109/CSICC58665.2023.10105391>
- Castillo Méndez, R. (2023). Clasificación automática de defectos de paneles solares aplicando aprendizaje de máquina. *Revista Teinnova*, 7, 89–97. <https://doi.org/10.23850/25007211.5750>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2020). *Informe del registro e impactos de heladas en el territorio CAR durante Enero de 2020*
- Cunha, R. L. F., Silva, B., & Netto, M. A. S. (2018). A scalable machine learning system for pre-season agriculture yield forecast. *Proceedings - IEEE 14th International Conference on EScience, e-Science 2018*, 423–430. <https://doi.org/10.1109/eScience.2018.00131>
- García Cañón, H. S. (2019). Implementación de técnicas de machine learning para la predicción de variables meteorológicas y del suelo que afectan la agricultura. In *Implementación de técnicas de machine learning para la predicción de variables meteorológicas y del suelo que afectan la agricultura*. Universidad de los Andes.
- Gonzalez Botero, D. F. (2018). *Planteamiento de un modelo de predicción de heladas en cultivos de rosa en la sabana de Bogotá*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Hurwitz, J., & Kirsch, D. (2018). Machine Learning. In *Journal of the American Society for Information Science* (Vol. 35, Issue 5). John Wiley & Sons, Inc.
- Kelleher, J. D., Mac Namee, B., & D'Arcy, A. (2015). *Fundamentals of Machine Learning for Predictive Data Analytics* (T. M. Press, Ed.). The MIT Press.
- Marqués Gozalbo, M. Á. (2020). *Modelos predictivos de producción agroindustrial con Machine Learning a partir de fuentes de información pública*. Universidad de Córdoba.
- Ramírez Gómez, C. A. (2020). Aplicación del Machine Learning en agricultura de precisión. *Revista Cintex*, 25(2), 14–27.
- Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., & Chowdary, V. (2021). Machine Learning applications for precision agriculture: A comprehensive review. *IEEE Access*, 9, 4843–4873. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048415>
- Snyder, R. L., de Melo-Abreu, J. Paulo., & Matulich, Scott. (2010). *Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía* (2nd ed.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Recibido: 18-08-2024 Aceptado: 09-09-2024

Public Debt: Bibliometric Analysis and Characterization of Perspectives

Deuda pública: análisis bibliométrico y caracterización de perspectivas

Dívida Pública: Análise Bibliométrica e Caracterização de Prospectos

Reinaldo Giraldo Díaz¹

Libia Esperanza Nieto Gómez²

Martha Isabel Cabrera Otálora³

Cómo citar:

Giraldo, R., Nieto, L. & Cabrera, M. (2024). Public Debt: Bibliometric Analysis and Characterization of Perspectives. *Vía Innova*, 11 (1), 165-198. <https://doi.org/10.23850/2422068X.6820>

¹Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia Campus Palmira: Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Magister en Filosofía (Departamento de Filosofía). Universidad del Valle: Cali, Valle del Cauca, Colombia. Doctor en Filosofía (Instituto de Filosofía). Universidad de Antioquía: Medellín, Antioquia, Colombia. Doctor en Agroecología (Facultad de Ciencias Agropecuarias). Universidad Nacional de Colombia: Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Doctor en Educación. Universidad de Baja California: Tepic, Nayarit, México. Docente Asociado Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

²Ingeniera Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Especialista en Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Docente Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Bogotá, Colombia. libia.nieto@unad.edu.co

³Licenciada en Filosofía. Universidad del Cauca. Especialista en Pedagogía para el Desarrollo del Aprendizaje Autónomo, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Magister en Educación Universidad Católica de Manizales, Colombia. Docente Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

ABSTRACT

The issue of public debt is becoming more and more relevant, and there is a worldwide concern about the increase of public debt in both developing and first-world countries. The objective of this review is to provide an overview of the evolution of the academic literature on public debt. For the development of the research, the methodological process consisted of two phases. On the one hand, a scientific mapping of the area, consisting of a bibliometric analysis of the scientific production registered in Scopus and, on the other hand, a network analysis that allowed the identification of the most relevant documents on public debt; from which the main research trends in the area were established. It was found that the network allows for the identification of three perspectives: 1. Relationship between public debt and economic growth; 2. Public debt and its social impact; 3. Relationship between public debt and fiscal policy. It is concluded that the literature agrees on public debt as a response mechanism not only to investment needs or compliance with the Sustainable Development Goals but also to pandemics, natural disasters, and other unplanned events.

166

Keywords: systematic review, global economy, economic growth, social impact, fiscal policy

RESUMO

A questão da dívida pública está a tornar-se cada vez mais relevante, e existe uma preocupação global sobre o aumento da dívida pública tanto nos países em desenvolvimento como nos países do primeiro mundo. O objetivo desta revisão é fornecer uma visão geral da literatura académica em evolução sobre a dívida pública. Para o desenvolvimento da investigação, o processo metodológico consistiu em duas fases. Por um lado, um mapeamento científico da área, constituído por uma análise bibliométrica da produção científica registada em Scopus e, por outro, uma análise em rede que permitiu identificar os documentos mais relevantes sobre a dívida pública; a partir dos quais foram estabelecidas as principais tendências de investigação na área. A rede identificou três perspectivas: 1. a relação entre a dívida pública e o crescimento económico; 2. a dívida pública e o seu impacto social; 3. a relação entre a dívida pública e a política fiscal. Conclui-se que a literatura concorda sobre a dívida pública como mecanismo de resposta não só para as necessidades de investimento ou para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, mas também para responder a pandemias, catástrofes naturais e outros eventos não planeados.

167

palavras-chave: revisão sistemática, economia global, crescimento económico, impacto social, política fiscal.

RESUMEN

El tema de la deuda pública cobra cada vez mayor relevancia, se nota una preocupación mundial por el aumento de ésta tanto en países en desarrollo como del primer mundo. El objetivo de esta revisión es ofrecer un estado de la evolución de literatura académica sobre la deuda pública. Para el desarrollo de la investigación el proceso metodológico constó de dos fases. Por un lado, un mapeo científico del área, consistente en un análisis bibliométrico de la producción científica registrada en Scopus y, por otro lado, un análisis de red que permitió identificar los documentos más relevantes sobre la deuda pública; a partir de lo cual se establecieron las principales tendencias de la investigación en el área. Se encontró que la red permite identificar tres perspectivas: 1. Relación entre deuda pública y crecimiento económico; 2. La deuda pública y su impacto social; 3. Relación entre deuda pública y política fiscal. Se concluye que la literatura coincide respecto a la deuda pública como mecanismo de respuesta no sólo frente a las necesidades de inversión o cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible sino, también, en cuanto a la atención a pandemias, desastres naturales y otros eventos no planificados.

168

Palabras clave: revisión sistemática, economía global, crecimiento económico, impacto social, política fiscal

1. INTRODUCTION

Public debt is one of the main thematic axes of discussion in several countries (Greiner, 2020; Blanchard, Gopinath, and Rogoff, 2021) as it affects economies and forms of public administration, which makes it a global concern, particularly in advanced economies (Featherstone, 2015). States increase public debt to the point that it is one of the main reasons for attention and investment in different societies and economies (Matesanz and Ortega, 2015; Kanagasabapathy, Singh, and Shimpi, 2018; Thepmongkol and Sethapramote, 2018; Le Van et al., 2019). Specifically, as of 2020, global debt increased 28 percentage points, according to the International Monetary Fund - IMF, which currently makes public debt a global challenge, as the dynamics of debt, combined with the fiscal insolvency of countries translates into a threat to financial stability (Álvarez Hernández, Álvarez Hernández, and Álvarez Texocotitla, 2017; República, 2021).

Some investigations show how countries should pay more attention to public debt in post-pandemic times (Amato et al., 2021; Dumitrescu, Kagitci and Cepoi, 2021; Toktosunova et al., 2021). The Covid-19 crisis radically changed the game for economies globally and urged a reassessment of guidelines for healthy public expenditure management (Carnazza and Liberati, 2021; Da Cunha Resende, Bittes Terra, and Filho, 2021; Semik and Zimmermann, 2021). The Covid-19 pandemic increased pressure on public finances (Butkus et al., 2021a, 2021b). This leads to a profound rethinking of the role of public debt in modern capitalist economies and of efficient, equitable, and politically feasible ways to finance it (Amato et al., 2021).

Despite the importance that the topic of public debt has been gaining throughout the 21st century, there is still no review in the literature that shows its evolution and presents its perspectives through network analysis. Several authors have reviewed the topic of public debt showing from case studies defined in the evolution of debt in certain countries, to financial analysis and its impacts on economic development (Nützenadel, 2015; Ifligu, 2018; Murín, 2018; Frascaroli, Oliveira, and Almeida, 2021):

Frascaroli, Oliveira, and Almeida (2021) investigated two cases of regions that used expansionary fiscal policies in recent years to increase short-term economic activity: the European Monetary Union and Brazil. In turn, Murín (Murín, 2018) explored the influence of the structure of public debt on growth in advanced economies. While Nützenadel (2015) analyzed the rise of public debt in Italy since 1970. Likewise, Ifligu (2018) studied the relationship between public debt and economic growth in Albania after the dictatorships. It is to consider other reviews explaining the

European sovereign debt crisis of 2011-2013 (Gulati et al., 2020), which indicate that, during the crisis, some nations facing rising borrowing costs adopted commitments to treat bondholders as priority claimants, i.e., in case of shortage of funds the payment is made first to bondholders.

This article conducts a systematic review that shows the evolution of academic literature on public debt, searching the Scopus database; once the results were obtained, they were exported to RStudio. From there, the documents were identified and classified using the tree structure, which sought to facilitate the understanding of the evolution of this concept and to identify its perspectives, where the root exposes the classic documents, the trunk contains the structural ones, and the leaves present the recent or current ones.

This article consists of four sections in addition to this introduction. The first section It is the context where a description of the topic is made, highlighting its relevance and some background and definitions, the second describes the methodological procedure used to search for and process the documents under investigation. The third section presents the results of the research and, finally, the main conclusions are presented.

2. CONTEXT

170

Public debt is of vital importance to be one of the primary sources of funding for governments in Latin America to acquire resources to meet all claims to fulfill its social mission. According to the definition proposed by the World Bank and the International Monetary Fund, External Debt is understood as follows: "The amount at a given point in time of disbursed and outstanding contractual liabilities assumed by residents of a country vis-à-vis non-residents, with a commitment to repay capital, with or without interest, or to pay interest, with or without repayment of capital" (Fondo Monetario Internacional, 1993).

The Colombian Public Debt is composed of Internal Debt and External Debt, according to the National Planning Department, the first is understood as the following: "the total amount of payments made during the fiscal year for the amortization of borrowings contracted with domestic creditors and paid in Colombian pesos". External debt is: "the operations agreed in foreign currency that are paid through these and that in some way or circumstance directly affect the nation's Balance of Payments by increasing foreign liabilities". (Rodríguez & Segura, 2013).

The real cost of public debt will be determined by macroeconomic variables -including the exchange rate- and by the different forms of contracting, whether fixed or floating rates, internal

or external debt. In principle, these forms of contracting can be reduced to a medium-term horizon in which a real interest rate -weighted average- will be paid. (Clavijo, 2002). The external debt has a great interrelation with some macroeconomic variables and one of these variables is the Balance of Payments, which influences the behavior of the current account, estimating deficits or surpluses. (Rodríguez & Segura, 2013)

Among the different public credit operations carried out by the country to provide the state entity with resources, goods or services that allow it to fulfill its mission, are the contracting of loans, the issuance, subscription and placement of public debt securities, supplier credits and the granting of guarantees for payment obligations of state entities. (Rodríguez & Segura, 2013). Most recently sovereign debt has taken the form primarily of loans from commercial banks, although in earlier periods, governments raised funds abroad mainly through bonds issued in foreign capital markets.

In order to understand the size and composition of the country's public debt, the various government agencies are classified into those that carry out financial activities - Financial Public Sector FPS - and those that carry out non-financial activities - Non-Financial Public Sector NFPS-. The FPS group includes entities that carry out intermediation tasks under market conditions, others that promote development through directed credits, special savings, investment, provident and rescue funds, etc. The central bank has a special status within this group. Within NFPS, they are grouped into general government and public enterprises. General government is made up of all those agencies that provide non-market goods and services for collective consumption (education, health, defense, social security, state administration, etc.) and whose financing comes primarily from taxes and other contributions. Public companies are characterized because they provide, at market prices, goods, and services on a large scale, such as water, energy, telephony, etc., from the sale of which they obtain their financing. (Lozano, 2002)

The distinction between these two levels of the NFPS is paramount in debt statistics and their economic impact. The pressure that a government's debt service exerts on its future budgets, and thus on future taxation, is different from the pressure that a public corporation's debt service exerts on its finances, whose management resembles that of private corporations. Unlike countries in Europe and Asia, most Latin American countries do not have public finance information broken down between general government and public enterprises. (Lozano, 2002)

Traditional debt sustainability exercises almost always consider the costs of the so-called 'certain' public debt, represented by the external and domestic debt disbursed to the public sector.

The so-called contingent debt, comprising pension liabilities, financial system support bonds or public guarantees extended in risk-sharing projects with the private sector, is rarely mentioned. Certain debt is that which has been effectively disbursed to public entities and therefore, already constitutes a liability of the State to the lender. Contingent debt, as its name indicates, is subject to the occurrence of some event before it is recorded as such. In general, the main contingent debt faced by a country is the pension debt, where part of the population is waiting to complete certain age conditions and/or a minimum number of contributions to be entitled to such pension right. The main conceptual difference between certain public debt and contingent debt is that interest is paid on the former according to a previously agreed rule -either at a fixed or floating rate, either in local or foreign currency-. However, the final result of this financial cost on the debt cannot be known ex-ante, since its determinants are affected by monetary and exchange rate policy and the interrelationships between these markets and public spending. (Clavijo, 2002)

3. METHODOLOGY

The methodology consisted of two steps. First, an analysis of the importance of the topic was made based on bibliometric methods, using the Bibliometrix software, which, being open source, allows creating the scientific mapping in a clear and agile way (Aria and Cuccurullo, 2017) based on the scientific production registered in Scopus. Then, a chronological analysis by information networks was performed, following the tree structure, which allowed identifying the most relevant documents on public debt, from which it was possible to establish the co-citation analysis and, with it, the identification of the main research trends in the area.

3.1 Scientific mapping

To proceed the scientific production and mapping analysis performed in this research, the five bibliometric methods suggested by Zupic and Carter (2015) were used: citation analysis, word co-occurrence analysis, co-citation analysis, co-authorship analysis, and bibliographic coupling analysis. The database consulted was Scopus, which, according to Echchakoui (2020), used together, allow a broader view of the knowledge and trends that focus the research interest. The scientific community considers Scopus to be the main bibliographic databases for global consultation (Pranckute, 2021). Table 1 lists the search parameters used in this research.

Table 1. Search parameters on public debt topic

Terms	Parameters	Scopus Result
TITLE (“Public debt”) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2024	article title	1305
Consultation date	August 28th 2024	

Based on these criteria, it was possible to identify that 1305 records were published in Scopus; The query parameters were limited to the words “public debt”. As for the language of publication on this topic, 91% are in English, while 3% and 3% are in Spanish and 1% in German, 1% in French, 1% in Portuguese and 1% in Italian respectively. This is since this database has among their criteria for indexing journals that these comply with the publication of documents in this language, which, in turn, motivates authors to try to make their applications under this criterion in order to increase their visibility and impact (Reyes Rodriguez and Moraga Munoz, 2020).

Following the guidelines of Aria & Cuccurullo (Aria and Cuccurullo, 2017) the bibliometric analysis was carried out with the Bibliometrix tool. With this free-use tool, it is possible to work with different databases, it has been used and validated in several investigations (Campra et al., no date; Duque-Hurtado et al., 2020; Rodriguez-Soler, Uribe-Toril, and De Pablo Valenciano, 2020; Guleria and Kaur, 2021; Abbas et al., 2022; Fernandez Lopez et al., 2022).

173

3.2 Network analysis

Among the actions that made it possible to establish the knowledge network of this area, the records obtained in Scopus was merged using R software; subsequently, their references were extracted until the citation network was reached, for which Graph theory was used as a model. This model allows the analysis of information on the typology and characteristics of the network, the documents that comprise it, and, in general, the analysis of scientific collaboration (Guerrero-Sosa et al., 2020).

The result of the analysis is the knowledge network on public debt achieved from the documents obtained from the Scopus database. This network analysis, also known as a co-citations map, allows us to see the structure of a knowledge area, in addition, it facilitates the identification of research trends (Liu et al., 2021; Muschetto and Siegel, 2021). The graphical visualization of the public policy knowledge network was carried out with Gephi software (Jacomy et al., 2014).

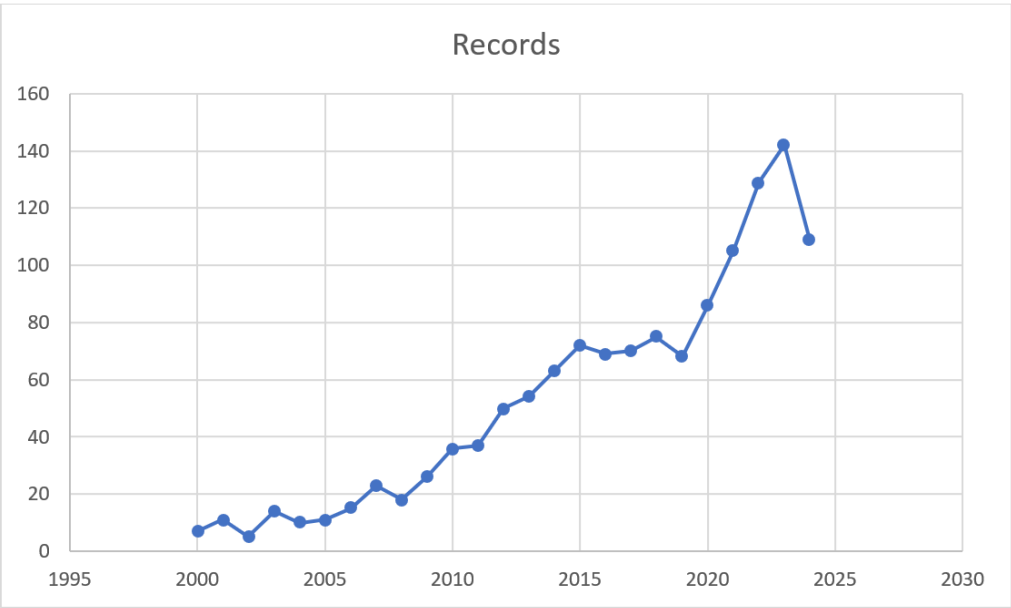
The indegree, outdegree, and betweenness indicators are calculated for each of the records in the network, which allow the works to be classified using the figure of a tree (Robledo et al., 2014; Valencia et al., 2020). Taking this analogy into account, three categories emerge: The roots (high indegree), where the classic papers and those of hegemonic theoretical relevance within the field of study are observed, especially contemplating publications that are cited but do not cite others (Wallis, 2007). Then there is the trunk (high betweenness), there are located documents that cite and that, at the same time, are cited by others (Zhang & Luo, 2017), in this component structural works are grouped, those connect the theoretical foundation of the classics, with current research. Finally, the leaves (high outdegree), focus on the most recent papers and cite the others (Wallis, 2007). These papers show the current trends or also called perspectives in which research in the area is framed, constituting the emerging research fronts. This methodological procedure has been employed and validated in previous studies (Buitrago et al., 2020; Clavijo-Tapia et al., 2021; Duque, Meza, Giraldo, et al., 2021; Duque, Meza, Zapata, et al., 2021; Duque, Toro, et al., 2020; Duque & Cervantes, 2019; Ramos et al., 2021; Rubaceti et al., 2022; Torres et al., 2021; Trejos-Salazar et al., 2021).

4. RESULTS

4.1 Bibliometric analysis

Figure 1 shows the scientific production associated with the topic of public debt in the Scopus citation index from 2000 to 2024. In the last five years, 44 % of the research has been published and the subject has an annual growth rate of 10.46%. During the years 2021 to 2024 the highest number of publications per year is presented, which is related to the importance of public debt in times of pandemic and post-pandemic (Gonzalez, 2020; Amato et al., 2021; Carnazza and Liberati, 2021; Dumitrescu, Kagitci and Cepoi, 2021; Semik and Zimmermann, 2021).

Figure 1. Annual scientific production in the period 2000 - 2024 about the public debt topic



Another topic of analysis is related to scientific production by country, where it is shown that public debt is of global importance, as suggested by several authors (Chorafas, 2013; Ahmed and Juboori, 2019; Asada, 2020; Liu and Lyu, 2021; Zhou, 2021). The United States leads in the number of publications in the area of public debt, with 175, followed by Germany and Italy with 124 and 113, respectively. France has 87 entries, the United Kingdom 75, and Spain 56. (Table 2). This distribution of scientific output highlights the varying levels of academic interest and research capacity in different countries. The dominance of the United States in this field may reflect its significant role in global financial markets and its complex public debt structure, which has been a focal point for both domestic and international researchers. Despite the concentration of publications in a few countries, the presence of entries from other nations, such as France, the United Kingdom, and Spain, underscores the global relevance of public debt as a research area. This indicates a widespread recognition of the critical role that public debt plays in both national and global economic health

Table 2. Scientific production by country on public debt topic

Country	Records
United States	175
Germany	124
Italy	113
France	87
Undefined	77
United Kingdom	75
Spain	56
India	44
Japan	43
China	43
Brazil	38
Australia	33
Turkey	32
South Africa	32
Nigeria	31
Romania	28
Austria	28
Canada	27
Malaysia	25
Switzerland	23

Following the topics of analysis, the most relevant authors in the area are identified. The author with the highest scientific production in Scopus is Greiner, who has 20 publications in Scopus, as shown in Table 3. Likewise, it should be noted that authors with more than 2 thousand citations are among the 10 most cited in public debt, namely Odhiambo, Nicholas M; Panizza, Ugo and Presbitero, Andrea F. This shows the relevance of public debt among the world academic and scientific community.

Table 3. Most relevant authors in Scopus about public debt topic

Author	Scopus		H Index
	Number of publications	Number of citations	
Greiner, Alfred	20	24780	71
Odhiambo, Nicholas M	10	3202	27
de Mendonca, Helder Ferreira	8	711	14
Farmer, Karl	8	109	5
Neck, Reinhard	5	351	12
Panizza, Ugo	7	2761	23
Presbitero, Andrea F.	7	1399	19
Seegmuller, Thomas	5	296	11
Beetsma, Roel M.W.J.	3	2047	22

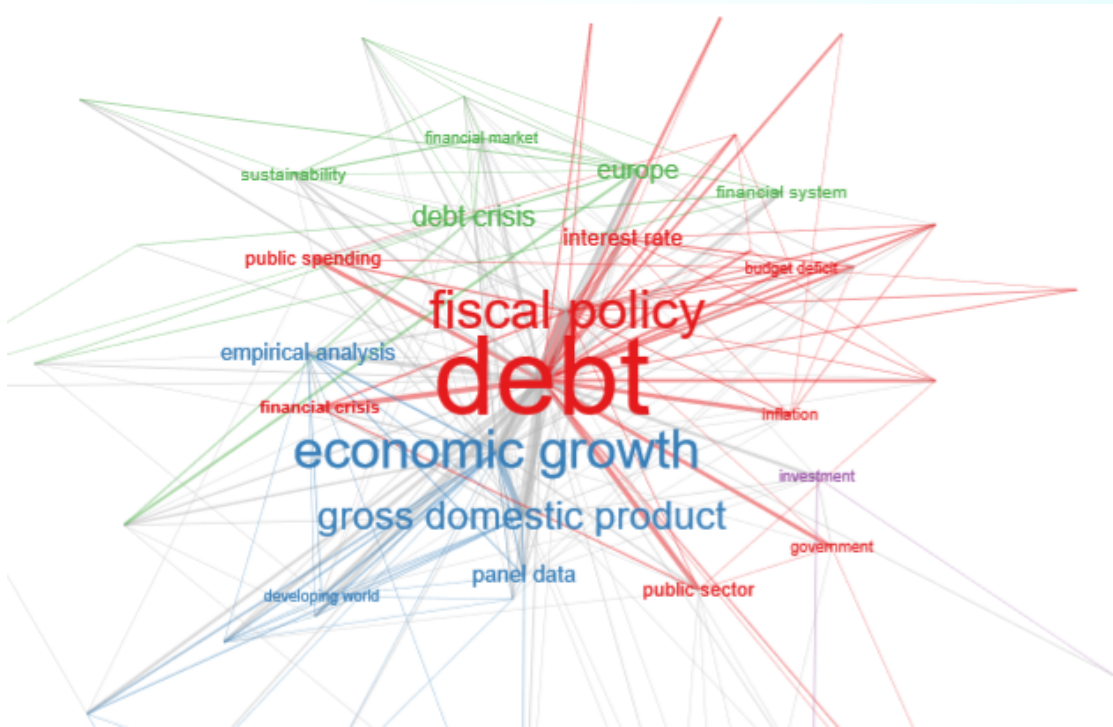
Regarding the analysis of the most relevant journals in the area (Table 4), it was found that among the top ten journals that publish on public debt, eight are located in quartiles 1 and 2 of Scopus, which shows that this topic is of great importance for the different countries at a global level and, therefore, is a concern for researchers. It is found that the journals Journal of Policy Modeling, Public Choice, and Journal of Economic Dynamics and Control are Q1 and of Dutch origin, while the United Kingdom and the United States include the other seven main journals published in DP. The prominence of these journals in the field suggests they play a crucial role in disseminating research that influences both academic thought and policy-making. For instance, the Journal of Policy Modeling and Public Choice often publish studies that directly inform government policies, reflecting the strong connection between academic research and practical applications in economic governance.

Table 4. Most relevant journals in Scopus about public debt topic

Journal	Registers	Quartile	H-Index	Total	Percentage	Country
Journal of macroeconomics	17	Q2	48	15	0.01	US
Economic modelling	17	Q2	77	13	13	United Kingdom
Applied economics	16	Q2	85	14	14	United Kingdom
Applied economics letters	16	Q3	51	12	12	United Kingdom
Journal of policy modeling	14	Q1	53	11	11	Holanda
Macroeconomic dynamics	13	Q2	46	11	11	United Kingdom
Economics bulletin	9	Q3	31	8	11	US
Public choice	9	Q1	81	9	9	Netherlands

The word co-occurrence network (Figure 2) shows that public debt is closely related to economic growth (Cuénoud, 2011; Jabłoński, Zmuda and O’Riordan, 2015; Wyplosz, 2015; Simovic, 2018; Deng, Liu, and Tian, 2020; Vinayagathan and Ranjith, 2021), to fiscal policy (Keuschnigg et al., 2000; Bui, 2018; Pečarić, Slišković and Kusanović, 2018; Simovic, 2018) and with Gross Domestic Product (Dolenc, 2009; Égert, 2015; Radonjić et al., 2020; Butkus et al., 2021b; Rajakaruna, Suardi and Perera, 2021). Moreover, it has important connections with public spending (Moraga and Vidal, 2010; Popa, 2013; Bokan, Hallett and Jensen, 2016; Lemoine, 2017; Ahmed and Juboori, 2019; Aloui and Eyquem, 2019; Bentour, 2021; Sakkas and Varthalitis, 2021), interest rates (Stettner, 1945; Oguro and Sato, 2014; Von Weizsäcker, 2014; Aloui and Eyquem, 2019; Maitra, 2019; Halkos et al., 2020; Ragot and Pinois, 2020; Aimola and Odhiambo, 2021), budget deficits (Shizume, 2011; Comin, 2012; McCausland and Theodossiou, 2016; Beqiraj, Fedeli and Forte, 2018; Kuncoro, 2018; Sasmal and Sasmal, 2020; Misztal, 2021), government and public sector (Neményi, 1996; Bui, 2018; van Riet, 2020; Gaborieau and Pronello, 2021).

Figure 2. Cooccurrence network of words on public debt topic



179

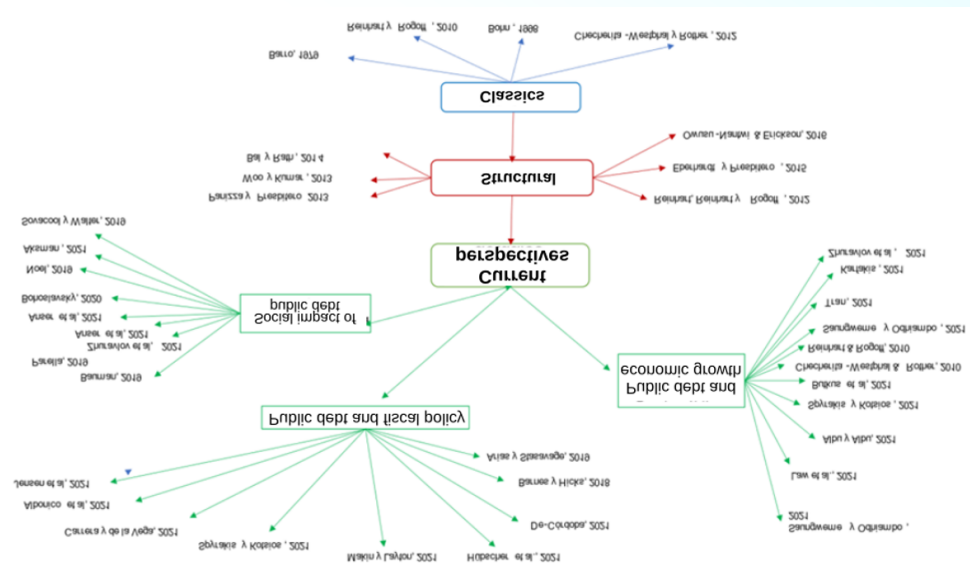
4.2 Analysis of the evolution of the topic (tree structure)

Based on the identification and classification of the documents found about public debt, Figure 3 shows the classic (root), structural (trunk), and current perspectives (leaves) documents, the analysis of which will be detailed below.

Root (classic, hegemonic or seminal documents).

Considering that the root is constituted by the research papers that support public debt as a relevant topic, evidenced by the highest number of citations, it was found that one of the papers considered as a starting point for research on public debt is the one presented by Barro (1979), which develops a simple theory of “optimal” public finances that identifies some influential factors in the choice between taxes and debt issuance.

Figure 3. Tree structure obtained from the analysis of public debt topic



Another seminal paper on public debt is the one by Reinhart and Rogoff (2010), which, in the context of the sharp rebound in public sector debt during the 2007-2009 financial crises in the United States, analyzes a set of historical data on public debt to look for a systemic relationship between high levels of public debt, growth and inflation. The main contribution of this paper to the understanding of this issue is that, in both advanced and emerging countries, high levels of debt/GDP (90% or more) are associated with markedly lower growth. These findings are integrated with Bohn's (1998) studies on the debt-to-GDP ratio in wartime.

Another paper that makes up the root is the one by Checherita-Westphal and Rother (2012), which investigates the average impact of public debt on GDP per capita growth in twelve euro area countries over a period of about 40 years starting in 1970. This research finds a non-linear impact of debt on growth with a tipping point, beyond which the public debt-to-GDP ratio has a negative impact on long-term growth, at around 90-100% of GDP. Confidence intervals for the debt tipping point suggest that the negative growth effect of high debt can start from levels of 70% to 80% of GDP. The channels through which government debt is found to have a non-linear impact on the economic growth rate are private saving, public investment, and total productivity factors.

Finally, there is the paper by Barro (1979) in which the assumption that government bonds are perceived as net wealth by the private sector is found to be crucial in demonstrating the real effects of changes in the stock of government debt. The research shows, in the context of a model

overlap of generations, that finite lifetimes will not be relevant for the capitalization of future tax liabilities unless current generations are connected to future generations by a chain of inter-generational transfer transactions (either in the old-to-young direction or in the young-to-old direction). Applications of this result to social security and other types of transfer schemes show that, in the presence of imperfect private capital markets, government debt issuance increases net wealth if the government is more efficient than the private market in carrying out the loan process.

Trunk (documents that connect the network).

The papers that make up the trunk of this review are those that have a higher percentage of centrality among the papers considered basic and the most recent scientific publications, which means that they are the ones that connect the network. The first paper in this category is Reinhart, Reinhart, and Rogoff (2012), which identifies major episodes of public debt overhang in advanced economies since the early 19th century, characterized by public debt levels at the level of GDP above 90% for at least five years. Among the 26 episodes they identified, 20 lasted more than a decade. The long duration disproves the view that the correlation is mainly due to debt accumulation during downturns in the business cycle. The long duration also implies that the accumulated output shortfall due to the debt overhang is potentially massive. These growth-reducing effects of high public debt are apparently not exclusively transmitted through high real interest rates, since, in eleven of the episodes, interest rates are not materially higher.

Another structural paper is Eberhardt and Presbitero (2015), which finds support for a negative relationship between public debt and long-term growth across countries. The paper by Panizza and Presbitero (2013) studies whether the public debt has a causal effect on economic growth in a sample of Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD countries. The results are consistent with the existing literature that has found a negative correlation between debt and growth.

The paper by Woo and Kumar (2015) analyzes whether the global financial crisis leads to an increase in public debt worldwide. This research points out that high initial public debt is significantly associated with slower subsequent growth. Another structural paper is Bal and Rath (2014), which examines the effect of public debt on economic growth in India between 1980 and 2011 using the autoregressive ARDL model with distributed lags, the paper plots a long-run equilibrium relationship between public debt and economic growth and identifies that central

government debt, Total Factor Productivity (TFP) growth, and debt servicing affect economic growth in the short run.

A structural paper that complements these analyses is Owusu-Nantwi and Erickson (2016), which argues that the key underlying issue behind economic development, is the issue of public debt, but that it has been mostly ignored by empirical research. Economic development requires investment in infrastructure, education, social welfare, health, and other sectors of economies. The study reveals a positive and statistically significant long-term relationship between public debt and economic growth. The study recommends that Ghana should acquire public debt for very high-priority projects and programs that are well evaluated and self-sustaining and can contribute positively to economic growth.

Leaves (Current Perspectives on Public Debt Research)

The analysis of current documents on public debt issues allowed to define 3 types of perspectives or current research trends, which will be described below.

Perspective 1. Relationship between public debt and economic growth.

The literature consulted allowed to identify a constant of analysis in which public debt and economic growth are related, which is one of the perspectives that will be studied the most (Figure 4). The works of Saungweme & Odhiambo (2021b) suggest investigations to test for the existence of nonlinear relationships between variables using recently developed econometric techniques with which to determine the relationship between public debt and economic growth. Similarly, Law et al. (2021), worked with the dynamic panel threshold technique to understand the relationship between public debt and gross domestic product in 71 developing countries from 1984 to 2015, which shows the threshold value of debt of 51.65%

Perspective 2. Public debt and its social impact

Even though public debt is a constant of inquiry at the global level, the approaches, and methodological designs to analyze it are applied to regional cases that, in addition, expose suggestions to be considered in public policies that commit the strategies or actions to overcome the effects of public debt in the States under study (Olaoye et al., no date; Baumann, 2019; Parella, 2019; Zhuravlov et al., 2021). It is also noted that research on the social impact of public debt (Figure 5) is also oriented towards poverty in times of pandemic and post-pandemic and its relationship with public debt (Anser et al., 2020). Research is aimed at establishing the connections between public debt and public health conditions, given that the greater the poverty, the greater the risk of contagion and vulnerability to infectious diseases.

Regarding post-pandemic analyses, it is considered that public debt, being a factor of poverty deepening, should be treated in interrelation with public health with respect to growth and health care policies in favor of the poor (Anser et al., 2020). Another research trend on public debt and its impact on social issues is framed in contextual and conceptual references in which social issues prevail over economic growth, promoting economic diversification and its correlation with poverty and inequality indexes (Bohoslavsky, 2020).

184

Figure 5. Perspective 2. Public debt and its social impact



Another trend in the analysis of public debt involves comparative studies between the countries that make up the Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) and its relationship with the social aspects of each member country. In this line of analysis, in the perspective of the social, a wide range of topics is presented, ranging from the materialization of investments in the Welfare State to the impacts generated by public debt (Noel, 2019), in this same sense is the analysis of Aksman (2021) who also proposes a set of new equations that allow finding a link between the cost of closing the relative poverty gap and income inequality of families, to which Parella (2019) agreed in the perspective of the market economy and its prevalence worldwide. Likewise, other research shows comparative analyses between public debt and mining-energy projects (Sovacool & Walter, (2019) that focus their interest on the social risks of these.

Perspective 3. Public debt and fiscal policy

Public debt and its relationship with the fiscal policy are topics of general interest, and not exclusive to academics and specialists in the area, so research tends to develop models that allow a visual approach to the dynamics of economic activity, the public budget, and the maximum amount of sustainable public debt, which contributes to decision-making not only in fiscal policy but also in public opinion, based on information that is clear and easy to understand (Barnes and Hicks, 2018; Arias and Stasavage, 2019; De-Córdoba, Molinari and Torres, 2021).

185

In this sense, given the importance of public debt in the political and social life of States (Figure 6), there is a growing interest in the scientific community about conducting research aimed at observing the impact generated by the level of public debt on electoral decisions according to investment or austerity proposals for new government terms, the latter being the least desirable for the people (Makin, 2018; Hübscher, Sattler and Wagner, 2021). This interest becomes even stronger given the economic legacy left by the Covid-19 crisis (CVC), from which research will be presented that analyzes the macroeconomic risks derived from the high public debt ratios generated by investment requirements to minimize the short-term economic impact (Makin and Layton, 2021).

Likewise, Spyraakis & Kotsios (2021); Carrera & de la Vega (2021) show that research will consider debt crises, austerity measures, and their impact on financial markets, for which comparative studies will be advanced among highly indebted countries and possible measures to face public debt; from this, methods will be generated to understand the application of fiscal policy, feedback control of the economic system and its political and social implications. We will also analyze the

The journals *Journal of Policy Modeling*, *Public Choice* and *Journal of Economic Dynamics and Control* are Q1 and of Dutch origin, while the United Kingdom and the United States include the other seven main journals published in DP. The author with the highest scientific output in Scopus is Greiner.

There is clarity regarding public debt as a response mechanism not only in the face of investment needs or fulfillment of the Sustainable Development Goals but also with respect to addressing pandemics, natural disasters, wars, and other unplanned events (Iriqat and Abdalrahman, 2016; Amato et al., 2021; Carnazza and Liberati, 2021; Makin and Layton, 2021).

The network preliminarily presents three perspectives: Perspective 1. Relationship between public debt and economic growth; Perspective 2. Public debt and its social impact; Perspective 3. The relationship between public debt and fiscal policy. These perspectives are integrated by an important number of investigations that consolidate them and show that it is possible to continue developing studies on public debt in these areas. The following research topics were found and are recommended to be addressed by future research (Table 5):

Table 5. Topics for future research on public debt

Perspective	Topic	Reference
Public debt and economic growth	Test for the existence of nonlinear relationships between variables using recent econometric techniques.	Saungweme & Odhiambo, 2021
	Debt threshold	Law et al, 2021
	New methodologies	Albu & Albu, 2021
	Debt sustainability	Zhuravlov et al, 2021
	Indebtedness, growth rates, economic expansion, and contraction	Spyrakis & Kotsios, 2021; Butkus et al 2021a; Checherita-Westphal & Rother, 2012; Reinhart & Rogoff, 2010; Saungweme & Odhiambo, 2021a; Tran, 2021

Social impact of public debt	Overcoming the effects of public debt in States	Baumann, 2019; Olaoye et al., n.d.; Parella, 2019; Zhuravlov et al., 2021
	Public debt and mining and energy projects	Sovacool & Walter, 2019
	Comparative studies	Aksman, 2021
	Poverty and inequality	Anser et al., 2020; Bohoslavsky, 2020
	Market economy	Parella, 2019
	Public debt and public health	Anser et al., 2020
Public debt and fiscal policy	Public opinion	Arias & Stasavage, 2019; Barnes & Hicks, 2018; De-Córdoba et al., 2021
	Impact generated by the level of public debt	Hübscher et al., 2021; Makin, 2018
	Macroeconomic risks of high indebtedness	Makin & Layton, 2021
	Austerity and financial markets	Albonico et al., 2021; Jensen et al., 2021

Finally, according to the literature reviewed, this is the first systematic review on public debt that applies graph theory to analyze the scientific production in this field. As in any other type of research, the systematic review presented in this article shows certain limitations. First, the initial search was conducted in the Scopus database, because of those the investigations that not included in these databases are outside the scope of the current study. Secondly, the search topic public debt could imply certain limitations, since it may exclude keywords related to public debt. For future research, it is suggested to perform a meta-analysis of this field, in addition to deepening the analysis of the three proposed perspectives.

6. CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no conflicts of interest

7. REFERENCES

- Abbas, A. F. *et al.* 2022. Bibliometrix analysis of information sharing in social media, *Cogent Business & Management*, 9(1). doi: 10.1080/23311975.2021.2016556.
- Ahmed, H. H. and Juboori, H. A. H. A. 2019. Assess the Sustainability of Public Debt in Iraq's Oil Economy (Autoregressive Distributed Lag Methodology), *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. Asian Research Publishing Network, 14(Special Issue 9), 10733–10739. doi: 10.36478/JEASCI.2019.10733.10739.
- Aimola, A. U. and Odhiambo, N. M. 2021. Public debt and inflation nexus in Nigeria: An ARDL bounds test approach, *Cogent Economics and Finance*. Cogent OA, 9(1). doi: 10.1080/23322039.2021.1921905.
- Aksman, E. 2021. How much would it cost to eliminate the at-risk-of-poverty rate? Evidence from the European Union, *Economic Research-Ekonomska Istrazivanja*, 34(1), 1913–1930. doi: 10.1080/1331677X.2020.1860789.
- Albonico, A., Ascari, G. and Gobbi, A. 2021. The public debt multiplier, *Journal of Economic Dynamics and Control*. Elsevier B.V., 132. doi: 10.1016/j.jedc.2021.104204.
- Albu, A.-C. and Albu, L.-L. 2021. Public debt and economic growth in euro area countries. A wavelet approach, *Technological and Economic Development of Economy*. VGTU, 27(3), 602–625. doi: 10.3846/tede.2021.14241.
- Aloui, R. and Eyquem, A. 2019. Spending multipliers with distortionary taxes: Does the level of public debt matter?, *Journal of Macroeconomics*. Elsevier Ltd, 60, 275–293. doi: 10.1016/j.jmacro.2019.03.002.
- Álvarez Hernández, M. D., Álvarez Hernández, S. and Álvarez Texocotitla, M. 2017. *La Deuda Pública, el crecimiento económico y la política*, Polis. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Departamento de Sociología, 13(2), 41–71. Available at: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-23332017000200041&lng=es&nrm=iso&tlng=es (Accessed: 9 February 2022).
- Amato, M. *et al.* 2021. Europe, public debts, and safe assets: the scope for a European Debt Agency, *Economia Politica. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*, 38(3), 823–861. doi: 10.1007/s40888-021-00236-6.
- Anser, M. K. *et al.* 2020. Does communicable diseases (including COVID-19) may increase global poverty risk? A cloud on the horizon, *Environmental Research*, 187. doi: 10.1016/j.envres.2020.109668.
- Aria, M. and Cuccurullo, C. 2017. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis, *Journal of Informetrics*. Elsevier Ltd, 11(4), 959–975. doi: 10.1016/j.joi.2017.08.007.

- Arias, E. and Stasavage, D. 2019- How large are the political costs of fiscal austerity?, *Journal of Politics*, 81(4), 1517–1522. doi: 10.1086/704781.
- Asada, H. 2020. Public debt sustainability of vietnam', *Studies in Regional Science*. Japan Section of the Regional Science Association International, 50(2), 259–269. doi: 10.2457/srs.50.259.
- Bal, D. P. and Rath, B. N. 2014. Public debt and economic growth in India: A reassessment, *Economic Analysis and Policy*. Elsevier B.V., 44(3), 292–300. doi: 10.1016/j.eap.2014.05.007.
- Barnes, L. and Hicks, T. 2018. Making Austerity Popular: The Media and Mass Attitudes toward Fiscal Policy, *American Journal of Political Science*, 62(2), 340–354. doi: 10.1111/ajps.12346.
- Barro, R. J. 1979. On the Determination of the Public Debt', *Journal of Political Economy*. University of Chicago Press, 87(5, Part 1), 940–971. doi: 10.1086/260807.
- Baumann, H. 2019. The Causes, Nature, and Effect of the Current Crisis of Lebanese Capitalism, *Nationalism And Ethnic Politics*, 25(1), 61–77. doi: 10.1080/13537113.2019.1565178.
- Bentour, E. M. 2021. The effects of public debt accumulation and business cycle on government spending multipliers, *Applied Economics*. Routledge. doi: 10.1080/00036846.2021.1985721.
- Begiraj, E., Fedeli, S. and Forte, F. 2018. Public debt sustainability: An empirical study on OECD countries, *Journal of Macroeconomics*. Elsevier Ltd, 58, 238–248. doi: 10.1016/j.jmacro.2018.10.002.
- Blanchard, O., Gopinath, G. and Rogoff, K. 2021. Discussion on Public Debt and Fiscal Policy, *IMF Economic Review*. Palgrave Macmillan, 69(1), 258–274. doi: 10.1057/s41308-020-00116-2.
- Bohn, H. 1998. The behavior of U. S. public debt and deficits, *Quarterly Journal of Economics*. Oxford University Press, 113(3), 948–963. doi: 10.1162/003355398555793.
- Bohoslavsky, J. P. 2020. Development and Human Rights in Bolivia: Advances, Contradictions, and Challenges', *Latin American Policy*, 11(1), 126–147.
- Bokan, N., Hallett, A. H. and Jensen, S. E. H. 2016. Growth-maximizing public debt under changing demographics, *Macroeconomic Dynamics*. Cambridge University Press, 20(6), 1640–1651. doi: 10.1017/S1365100514000947.
- Briceño, H. R. and Perote, J. 2020. Determinants of the public debt in the Eurozone and its sustainability amid the Covid-19 pandemic, *Sustainability (Switzerland)*. MDPI, 12(16). doi: 10.3390/su12166456.
- Bui, D.-T. 2018. How Financial Freedom and Integration Change Public Debt Impact on Financial Development in the Asia-Pacific: A Panel Smooth Transition Regression Approach, *Australian Economic Review*. Blackwell Publishing, 51(4), 486–501. doi: 10.1111/1467-8462.12279.
- Butkus, M. et al. 2021a. Empirical evidence on factors conditioning the turning point of the public debt–growth relationship, *Economies*. MDPI, 9(4). doi: 10.3390/economies9040191.
- Butkus, M. et al. 2021b. The heterogeneous public debt–growth relationship: The role of the expenditure multiplier, *Sustainability (Switzerland)*. MDPI, 13(9). doi: 10.3390/su13094602.

- Campra, M. *et al.* no date. Bibliometrix analysis of medical tourism', *Health Services Management Research*. doi: 10.1177/09514848211011738.
- Carnazza, G. and Liberati, P. 2021. The asymmetric impact of the pandemic crisis on interest rates on public debt in the Eurozone, *Journal of Policy Modeling*. Elsevier B.V., 43(3), 521–542. doi: 10.1016/j.jpolmod.2021.04.001.
- Carrera, J. and de la Vega, P. 2021. The impact of income inequality on public debt, *Journal of Economic Asymmetries*. Elsevier B.V., 24. doi: 10.1016/j.jeca.2021.e00216.
- Checherita-Westphal, C. and Rother, P. 2012. The impact of high government debt on economic growth and its channels: An empirical investigation for the euro area, *European Economic Review*, 56(7), 1392–1405. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurocorev.2012.06.007>.
- Chorafas, D. N. 2013. *Public debt dynamics of europe and the U.S.*, *Public Debt Dynamics of Europe and the US*. Elsevier Inc. doi: 10.1016/C2013-0-13526-X.
- Clavijo S. 2002. Deuda pública cierta y contingente: el caso de Colombia. <https://www.banrep.gov.co/docum/ftp/borra205.pdf>
- Comín, F. 2012. Default, rescheduling and inflation: Public debt crises in Spain during the 19th and 20th centuries, *Revista de Historia Economica - Journal of Iberian and Latin American Economic History*, 30(3), 353–390. doi: 10.1017/S0212610912000134.
- Cuénoud, T. 2011. Public debt improves the stability of exchange rates in developing countries? The specific case of new European members (2004 and 2007), *Risk Governance and Control: Financial Markets and Institutions*. Virtus Interpress, 1(2), 25–44. doi: 10.22495/rgcv1i2art3.
- Da Cunha Resende, M. F., Bittes Terra, F. H. and Filho, F. F. 2021. Conventions, money creation and public debt to face the covid-19 crisis and its aftermath: A post-keynesian view, *Brazilian Journal of Political Economy*. Univ Saopaulo, 41(2), 254–270. doi: 10.1590/0101-31572021-3260.
- De-Córdoba, G. F., Molinari, B. and Torres, J. L. 2021. Public debt frontier: A python toolkit for analyzing public debt sustainability, *Sustainability (Switzerland)*. MDPI, 13(23). doi: 10.3390/su132313260.
- Deng, F.-H., Liu, L.-M. and Tian, Q.-L. 2020. Effects of ecotourists' pleasure experience on conservation attitude and pro-environmental behaviour intention – case on geopark tourists, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 21(5), 1665–1672.
- Dolenc, P. 2009. Is public debt management in Slovenia efficient: An empirical analysis, *South East European Journal of Economics and Business*. School of Economics and Business in Sarajevo, 4(2), 39–44. doi: 10.2478/v10033-009-0012-5.
- Dumitrescu, B. A., Kagitci, M. and Cepoi, C.-O. 2021. Nonlinear effects of public debt on inflation. Does the size of the shadow economy matter?, *Finance Research Letters*. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.frl.2021.102255.

- Duque-Hurtado, P. *et al.* 2020. Neuromarketing: Its current status and research perspectives', *Estudios Gerenciales*, 36(157), 525–539. doi: 10.18046/j.estger.2020.157.3890.
- Eberhardt, M. and Presbitero, A. F. 2015. Public debt and growth: Heterogeneity and non-linearity', *Journal of International Economics*. Elsevier B.V., 97(1), 45–58. doi: 10.1016/j.jinteco.2015.04.005.
- Echchakoui, S. 2020. Why and how to merge Scopus and Web of Science during bibliometric analysis: the case of sales force literature from 1912 to 2019, *Journal Of Marketing Analytics*, 8(3, SI), 165–184. doi: 10.1057/s41270-020-00081-9.
- Égert, B. 2015. The 90% public debt threshold: the rise and fall of a stylized fact, *Applied Economics*. Routledge, 47(34–35), 3756–3770. doi: 10.1080/00036846.2015.1021463.
- Featherstone, K. 2015. External conditionality and the debt crisis: the 'Troika' and public administration reform in Greecep, *Journal Of European Public Policy*, 22Feathers(3), 295–314. doi: 10.1080/13501763.2014.955123.
- Fernandez Lopez, R. *et al.* 2022. Prospective scenarios: a literature review using the r bibliometrix package, *Bibliotecas-Anales De Investigacion*, 18(1).
- Fondo Monetario Internacional. 1993. Manual de Balanza de Pagos. Estadísticas de Deuda Externa
- Frascaroli, B., Oliveira, J. and Almeida, M. 2021. Public debt, economic policy coordination and their effectiveness: lessons from the EMU and Brazil', *Journal of Economic Policy Reform*. Routledge, 24(2), 219–235. doi: 10.1080/17487870.2019.1609356.
- Gaborieau, J.-B. and Pronello, C. 2021. Validation of a unidimensional and probabilistic measurement scale for pro-environmental behaviour by travellers, *Transportation*, 48(2), 555–593. doi: 10.1007/s11116-019-10068-w.
- González, J. Z. 2020. Public debt accumulation and fiscal policy in Latin America [Acumulación de deuda pública y política fiscal en América Latina], *Investigacion Economica*. Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 79(314), 3–27. doi: 10.22.201./FE.01851667P.2020.314.76704.
- Greiner, A. 2020. Public debt in a descriptive endogenous growth model, *Annals of Economics and Finance*. Central University of Finance and Economics, 21(1), 173–187. doi: 10.2139/ssrn.3370095.
- Guerrero-Sosa, J. D. T. *et al.* 2020. Analysis of Internal and External Academic Collaboration in an Institution Through Graph Theory, *Vietnam Journal Of Computer Science*, 7(4), 391–415. doi: 10.1142/S2196888820500220.
- Gulati, M. *et al.* 2020. When Governments Promise to Prioritize Public Debt: Do Markets Care?, *Journal of Financial Regulation*. Oxford University Press, 6(1), 41–74. doi: 10.1093/jfr/fjaa001.
- Guleria, D. and Kaur, G. 2021. Bibliometric analysis of ecopreneurship using VOSviewer and RStudio Bibliometrix, 1989–2019, *Library Hi Tech*, 39(4), 1001–1024. doi: 10.1108/LHT-09-2020-0218.
- Halkos, G. E. *et al.* 2020. Public debt games with corruption and tax evasion, *Economic Analysis and Policy*. Elsevier B.V., 66, 250–261. doi: 10.1016/j.eap.2020.04.007.

- Hübscher, E., Sattler, T. and Wagner, M. 2021. Voter responses to fiscal austerit, *British Journal of Political Science*, 51(4), 1751–1760. doi: 10.1017/S0007123420000320.
- Ifigu, E. P. 2018. The relationship between public debt and economic growth in Albania and other countries, *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*. Sciendo, 7(3), 95–102. doi: 10.2478/ajis-2018-0061.
- Iriqat, R. A. M. and Abdalrahman, O. 2016. An empirical study on public debt macroeconomic determinates: Evidence from the palestinian national authority', *Journal of International Business and Economics*. International Academy of Business and Economics, 16(3), 7–16. doi: 10.18374/JIBE-16-3.1.
- Jabłoński, L., Zmuda, P. and O'Riordan, L. 2015. Income inequality and public debt in oecd-countries from a CSR perspective, *New Perspectives On Corporate Social Responsibility: Locating The Missing Link*. Springer Fachmedien. doi: 10.1007/978-3-658-06794-6_9.
- Jacomy, M. et al. 2014. ForceAtlas2, a Continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization Designed for the Gephi Software, *Plos One*, 9(6). doi: 10.1371/journal.pone.0098679.
- Jensen, S. E. H., Sveinsson, T. S. and Vieira, F. B. 2021. From Here to There: Achieving Fiscal Sustainability Under Alternative Demographic Contingencies, *Economist (Netherlands)*, 169(4), 427–444. doi: 10.1007/s10645-021-09392-3.
- Kanagasabapathy, K., Singh, C. and Shimpi, S. 2018. Need to rationalise rising interest burden on central government public debt', *Economic and Political Weekly*. 53(4), 93–98. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85041054518&partnerID=40&md5=a4a6f760bd4c96ac4bdfdb978e973dfd>.
- Karfakis, I. 2021. The predictive content of public debt for real output expansions and contractions over three centuries: A Markov switching analysis for the UK, *Journal of Economic Asymmetries*. Elsevier B.V., 24. doi: 10.1016/j.jeca.2021.e00205.
- Keuschnigg, C. et al. 2000. Public debt and generational balance in Austria', *Empirica*. Kluwer Academic Publishers, 27(3), 225–252. doi: 10.1023/A:1007171200613.
- Kuncoro, H. 2018. The credibility of fiscal policy and cost of public debt', *Scientific Papers of the University of Pardubice, Series D: Faculty of Economics and Administration*. University of Pardubice, 26(43), 147–157. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85052122032&partnerID=40&md5=bccf84ebec169019589d987f5e233a10>.
- Law, S. H. et al. 2021. Public debt and economic growth in developing countries: Nonlinearity and threshold analysis', *Economic Modelling*. Elsevier B.V., 98, 26–40. doi: 10.1016/j.econmod.2021.02.004.
- Lemoine, B. 2017. The politics of public debt financialisation: (Re)inventing the market for French sovereign bonds and shaping the public debt problem (1966-2012), *The Political Economy of*

- Public Finance: Taxation, State Spending and Debt since the 1970s*. Cambridge University Press.
doi: 10.1017/9781316498958.011.
- Liu, H. *et al.* 2021. Visualization Analysis of Knowledge Network Research Based on Mapping Knowledge', *Journal Of Signal Processing Systems For Signal Image And Video Technology*, 93(2–3, SI), 333–344. doi: 10.1007/s11265-020-01595-2.
- Liu, Z. and Lyu, J. 2021. Public debt and economic growth: threshold effect and its influence factors, *Applied Economics Letters*. Routledge, 28(3), 208–212. doi: 10.1080/13504851.2020.1740157.
- Lozano, L. 2002. Dinámica y características de la deuda pública en Colombia: 1996- marzo de 2002.
<https://www.banrep.gov.co/docum/ftp/borra211.pdf>
- Maitra, B. 2019. Macroeconomic impact of public debt and foreign aid in Sri Lanka, *Journal of Policy Modeling*. Elsevier B.V., 41(2), 372–394. doi: 10.1016/j.jpolmod.2019.03.002.
- Makin, A. J. 2018. The limits of fiscal policy, *The Limits of Fiscal Policy*. doi: 10.1007/978-3-319-90158-9.
- Makin, A. J. and Layton, A. 2021. The global fiscal response to COVID-19: Risks and repercussions', *Economic Analysis and Policy*, 69, 340–349. doi: 10.1016/j.eap.2020.12.016.
- Matesanz, D. and Ortega, G. J. 2015. Sovereign public debt crisis in Europe. A network analysis', *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. Elsevier B.V., 436, 756–766. doi: 10.1016/j.physa.2015.05.052.
- McCausland, W. D. and Theodossiou, I. 2016. The consequences of fiscal stimulus on public debt: A historical perspective', *Cambridge Journal of Economics*. Oxford University Press, 40(4), 1103–1116. doi: 10.1093/cje/bev059.
- Misztal, P. 2021. Public debt and economic growth in the European union. Empirical investigation, *WSEAS Transactions on Business and Economics*. World Scientific and Engineering Academy and Society, 18, 199–208. doi: 10.37394/23207.2021.18.21.
- Moraga, J. F.-H. and Vidal, J.-P. 2010. Fiscal sustainability and public debt in an endogenous growth model', *Journal of Pension Economics and Finance*, 9(2), 277–302. doi: 10.1017/S1474747208003764.
- Murín, M. 2018. The influence of public debt and its structure on economic growth of advanced economies [Vplyv verejnÉho dlhu a jeho ŠtruktÁry na ekonomickÝ rast vybranÝch vyspelÝch krajÍn], *Politicka Ekonomie*. Vysoka Skola Ekonomicka, 66(2), 178–200. doi: 10.18267/j.polek.1183.
- Muschetto, T. and Siegel, J. T. 2021. Bibliometric Review of Attribution Theory: Document Cocitation Analysis', *Motivation Science*, 7(4), 439–450. doi: 10.1037/mot0000253.
- Neményi, J. 1996. Capital inflow, macroeconomic equilibrium, the public debt and the profit and loss of the National Bank of Hungary', *Acta Oeconomica*, 48(3–4), 241–270. Available at:

- <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-5244326548&partnerID=40&md5=781a92fd268ede2bede6d34a29a5aff8>.
- Noel, A. 2019. The Politics of Minimum Income Protection in OECD Countries', *JOURNAL OF SOCIAL POLICY*, 48(2), 227–247. doi: 10.1017/S0047279418000351.
- Nützenadel, A. 2015. In the shadow of the state. Public debts, credit market, and the formation of private wealth in Italy after 1945 [Im Schatten des Staates: Öffentliche Schulden, Kreditmarkt und private Vermögensbildung in Italien nach 1945]', *Geschichte und Gesellschaft*. Vandenhoeck and Ruprecht GmbH and Co. KG, 41(3), 447–464. doi: 10.13109/gege.2015.41.3.447.
- OECD 2021. *How will COVID-19 reshape science, technology and innovation?* Available at: <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/how-will-covid-19-reshape-science-technology-and-innovation-2332334d/>.
- Oguro, K. and Sato, M. 2014. Public debt accumulation and fiscal consolidation', *Applied Economics*, 46(7), 663–673. doi: 10.1080/00036846.2013.851772.
- Olaoye, O. et al. no date. Poverty prevalence and negative spillovers in Sub-Saharan Africa: a focus on extreme and multidimensional poverty in the region', *International Journal Of Emerging Markets*. doi: 10.1108/IJOEM-01-2021-0028.
- Owusu-Nantwi, V. and Erickson, C. 2016- Public Debt and Economic Growth in Ghana', *African Development Review*. Blackwell Publishing Ltd, 28(1), 116–126. doi: 10.1111/1467-8268.12174.
- Panizza, U. and Presbitero, A. F. 2013. Public debt and economic growth in advanced economies: A survey', *Swiss Journal of Economics and Statistics*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 149(2), 175–204. doi: 10.1007/BF03399388.
- Parella, J. F. 2019. The Decline of Liberalism in Europe and how to Revive it', *Comparative Economic Research-Central And Eastern Europe*, 22(1), 87–106. doi: 10.2478/cer-2019-0006.
- Pečarić, M., Slišković, V. and Kusanović, T. 2018. Public debt in new eu member states – Panel data analysis and managerial implications', *Management (Croatia)*. University of Split - Faculty of Economics, 23(1), 81–97. doi: 10.30924/mjcmi/2018.23.2.81.
- Popa, C.-I. 2013. Political meanings of public debt, *European Journal of Science and Theology*. Ecozone, OAIMDD, 9(SUPPL.2), 137–146. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84886386693&partnerID=40&md5=a47bc92475e33317d16df2fb42195c95>.
- Pranckute, R. 2021. Web of Science (WoS) and Scopus: The Titans of Bibliographic Information in Today's Academic World', *PublicationS*, 9(1). doi: 10.3390/publications9010012.
- Radonjić, M. et al. 2020. Public Debt dynamics in the western Balkans: Do social expenditures and economic growth matter? [Dinamika javnog duga u zemljama zapadnog balkana: Jesu li socijalni izdaci i gospodarski rast bitni?]', *Revija Za Socijalnu Politiku*. University in Zagreb, 27(1), 55–81. doi: 10.3935/rsp.v27i1.1676.

- Ragot, X. and Pinois, R. 2020. Public debt and the world financial market', *Revue de l'OFCE*. Presses de Sciences Po, 164(4), 165–189. doi: 10.3917/reof.164.0165.
- Rajakaruna, I., Suardi, S. and Perera, N. 2021. On public debt and twin imbalances in the South Asian region, *Applied Economics*. Routledge, 53(27), 3080–3096. doi: 10.1080/00036846.2021.1875119.
- Reinhart, C. M., Reinhart, V. R. and Rogoff, K. S. 2012. Public debt overhangs: Advanced-economy episodes since 1800', *Journal of Economic Perspectives*, 26(3), 69–86. doi: 10.1257/jep.26.3.69.
- Reinhart, C. M. and Rogoff, K. S. 2010. Growth in a Time of Debt', *American Economic Review*, 100(2), 573–578. doi: 10.1257/aer.100.2.573.
- República, L. 2021. Deuda global llegó a récord de US\$226 billones en 2020, según el Fondo Monetario, 17 December. Available at: <https://www.larepublica.co/globoeconomia/deuda-global-llego-a-record-de-us226-billones-en-2020-segun-el-fondo-monetario-3278217> (Accessed: 9 February 2022).
- .Reyes Rodriguez, A. and Moraga Munoz, R. 2020. Criteria for selecting a scientific journal to submit an article: brief guide to not 'burn' a paper', *Sophia-Educacion*, 16(1), 93–109. doi: 10.18634/sophiaj.16v.1i.977.
- van Riet, A. 2020. Managing high public debt in Euro-area countries: Financial repression as fiscal insurance?', *FinanzArchiv*. Mohr Siebeck GmbH and Co. KG, 76(1), 57–99. doi: 10.1628/fa-2019-0016.
- Rodríguez, M. L. & Segura, V. M. 2013. Impacto de la deuda pública externa colombiana en la balanza de pagos 2007-2012. <http://hdl.handle.net/10654/10684>
- Rodriguez-Soler, R., Uribe-Toril, J. and De Pablo Valenciano, J. 2020. Worldwide trends in the scientific production on rural depopulation, a bibliometric analysis using bibliometrix R-tool', *Land Use Policy*, 97. doi: 10.1016/j.landusepol.2020.104787.
- Sakkas, S. and Varthalitis, P. 2021. Public Debt Consolidation and its Distributional Effects', *Manchester School*. John Wiley and Sons Inc, 89(S1), 131–174. doi: 10.1111/manc.12291.
- Sasmal, J. and Sasmal, R. 2020. Public Debt, Economic Growth and Fiscal Balance: Alternative Measures of Sustainability in the Indian Context', *Global Business Review*. Sage Publications India Pvt. Ltd, 21(3), 780–799. doi: 10.1177/0972150918778940.
- Saungweme, T. and Odhiambo, N. M. 2021a. Public Debt Service in South Africa and Its Impact on Economic Growth: An Empirical Test', *Review of Black Political Economy*. Sage Publications Inc., 48(3), 313–327. doi: 10.1177/0034644620960228.
- Saungweme, T. and Odhiambo, N. M. 2021b. Relative Impact of Domestic and Foreign Public Debt on Economic Growth in South Africa, *Journal of Applied Social Science*. Sage Publications Inc., 15(1), 132–150. doi: 10.1177/1936724420980414.

- Semik, S. and Zimmermann, L. 2021. Determinants of substantial public debt reductions in Central and Eastern European Countries', *Empirica*. Springer. doi: 10.1007/s10663-021-09529-2.
- Shizume, M. 2011. Sustainability of public debt: Evidence from Japan before the Second World War, *Economic History Review*, 64(4), 1113–1143. doi: 10.1111/j.1468-0289.2010.00565.x.
- Simovic, H. 2018. Impact of public debt sustainability on fiscal policy in Croatia, *Acta Oeconomica. Akademiai Kiado Rt.*, 68(2), 231–244. doi: 10.1556/032.2018.68.2.3.
- Sovacool, B. K. and Walter, G. 2019. Internationalizing the political economy of hydroelectricity: security, development and sustainability in hydropower states, *Review Of International Political Economy*, 26(1), 49–79. doi: 10.1080/09692290.2018.1511449.
- Spyrakakis, V. and Kotsios, S. 2021. Public debt dynamics: the interaction with national income and fiscal policy', *Journal of Economic Structures. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*, 10(1). doi: 10.1186/s40008-021-00238-4.
- Stettner, W. F. 1945. Sir james steuart on the public debt, *Quarterly Journal of Economics*, 59(3), 451–476. doi: 10.2307/1884574.
- Thepmongkol, A. and Sethapramote, Y. 2018. Inflation and public debt dynamics in Asean, *DLSU Business and Economics Review*. De la Salle University, 27(2), 61–74. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85053414553&partnerID=40&md5=ad76a-16foaa548103885adoda18315ba>.
- Toktosunova, C. et al. 2021. Problems of the growth of the external public debt of the Kyrgyz republic, *Estudios de Economia Aplicada*. Asociacion Internacional de Economia Aplicada, 39(5). doi: 10.25115/eea.v39i5.5245.
- Tran, N. T. 2021. The role of public debt on economic growth with capital loss, *Australian Economic Papers*. John Wiley and Sons Inc, 60(2), 308–327. doi: 10.1111/1467-8454.12206.
- Le Van, C. et al. 2019. Government expenditure, external and domestic public debt, and economic growth', *Journal of Public Economic Theory*. Blackwell Publishing Inc., 21(1), 116–134. doi: 10.1111/jpet.12324.
- Vinayagathan, T. and Ranjith, J. G. S. 2021. Public debt, budget deficit and tax policy reforms for fiscal consolidation in Sri Lanka: Rationale and feasibility, *Sri Lanka Journal of Social Sciences*. National Science Foundation, 44(1), 97–109. doi: 10.4038/sljss.v44i1.7953.
- Von Weizsäcker, C. C. 2014. Public Debt and Price Stability', *German Economic Review*. Walter de Gruyter GmbH, 15(1), 42–61. doi: 10.1111/geer.12030.
- Woo, J. and Kumar, M. S. 2015. Public Debt and Growth, *Economica*, 82(328), 705–739. doi: 10.1111/ecca.12138.

- Wyplosz, C. 2015. *Lessons from the European Public Debt Crisis, Monetary and Financial Cooperation in East Asia: The State of Affairs After the Global and European Crises*. Oxford University Press. doi: 10.1093/acprof:oso/9780198714156.003.0004.
- Zhou, S. 2021. The impact of debt service costs and public debt on private capital formation in South Africa, *African Journal of Economic and Management Studies*. Emerald Group Holdings Ltd., 12(3), 453–469. doi: 10.1108/AJEMS-01-2021-0024.
- Zhuravlov, D. et al. 2021. The impact of the public debt of a country on the sustainable development of entrepreneurship', *Entrepreneurship and Sustainability Issues*. Entrepreneurship and Sustainability Center, 8(4), 654–667. doi: 10.9770/jesi.2021.8.4(40).
- Zupic, I. and Cater, T. 2015. Bibliometric Methods in Management and Organization', *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. doi: 10.1177/1094428114562629.

Recibido: 18 de mayo de 2024 Aceptado: 10 de junio de 2024

Efecto de la naturaleza química de nanopartículas en las propiedades mecánicas del cemento Portland

Effect of the chemical nature of nanoparticles on the mechanical properties of Portland cement

Juan Manuel Guzmán Cardona¹

Juan Manuel Jaramillo Zuluaga²

Carlos Alberto Mosquera Hurtado³

Cómo citar:

Guzmán, J., Jaramillo, J. & Mosquera, C. (2024). Efecto de la naturaleza química de nanopartículas en las propiedades mecánicas del cemento Portland. *Vía Innova*, 11 (1), 199-216. <https://doi.org/10.23850/2422068X.6821>

¹ Juan Manuel Guzmán Cardona, Estudiante pregrado Ingeniería de Minas y Metalurgia, Universidad Nacional de Colombia UNAL. ljuguzmanc@unal.edu.co

² Juan Manuel Jaramillo Zuluaga, Estudiante pregrado Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia UNAL. jaramillo.2002@outlook.com

³ Carlos Alberto Mosquera Hurtado, Estudiante pregrado Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia UNAL. mosquerahurtadocarlosalberto@gmail.com

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio es evaluar el efecto de la naturaleza química de tres tipos de nanopartículas cuando se adicionan al cemento Portland. Para ello, se investigó la fluidez, la resistencia a la compresión en cuatro edades y el tiempo de fraguado de este material a una composición de nanopartículas constante. Se pudo determinar que todas las nanopartículas disminuían la fluidez del material en menos de un 18 % mientras que el tiempo de fraguado mostró mejoras de hasta 15 minutos con adición de nano-SiO₂ y retrasos de más de 20 minutos al interactuar con nano-Al₂O₃ o nano-FeO. Posteriormente, se observó que la naturaleza química de la nano-FeO le suministró al cemento aumentos de resistencia a los 28 días de hasta 7 MPa (un 29 % respecto al patrón), resultados considerablemente mayores que los cambios de la nano SiO₂ y nano Al₂O₃ en +2 y -2 MPa respectivamente sobre la muestra sin nanopartículas. Para la más eficiente se realizó un análisis de diseño en costos vs estabilidad que permite dar una idea al lector de las proyecciones que tienen estos efectos nanotecnológicos en la sociedad contemporánea.

200

Palabras Clave: Nanopartículas, Nanotecnología, Cemento, Propiedades mecánicas, Resistencia a la Compresión.

ABSTRACT

The main objective of this study is to evaluate the effect of the chemical nature of three types of nanoparticles when added to Portland cement. In this way, the fluidity, compressive strength at four ages, and setting time of this material were investigated at a constant nanoparticle composition. It was determined that all nanoparticles reduced the material's fluidity by less than 18 %, while the setting time showed improvements of up to 15 minutes with the addition of nano-SiO₂ and delays of over 20 minutes when interacting with nano-Al₂O₃ or nano-FeO. Subsequently, it was observed that the chemical nature of nano-FeO provided the cement with strength increases at 28 days of up to 7 MPa (29 % compared to the standard), results that were considerably higher than the changes of nano-SiO₂ and nano-Al₂O₃ at +2 and -2 MPa respectively over the sample without nanoparticles. For the most efficient one, a cost vs stability design analysis was performed to give the reader an idea of the projections these nanotechnological effects have in contemporary society.

201

Keywords: Nanoparticles, Nanotechnology, Cement, Mechanical properties, Compressive Strength.

1. INTRODUCCIÓN

El uso del concreto como material de construcción ha sido una de las prácticas más empleada para la ejecución de obras civiles. Según el DANE, para junio de 2022 la producción de concreto habría aumentado un 15,9 % respecto al año pasado en la misma fecha, alcanzando 569,2 miles de metros cúbicos producidos (DANE, 2022), cifras que evidencian la alta demanda que existe en este sector con relación a ese material. Sin embargo, el concreto como material de construcción posee varias limitaciones; la principal de ellas y de hecho, la más preocupante, es su resistencia a la compresión, pues hace que en varios escenarios sea más atractivo usar materiales como la madera o el acero, que aunque tiene un costo más elevado, suplen algunas de las falencias que tiene el concreto. Por esta razón, a través del aprovechamiento de las propiedades químicas de diversas nanopartículas, se pretende optimizar las características del concreto, al mismo tiempo que se busca mantener los costos dentro de márgenes controlados.

En esta investigación se usó cemento Portland con la idea de que es un cemento ampliamente utilizado en construcción por su alta versatilidad, comercialización y calidad. Además, es compatible con muchos de los materiales que se usan convencionalmente para las obras tales como PVC, adoquines, ladrillos, entre otros (BECOSAN, 2021). Las principales características que se buscan en el cemento son, por supuesto, la resistencia a la compresión, pero también el tiempo de fraguado, la trabajabilidad, la sanidad y algunas propiedades químicas como su hidratación y calor. Al hacer un análisis sobre todas estas consideraciones y teniendo en cuenta que debido al rápido crecimiento que están registrando las ciudades, así como el poco espacio que está quedando disponible, se vuelve necesario desarrollar nuevos cementos que posean propiedades lo suficientemente competentes para construir estructuras más esbeltas pero que logren garantizar buen servicio y seguridad al público en general (Meza & Rodríguez, 2018). Por lo anterior, se estudió el uso de nanopartículas como aditivo al cemento Portland para medir el cambio en algunas de las propiedades antes descritas con respecto a una muestra patrón.

Las nanopartículas utilizadas poseen propiedades químicas muy particulares que lograron repercutir en cada uno de los ensayos. La nano SiO₂ goza de una naturaleza química que, al reaccionar con el hormigón convierte las nanopartículas de sílice en nanopartículas de cemento, llegando a aumentar en más del 50 % los esfuerzos de flexo-tracción. También mejora el acabado, la textura del hormigón y brinda una permeabilidad casi nula, aumentando su durabilidad. A los 20 °C cuenta con un pH de 5.00 ± 1 (ácido), densidad 1.03 ± 0.02 g/cm³ y viscosidad 13 ± 2 sec. Regularmente se

aplica una vez estén mezclados los áridos con el cemento, y luego de haber agregado el agua correspondiente la cantidad de nanopartículas estará entre el 1 y el 3 % sobre el peso del cemento. La sílice es productora de geles CSH, los mismos que funcionan como pegamento del hormigón y hacen que cohesione con todas sus partículas. Se producen partículas de CSH en tamaños de 5 a 250 nm, es decir, se está reforzando la estructura del hormigón a un nivel mil veces más pequeño (Rodríguez, 2013).

Otra de las nanopartículas utilizadas es la nano FeO, que está constituida por partículas de un tamaño entre 10-20 nm. Debido a esto, consta de características primordiales con las cuales se pueden relacionar los resultados que esta nanopartícula obtuvo. La primera, es su capacidad para rellenar los poros que dejan los cristales hidratados al formarse y que logran una mejora notable en la durabilidad (Heras, 2015). Luego, se cuenta con que no tiene propiedades puzolánicas al no contener en su composición aluminio o sílice; así, no produce ninguna reacción de tipo químico con los compuestos hidratados de la pasta. En cuanto a sus propiedades, la densidad es de 5,242 g/cm³, la masa molar de 159,07 g/mol, el punto de fusión se produce a 1565 °C y es insoluble en agua (Heras, 2015).

Finalmente están las nanopartículas de alúmina; su tamaño ronda los 15 nm y está conformada en un 99 % de Al₂O₃, con una densidad de 0.12 gramos por centímetro cúbico. Se ha visto que adicionar estas nanopartículas a la pasta de cemento provoca mayor compactación y dureza en la microestructura porque tienen una capacidad de rellenar los espacios libres entre granos de cemento inmovilizando las partículas de agua que se encuentran allí. Además favorece la formación de portlandita, etringita y geles CSH que van de la mano de las reacciones puzolánicas (Bessini, 2015).

El concepto más acertado actualmente sobre nanotecnología, es el que la describe como una rama de la ciencia que comprende y controla la materia a nanoescala, la cual está contemplada entre 1 y 100 nanómetros (NNI, 2022). La posibilidad de manipular directamente átomos y moléculas sería introducida por primera vez en 1959 por el dr. Richard Feynman en la American Physical Society con la conferencia "There's Plenty of Room at the Bottom", donde expresó que la materia podría exhibir propiedades físicas, químicas y biológicas en sus tamaños nanos que difieren de una forma considerable de las propiedades de las otras dimensiones en las que se presenta todo lo que constituye la existencia (Muon, 2012). En el presente de los avances industriales, la nanotecnología se ha convertido en pionera y en un excelente aliado del bienestar y la evolución de la vida cotidiana con aplicaciones importantes en diferentes sectores; entre los más destacados

se encuentran el sector de los hidrocarburos y la energía (Franco et al, 2017, Contreras et al, 2022, Franco et al, 2013, Franco et al, 2013) en la apuesta por conseguir y recuperar extracciones más limpias; el sector de la medicina (Anselmo & Mitragotri, 2016, Salata, 2004) durante el abordaje de las enfermedades desde el interior del organismo; el sector de la electrónica (Gabilondo, 2019), mediante la fabricación de dispositivos sensoriales o resonantes, y finalmente, el sector de los materiales y la construcción. En este último, se destaca la relación del impacto generado tras el aprovechamiento que esos espacios pequeños le puedan proporcionar a la fabricación y el tratamiento de los materiales que allí se utilizan con la optimización del costo-beneficio inherente al proceso. Consecuentemente, algunos autores han podido determinar que las nanopartículas de SiO_2 alteran la resistencia y la estructura del cemento cuando se combinan con superplastificantes (Stefanidou & Papayianni, 2012). También, se han obtenido concretos con mejores presentaciones en el sentido de conseguir materiales más densos, livianos y ecológicos que tienen menores emisiones de CO_2 y menores consumos de energía cuando interactúan con grafeno, nanotubos de carbono o nanopartículas de hierro (Vilela & Ludvig, 2020, Muon, 2012, Tobón & Medina, 2010, Pan et al, 2015, Mendes et al, 2015).

De este modo, es importante aclarar que, si bien se han ejecutado avances relevantes que ayudan a obtener un punto de equilibrio efectivo para la adición de una composición adecuada (1 %) (Stefanidou & Papayianni, 2012, Tobón et al, 2007, Mendes et al, 2015), muchos de estos resultados no se han aterrizado sobre aplicaciones en el sector (especialmente el colombiano) y carecen de evaluaciones en algunas propiedades mecánicas importantes que podrían estar involucradas directamente en la modificación de las otras. Sobre este trabajo se pretende entregar una vista un poco más sintetizada que abra camino a la solución de problemas presentes en las obras a gran escala con base a la nanotecnología aplicada.

204

2. METODOLOGÍA Y MATERIAS PRIMAS

Para este estudio se utilizaron tres nanopartículas comerciales de sílice (SiO_2 , Sigma Aldrich, USA), alúmina (Al_2O_3 Sigma Aldrich, USA) y magnetita (Fe_3O_4 , Sigma Aldrich, USA). El cemento empleado (Portland, Argos, Colombia) junto con las materias primas utilizadas para la producción de las pastas cumplen con la NTC-220.

Las nanopartículas de SiO₂ cuentan con un tamaño de 200 a 300 nm, FeO con 30 nm y Al₂O₃ con 200 a 300 nm de diámetro. Junto con la supervisión del técnico de laboratorio se determinó hacer uso de tres cubos de 250 gramos de cemento Portland convencional para la evaluación de cada edad; cada mezcla estuvo conformada por una proporción 1:3 de cemento-arena y agua-cemento (W/C) de 0.53. Las nanopartículas se añadieron 60 segundos después de mezclar el cemento, la arena y el agua en una mezcladora mecánica al 1 % ppm. las relaciones de estos materiales se resumen en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Resumen de cantidades en materias primas

Naturaleza	Cemento (g/edad)	Agua (ml/edad)	Arena (g/edad)	Adición (g/edad)	Edades	Total (g)
Patrón	250	132.5	750	0	3	3397.5
Nanos (1 % ppm)	250	132.5	750	0.25	9	5694.8
Total						9092.3

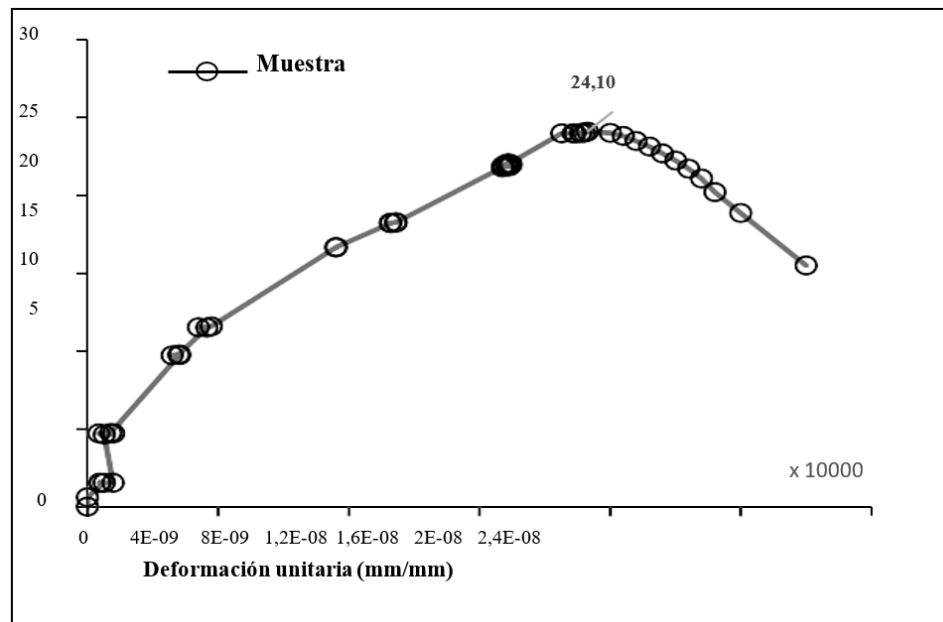
Fuente: elaboración propia.

Nota: con “nanos” se hace referencia a los tres especímenes utilizados. Por cada naturaleza se requieren tres edades, es decir, nueve en total.

Para establecer el efecto que las adiciones producen en las propiedades mecánicas del cemento, se realizaron ensayos que determinarían la resistencia a la compresión, fluidez y tiempo de fraguado. Buscando tener un seguimiento del resultado, se evaluó el comportamiento de cada muestra en edades de 3,7 y 15 días con una proyección logarítmica a los 28 días. Se utilizó una prensa universal para medir la resistencia de las probetas, registrando la deformación en función de los incrementos de esfuerzo aplicados. Este procedimiento permite determinar la carga exacta a la que cada muestra falla (ver figura 1). El experimento se repitió en tres probetas, diferenciadas por su naturaleza y edad, y las medias de los resultados se emplearon para la elaboración de los diagramas presentados en la sección 3. Finalmente, los especímenes fueron curados en un ambiente húmedo y la totalidad de estos ensayos permitió realizar una comparativa entre el com-

portamiento de las tres nanoadiciones y la muestra patrón. El objetivo principal será precisar cuál de estas presenta mejores resultados y comparar el diseño respecto a los costos en función de la durabilidad para concluir si es viable o no hacer uso de estas alteraciones en la materia.

Figura 1. Curva de deformación de una probeta de cemento sin adiciones con un curado de 28 días sometida a una prensa universal.



Fuente: elaboración propia

Nota: El pico máximo es utilizado para obtener la resistencia del material.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

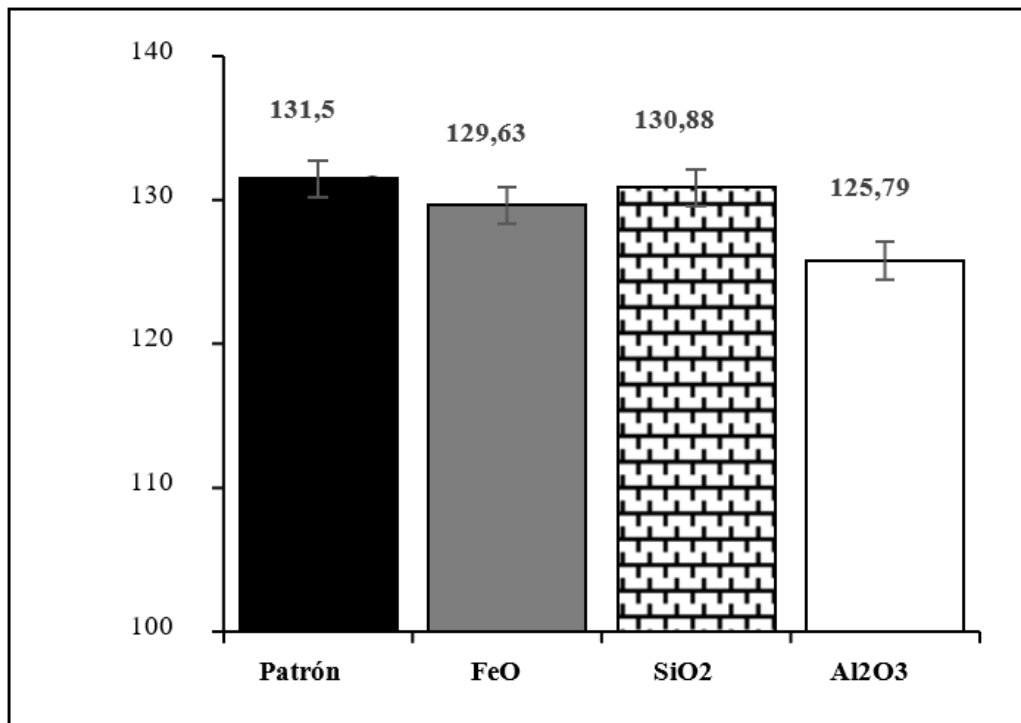
3.1 Fluidez

La fluidez o trabajabilidad del material está asociada con la facilidad para usar la mezcla sin que se produzcan problemas de segregación. El tiempo en que la muestra puede actuar sin secarse y la facilidad con que la mezcla puede retener el agua aun estando en contacto con superficies absorbentes (Leal & Echeverri, 2020). Esta medida estará dada por el incremento del diámetro de un espécimen moldeado por un mediocono después de sacudirlo un número específico de veces. Según la NTC 111 y aplicando la metodología de la NTC-5784 para garantizar el alcance de buenos resultados, es necesario apisonar el molde 20 veces en forma de espiral, apisonar la misma cantidad de veces con igual intensidad al aplicar la segunda capa, y una vez retirado el molde, aplicar

los 25 golpes en 15 segundos para lograr una correcta dispersión de la mezcla sobre la mesa (Leal & Echeverri, 2020).

Los ensayos mostraron que la adición de todas las nanopartículas reducía la trabajabilidad del cemento, esto puede deberse a la gran área superficial que tienen las partículas adicionadas, lo cual implica una mayor absorción de agua (Liu et al, 2012). Como se muestra en la *figura 2*, la nanopartícula que más influencia tuvo en la disminución de la fluidez fue la alúmina. La adición de partículas de hierro y sílice mantuvieron una fluidez similar a la muestra patrón.

Figura 2. Porcentajes de expansión de pastas de cemento Portland con adición de nanopartículas al 1 %.



Fuente: elaboración propia

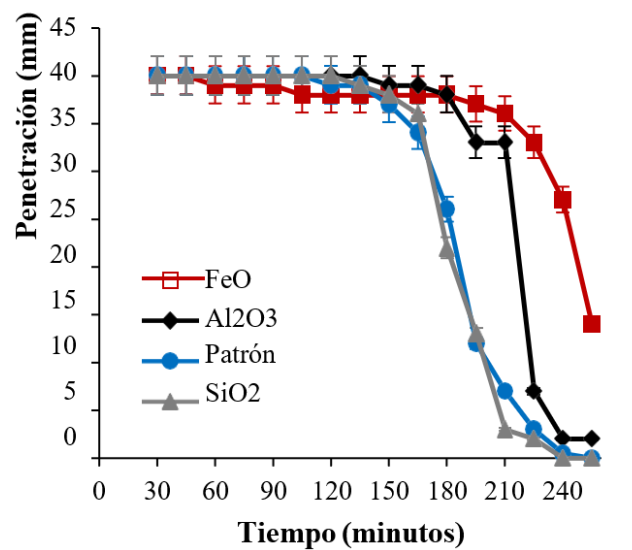
La fluidez adecuada para una pasta debe presentar un porcentaje de expansión del $30 \% \pm 2 \%$ (Leal & Echeverri, 2020), es decir, los resultados muestran que si bien las nanopartículas de FeO y SiO₂ disminuyen la trabajabilidad, no hay un impacto relevante en esta propiedad mecánica que permita descartar su uso, una apreciación que no se puede extender al resultado de las nanopartículas de Al₂O₃. Estas observaciones tienen importancia al momento de ejecutar los vaciados en obra.

3.2 Tiempo de fraguado

Cuando se cuenta con una correcta consistencia en la pasta de cemento, este presentará una resistencia específica a la penetración de una aguja. Dicha penetración determinará el tiempo que se demora en secar el concreto para saber si se puede reforzar estructuralmente en ese instante o se debe esperar un intervalo de tiempo dado (Leal & Echeverri, 2020, González & Allaza, 2012). Si se quieren alcanzar datos de buena calidad, es preciso ser puntuales con los tiempos en que se revisará la muestra una vez haya iniciado la prueba, situar la aguja inicialmente donde entre en contacto con el molde, leer la aguja cuando haya terminado la penetración, limpiar la aguja de Vicat inmediatamente después de cada penetración y por último, engrasar el molde y la placa de aceite con un aceite adecuado (González & Allaza, 2012). Dicho esto, el tiempo de fraguado es relevante en el avance de la construcción de obras civiles en donde no se va a cargar la estructura de forma inmediata, por ejemplo, en las cunetas de las vías o el concreto lanzado en los ciclos de un túnel.

Para el caso de esta investigación, los ensayos mostraron un efecto retardante en la adición de óxido de hierro y óxido de aluminio; para esta última, se evidencia un mayor efecto inicial. En la **figura 3** esta adición apenas había alcanzado el tiempo inicial de fraguado cuando la muestra patrón ya estaba llegando al tiempo final. La adición del FeO mostró un mayor retraso en la etapa final, pues teniendo en cuenta la penetración de la aguja, aún le faltaban entre 15 a 20 mm cuando las otras muestras ya habían fraguado casi en su totalidad. La adición de nanopartículas de sílice, por su parte, no causó un efecto tan evidente como las demás, en esta se alcanzó el periodo final de fraguado 15 minutos antes que la muestra patrón.

Fig 3. Curvas del tiempo de fraguado de pastasde cemento portland con y sin nanopartículas.



Fuente: elaboración propia

Cuando el avance y la relevancia del proyecto lo determina la resistencia que haya alcanzado la mezcla de concreto a una determinada edad, es más importante la curva de aumento de resistencia que la del fraguado. En la mayoría de obras no existe un problema relevante al dejar secar el cemento por una hora más, sin embargo, el que la infraestructura no soporte una determinada carga con el pasar de los días sí genera pérdidas millonarias como el caso del colapso del edificio Space en Medellín, que no solo generó una pérdida de 40.600 millones de pesos, sino que también provocó el fallecimiento de 12 personas en el 2013 (Restrepo, 2017).

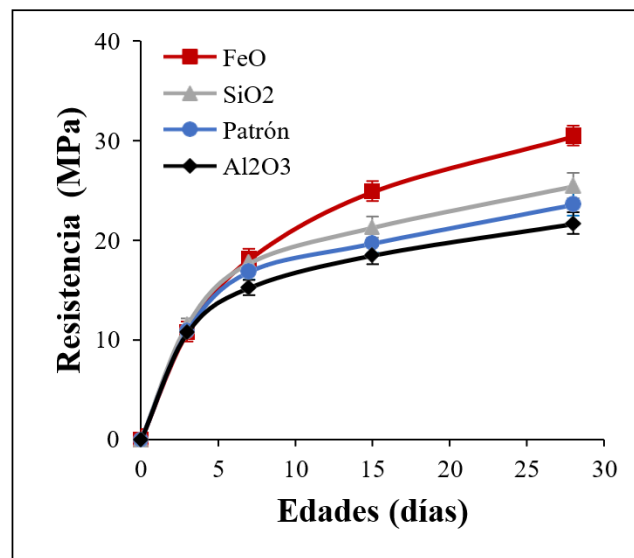
3.3 Resistencia a la compresión

La empresa más reconocida en cementos mexicanos, CEMEX, afirma que “la resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área” (CEMEX, 2019, Pg01), es decir, qué tanta fuerza axial puede soportar el cemento antes de empezar a fracturarse.

Los resultados de estas pruebas se emplean fundamentalmente para determinar si el cemento de interés se encuentra dentro de la norma y cumple con los requerimientos de resistencia especificados para una o varias estructuras en particular (Herreras, 2015, CEMEX, 2019). Sobre esta

investigación, se pretende encaminar una mezcla tradicional peromenos costosa a que cumpla con esos requerimientos mediante la alteración química de su estructura.

Figura 4. Evolución de la resistencia a la compresión simple del cemento Portland enpresencia de nanopartículas al 1 %.



Fuente:elaboración propia

210

La *figura 4* muestra las curvas de resistencia y el avance de sus valores con el pasar de los días. Como es evidente, las nanopartículas de FeO le suministraron un aumento considerable a la resistencia del material, específicamente, incrementaron esta propiedad durante la etapa final en 7 MPa (un 29 %). Por otra parte, las nanopartículas de SiO₂ y Al₂O₃ presentaron alteraciones de +2 y -2 MPa respectivamente. Estos resultados sugieren que la adición de óxido de hierro puede ser la más eficiente a la hora de obtener concretos con mayores niveles de resistencia y que el óxido de aluminio no es conveniente cuando se quiere obtener un beneficio de este material. Mencionado esto, en la próxima sección se realizará un análisis aplicativo para justificar si la adición con mejores efectos mostrados se puede llevar al mercado o se queda netamente en términos de avances en conocimientos nanotecnológicos.

4. APLICACIONES

El objetivo de hacer estas investigaciones es poder construir seccionesLa sección C.2.1 de la **norma NSR-10 (ASOSISMICA, 2010)**, define f'_c como la resistencia especificada a la compresión del concreto en MPa. El valor correspondiente fue calculado mediante ensayos de compresión simple, observándose un aumento del 29 % a los 28 días en comparación con una muestra de control sin adición de nanopartículas (FeO). Este incremento en la resistencia puede ser aplicado en elementos estructurales, como columnas o losas, los cuales son diseñados para resistir solicitaciones tales como fuerza axial, cortante y momento flexor.

4.1 Fuerza axial

Considere una columna estructural sin refuerzo de acero (utilizado únicamente con fines demostrativos, dado que las estructuras de concreto siempre deben contar con refuerzo de acero). En este contexto, la resistencia axial de diseño para elementos no preesforzados se define según lo establecido en C.10.3.6.2 como: $\phi P_{(max)} = 0.75\phi[0.85f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$ (1)

Donde:

ϕ = Factor de reducción de resistencia

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto

A_g = Área bruta de la sección en concreto

f_y = Fluencia del acero

A_{st} = Área total del refuerzo longitudinal no preesforzado

Como se trata de una suposición, una columna sinrefuerzo, la **ecuación 1** se lee:

$$\phi P_{(max)} = 0.75\phi[0.85f'_c A_g] \quad (2)$$

La **ecuación 2** muestra que la resistencia axiales directamente proporcional a la resistencia a la compresión y al área bruta del concreto. De este modo, el constructor puede elegir dos caminos para el futuro de su obra:

- Se mantiene la sección transversal de diseño y la resistencia de la columna aumenta un 29 %

- Se mantiene la resistencia de diseño y el área bruta de la sección en concreto se reduce un 29 %

De las dos opciones anteriores, es llamativa la segunda ya que es la que incentiva la disminución en la cantidad de material empleado y, por tanto, una disminución significativa de costos.

4.2 Fuerza cortante

Suponga que tiene un elemento estructural de concreto no preesforzado sometido únicamente a esfuerzos cortantes y tensionales. La resistencia nominal a la fuerza cortante proporcionada por el concreto se define en C.11.2.1.1 como:

$$V_c = 0.17\lambda * \sqrt{f'_c} * b_w * d \quad (3)$$

Donde:

λ = Factor de modificación de acuerdo con el peso del concreto

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto

b_w = Ancho del alma o diámetro de la sección circular

d = Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción

212

La **ecuación 3** muestra que la resistencia axial es directamente proporcional a la raíz de la resistencia a la compresión del concreto y al área $b_w * d$. Haciendo un análisis análogo a la sección 4.1, se puede entonces afirmar que el constructor puede optar por dos caminos:

- Se mantiene la sección transversal de diseño y la resistencia de la columna aumenta en un 13.6 %
- Se mantiene la resistencia de diseño y el área se reduce $b_w * d$ en un 13.6 %

De las dos opciones anteriores, la más conveniente es la última por su estrecha relación con la disminución en la cantidad de material empleado, y consecuentemente, con la disminución de costos.

A la hora de hacer un análisis respecto a la resistencia al momento flexor del concreto, se puede observar que diverge del análisis que se hizo para las fuerzas axiales y cortantes, ya que no

se diseñan las estructuras de concreto para resistir la tracción que le induce el momento flector. Además, para esto se debe añadir refuerzo de acero. Por otra parte, los ensayos no mostraron una mejoría significativa en cuanto al tiempo de fraguado del cemento, por lo tanto, no hay propuestas para reducir el tiempo de construcción de estructuras de concreto en cuanto a secado del cemento, sin embargo, es necesario resaltar que esta propiedad mecánica puede ser importante de acuerdo a los intereses ingenieriles del encargado de obra en aplicaciones como el suministro de explosivos en macizos subterráneos reforzados con cemento o la estabilidad de taludes en superficie que puedan obstruir los ciclos de operación en minería.

5. CONCLUSIONES

Los avances en nanotecnología han dado paso a una nueva visión científica en lo que compete al estudio de la materia, de esta manera se ha visto que la interacción entre algunos compuestos en tamaños nanométricos con las estructuras cristalinas del cemento Portland permiten que, debido a su naturaleza química, se alteren considerablemente las propiedades del material. Las adiciones al 1 % ppm de nanopartículas de SiO_2 , FeO y Al_2O_3 registran cambios en la trabajabilidad de las pastas de concreto con un único efecto que se sale del rango permitido por la norma y que está asociado a la última nanopartícula en mención (-2.5% del margen aproximadamente). Por otra parte, solo una nanopartícula registra pequeñas desviaciones positivas en el tiempo de fraguado del cemento y corresponde a la sílice, produciendo un efecto acelerante que se encuentra alrededor de los 15 minutos.

También se registran cambios trascendentales en los valores de resistencia ligados a las estructuras; la alúmina se puede mencionar como una nanopartícula de descarte en la optimización de las propiedades mecánicas del cemento por su efecto disminuyente en la resistencia del material. Los otros especímenes aumentan este esfuerzo de falla en 2 MPa asociados al óxido de silicio y 7 MPa al óxido de hierro, reduciendo considerablemente la demanda del material que se requiere a la hora de ejecutar proyectos que dependan de la seguridad, estabilidad y sostenimiento estructural a largo plazo. Aunque este sector ha experimentado avances significativos en tecnología, el presente trabajo ofrece una perspectiva más precisa en condiciones de campo, lo que podría facilitar futuros desarrollos en el ámbito de la nanotecnología. Esta rama de la ciencia constituye un pilar fundamental para abordar los desafíos de la sociedad contemporánea.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, por el apoyo logístico y financiero brindado a través del Laboratorio de estructurasy el Laboratorio de Fenómenos de Superficie. También agradecen al Prof. Dr. John Jairo Blandón y el técnico Jorge Arturo Osorio por su apoyo durante la realización de las pruebas experimentales.

7. REFERENCIAS

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Tomo 2. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica
- About Nanotechnology | National Nanotechnology Initiative. (2022).
- Anselmo, A. C. & Mitragotri, S. (2016). Nanoparticles in the clinic. *Bioengineering & Translational Medicine*, 1(1), 10-29
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Tomo 2. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- BECOSAN®. (2021). Cemento Portland.
- Bessini, J. G. (2015, Junio). Morteros de cemento con nano-adiciones de sílice, hierro y alúmina. Archivo Digital UPM. Retrieved November 15, 2022.
- DANE. (2022). Estadísticas de Concreto Premezclado (EC).
- Franco, C. A., Montoya, T., Nassar, N. N., Pereira-Almao, P. & Cortés, F. B. (2013). Adsorption and Subsequent Oxidation of Colombian Asphaltenes onto Nickel and/or Palladium Oxide Supported on Fumed Silica Nanoparticles. *Energy & Fuels*, 27(12), 7336-7347.
- Franco, C. A., Nassar, N. N., Ruiz, M. A., Pereira-Almao, P. & Cortés, F. B. (2013). Nanoparticles for Inhibition of Asphaltenes Damage: Adsorption Study and Displacement Test on Porous Media. *Energy & Fuels*, 27(6), 2899-2907.
- Franco, C. A., Zabala, R. & Cortés, F. B. (2017). Nanotechnology applied to the enhancement of oil and gas productivity and recovery of Colombian fields. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 157, 39-55.
- Gabilondo, M. (2018). Desarrollo de recubrimientos funcionales con nanopartículas para la electrónica impresa. Universidad de Navarra
- Gonzales, E. & Allaza, A. M. (2012). Método de ensayo de cementos. Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen. Campus Virtual ULL.

- Heras Murcia, D. (2015, Junio). Morteros de cemento con nano-adiciones de hierro y sílice. Retrieved November 15, 2022.
- Herreras Murcia, D. (2015, Junio). Morteros de cemento con nano-adiciones de hierro y sílice. Universidad Politécnica de Madrid.
- Leal Rozo, R. & Echeverri Vergara, S. (2020). Fluidéz y resistencia a compresión de seis marcas de cemento de uso general. Universidad Piloto de Colombia.
- Liu, X., Chen, L., Liu, A. & Wang, X. (2012). Effect of Nano-CaCO₃ on Properties of Cement Paste. *Energy Procedia*, 16, 991-996.
- Maria Contreras-Mateus, Afif Hethnawi, Yazan Mheibesh, Tatiana Montoya, Kotaybah Hashlamoun, Mohammed Bakir, Taha Karaki & Nashaat N. Nassar. (2022). Applications of Nanoparticles in Energy and the Environment: Enhanced Oil Upgrading and Recovery and Cleaning up Energy Effluents, 169-267.
- Meza-Estrada, C. E. & Rodriguez-Potes, L. M. (2018). La construcción sostenible frente a la mitigación del cambio climático. *Módulo Arquitectura CUC*, 21, 9-22.
- Mendes, T. M., Hotza, D., & Repette, W. L. (2015). Nanoparticles in cement based materials: A review. *Rev. Adv. Mater. Sci.*, 40(1), 89-96.
- Muon Ray. (2012, 23 agosto). Richard Feynman «Tiny Machines» Nanotechnology Lecture - aka «There's Plenty of Room at the Bottom». YouTube.
- Pan, Z., He, L., Qiu, L., Korayem, A. H., Li, G., Zhu, J. W., Collins, F., Li, D., Duan, W. H. & Wang, M. C. (2015). Mechanical properties and microstructure of a graphene oxide–cement composite. *Cement and Concrete Composites*, 58, 140-147.
- Restrepo Isaza, D. (2017). Ejercicio del control de la actividad constructora en Medellín. El caso Space (Doctoral dissertation). Universidad EAFIT.
- Rodríguez Cheda, J. B. (2013, April 17). Nanosilice. Slideshare. Retrieved November 15, 2022.
- Salata, O. (2004). Applications of nanoparticles in biology and medicine. *Journal of Nanobiotechnology*, 2, 3.
- Stefanidou, M. & Papayianni, I. (2012). Influence of nano-SiO₂ on the Portland cement pastes. *Composites Part B: Engineering*, 43(6), 2706-2710.
- Tobón, J. I., Restrepo, O. J. & Payá, J. J. (2007). Adición de nanopartículas al cemento Portland. *Dyna*, 74(152), 277-291.
- Tobón, J. I. & Medina, A. M. (2010). Evaluación del desempeño del cemento Portland tipo III adicionado con nanopartículas de hierro. Memoria de tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia.

Vilela Rocha, V. & Ludvig, P. (2020). Influence of carbon nanotubes on the mechanical behavior and porosity of cement pastes prepared by a dispersion on cement particles in isopropanol suspension. *Materials*, 13(14), 3164.

¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto? | CEMEX Perú. (2019).

Recibido: 8 de febrero de 2024 Aceptado: 14 de marzo de 2024

La ciudadanía global en la práctica docente del instructor de las academias SED-Cisco¹

Global citizenship in the teaching practice of the instructor of the SED-Cisco academies.

Adolfo Eleazar Rojas-Pacheco²

Carlos Alfredo Piza Malagón³

Paola Janneth Jimenez-Bernal⁴

Diego Fernando Rodríguez González⁵

Cómo citar:

Rojas-Pacheco, A., Piza, C., Jimenez-Bernal, P. & Rodríguez, D. (2024). La ciudadanía global en la práctica docente del instructor de las academias SED-Cisco. *Vía Innova*, 11 (1), 217-230. <https://doi.org/10.23850/2422068X.6822>

¹ Proyecto: La nueva Escuela Inclusiva en Colombia: Gestión directiva, pedagógica y convivencial en los niveles de educación básica y media.

² Psicólogo (UAN), Abogado (UGC), Licenciado en Filosofía (USTA), Teólogo (PUJ), Profesional en Artes Liberales en Ciencias Sociales (UR), Licenciado en Teología (USTA). Estudiante de doctorado en educación (UNISABANA) Especialista en Docencia Universitaria (UMNG), Magíster en Doctrina Social (UPSA-España), Magíster en Mediación Familiar (UAN), Magíster en Educación (UNIANDES). Actualmente es líder del grupo de investigación INDIJUSO. aerojaspacheco@gmail.com. Bogotá-Colombia.

³ Normalista superior, Ingeniero de sistemas. Estudiante de doctorado en educación (UNISABANA). carlos.piza@gmail.com Bogotá-Colombia-

⁴ Lic. Ciencias Naturales y Ed. Ambiental (U. Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales, con Módulo de Especialización en Ed.Ambiental (UNINI de Puerto Rico) Maestría en Gestión de la Educación Virtual(EAN). Estudiante de doctorado en educación (UNISABANA). Miembro activo del grupo de investigación INDIJ USO. paojimenez81b@gmail.com. Bogotá-Colombia

⁵ Biólogo (UN). Máster en Educación y Desarrollo Digital Pedagógico. Estudiante de doctorado en educación (UNISABANA). dirogo53@gmail.com. Bogotá-Colombia.

RESUMEN

La ciudadanía global ha ganado interés entre académicos y educadores, especialmente desde su inclusión en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. El presente artículo se enmarca en la investigación pedagógica con el objetivo de analizar la práctica docente del instructor SED-Cisco. Se abordó desde el paradigma fenomenológico, obteniendo la información mediante una encuesta sometida a un análisis de contenido. El instrumento reveló que la práctica de docente instructor SED-Cisco se desarrolla en cuatro ejes: estrategias, curriculum innovador, competencias del siglo XXI y ciudadanía digital. Se concluye que el docente instructor SED- Cisco es un tecno-pedagogo que se apropia de la tecnología para la construcción de conocimiento. Dichas prácticas responden a las demandas del mercado laboral local y global desde la ciudadanía mundial. La promoción curricular de ciudadanía global presenta tensiones con la metodología basada en problemas, pues la primera evoca el pensamiento global y la segunda afronta situaciones de contexto local.

218

Palabras Clave: Ciudadanía Global, Academias Cisco, Práctica Docente, Educación Media, Docente Instructor, Era Digital.

ABSTRACT

Global citizenship has gained interest among academics and educators, especially since its inclusion in the 2030 Agenda for Sustainable Development. This article is framed within the framework of pedagogical research. It aims to analyze the teaching practice of the SED-Cisco instructor. It was approached from the phenomenological paradigm. The information was obtained through a survey, which was subjected to a content analysis. The instrument revealed that the practice of the SED-Cisco instructor teacher is developed in four axes: Strategies, innovative curriculum, 21st century competencies and digital citizenship. It is concluded that the SED-Cisco teacher educator is a techno-pedagogue who appropriates technology for the construction of knowledge. These practices respond to the demands of the local and global labor market based on global citizenship. The curricular promotion of global citizenship presents tensions with the problem-based methodology, since the former evokes global thinking and the latter faces local context situations.

219

Keywords: Global Citizenship, Cisco Academies, Teaching Practice, Secondary Education, Teacher Instructor, Digital Era.

1. INTRODUCCIÓN

La alianza público-privada entre la empresa Cisco Systems, de origen estadounidense, y la Secretaría de Educación del Distrito (SED) de Bogotá, en Colombia, ha dado lugar al desarrollo de las Academias SED-Cisco. Esta colaboración establecida mediante el convenio No. 37052 del 21 de diciembre de 2000, tiene el propósito de desarrollar el programa Cisco Networking Academy y, actualmente, esta iniciativa se implementa en 20 Instituciones Educativas Distritales (IED) de educación media.

El programa en mención cuenta con 33 docentes certificados como Instructores de Academia (Cisco Certified Networking Associate) quienes, guiados por el Plan de Formación Cisco y las Rutas de Formación de las IED, lideran procesos de formación de manera híbrida, es decir, tanto virtual como presencial. Con respecto a sus modalidades de enseñanza, estas incluyen centros de interés, líneas de profundización y el área de tecnología e informática (SED-UNIMINUTO, 2022), desarrollando su práctica docente a partir de los lineamientos postulados en las teorías en uso de McLean y Blackwell (1997).

Los logros de esta alianza son significativos, hoy cuenta con más de 20.000 egresados que han recibido certificaciones internacionales en áreas como: redes, inteligencia artificial, ciencia de datos y programación; además, se pueden señalar logros puntuales como que el programa enriquece los Proyectos Educativos Institucionales (PEI), así mismo, los cursos impartidos dotan a los participantes de múltiples ventajas, por ejemplo, el fomento del desarrollo del pensamiento científico, tecnológico y computacional, la potenciación de las trayectorias académicas de sus estudiantes y la contribución al cierre de la brecha digital, redundando en una mejor formación profesional y un acceso más fácil al mundo laboral, toda vez que potencia elementos de ciudadanía global (UNESCO, 2016).

A pesar de que son muchos los aciertos que registra esta alianza, se hace necesario abordar la práctica docente desde la perspectiva de ciudadanía global para establecer aquellos componentes propios de la educación contemporánea en un entorno de retos sociales, ambientales y económicos, pues estos juegan un papel crucial para la formación de ciudadanos como agentes de cambio. Para tal fin, el presente estudio tiene el objetivo de analizar la práctica docente del instructor SED-Cisco, ya que esto representa una apuesta a la innovación y al desarrollo de competencias del Siglo XXI y, por ende a la formación de ciudadanos del mundo (SED-UNIMINUTO, 2023).

1.1 Ciudadanía global

La ciudadanía global ha ganado relevancia entre académicos y educadores, especialmente desde su inclusión en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Esta enfatiza la necesidad de cambios que promuevan la sostenibilidad económica, social y ambiental (Naciones Unidas, 2018). Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecen un marco para que las sociedades trabajen hacia la equidad, la igualdad de género, la dignidad, el desarrollo y la protección del medio ambiente. Específicamente, el concepto de Ciudadanía Global se integra en las metas de los ODS 4º (Educación de calidad) y 12º (Producción y consumo responsable), los cuales resaltan la importancia de las tecnologías digitales y las competencias necesarias para formar ciudadanos del Siglo XXI (Bugallo-Rodríguez & Naya-Riveiro, 2018; Bujanda et al., 2014).

Los estudios en torno a la ciudadanía global subrayan la importancia de una educación que prepare a las personas para enfrentar los desafíos del Siglo XXI con una perspectiva ética (Claro & Castro-Grau, 2023; Scott, 2015; Unesco, 2016). Sobre este asunto, la UNESCO junto con otros expertos en el tema, proponen principios clave para orientar las prácticas pedagógicas de manera que fomente dicha ciudadanía. A este respecto, ya desde 1998 Martha Nussbaum aboga por una educación que cultive la humanidad y forme ciudadanos con una visión cosmopolita (Gunderson, 2005). Por su parte, Tormey (2010) enfatiza en la importancia de abordar la ciudadanía global desde la justicia social y destaca el protagonismo de la educación en este proceso. Por su parte, Andreotti (2011) arguye en la necesidad de una comprensión crítica de las narrativas que guían los procesos educativos.

221

1.2 La práctica docente

La práctica docente ha sido objeto de estudio desde diversas perspectivas, lo que ha generado valiosas contribuciones para su desarrollo. Varios autores han propuesto enfoques significativos en este campo, por ejemplo, Dewey (1998), Londoño (2011) y Freire (2014) proponen una práctica centrada en el estudiante, donde el diálogo reflexivo y la experiencia construyen conocimiento. McLean y Blackwell (1997), y Vergara (2016), sostienen que la práctica docente se configura como un conjunto de acciones basadas en creencias y teorías de uso que promueven la ciudadanía global al integrar aspectos normativos y sociales que impactan tanto al individuo como a la comunidad (Sorj, 2005).

A su vez, Danielson (1996) y Bain (2011) enfatizan en la importancia de la planificación, la preparación, la instrucción, el ambiente de aula y la interacción para una práctica docente efectiva. Los autores en comento acentúan en la necesidad de una evaluación continua para mejorarla. Por su parte, Darling-Hammond (1997) añade que la preparación docente debe ir más allá de lo técnico; esta requiere un enfoque holístico que incluya aprendizajes profundos y un compromiso con la equidad, la justicia social y la inclusión (Edwards et al., 1993).

La mejora continua de la práctica docente determina los logros académicos y la eficacia de los sistemas educativos (Barber & Mourshed, 2008). Teniendo en cuenta que la globalización plantea nuevos desafíos, se hace imperativo alinear los planes de estudio y la práctica docente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En este sentido, se promueve la Educación para la Ciudadanía Mundial (ECM) la cual se vuelve fundamental (UNESCO, 2016) para dar respuesta a las exigencias del Siglo XXI tales como la incertidumbre y la revolución digital. En consecuencia, la práctica docente ha de desplegar acciones intencionales que produzcan efectos a nivel social en todo el planeta.

En tal virtud, el docente instructor SED-Cisco desempeña un papel crucial asumiendo responsabilidades que incluyen el guiar espacios de enseñanza y aprendizaje, la planificación de currículos, el proporcionar orientaciones y apoyo a los estudiantes, así como la evaluación de su rendimiento y seguimiento a egresados. Todas estas son labores que no puede cumplir a cabalidad sin una constante actualización en los aspectos relacionados con su rol (SED-UNIMINUTO, 2023).

222

2. METODOLOGÍA

Este fenómeno se aborda desde la fenomenología y tiene el objetivo de analizar la práctica docente del instructor SED-Cisco. Esta postura epistemológica, metodológica, axiológica y ontológica, enfatiza en “la importancia de estudiar la acción y el mundo social desde el punto de vista de los actores” (Vasilachis, 2009, p.50). Esta busca describir, comprender e interpretar las experiencias desde la perspectiva de los participantes (Rodríguez, et al 1999) y se apoya en la investigación pedagógica la cual “hace lectura de los procesos a nivel micro” (Herrera, 2014, p. 133). El autor en comento distingue sin separación tajante la investigación educativa de la investigación pedagógica, para ello, compara las pretensiones. La primera busca y construye conocimientos universales; la segunda, conocimientos particulares. Sin embargo, en ellas coexisten relación y comunicación.

Para Pérez et al (2004) la investigación educativa es desarrollada por técnicos que suelen investigar “sobre el aula” y la investigación pedagógica es desarrollada por docentes, quienes investigan “en el aula”. “El maestro sea del nivel que fuere, debe deliberar sobre sus decisiones y a partir de sus reflexiones y anotaciones mejorar su práctica educativa. Es decir, investiga sobre su práctica” (Pérez et al, 2004. p. 67). Marín (2018) afirma que la investigación en pedagogía “indaga sobre los problemas que más directa y estrechamente atañen a la práctica docente, a su interactuar con el estudiante” (p. 24).

En línea con lo anterior, para capturar las experiencias de los instructores de las academias SED-Cisco se utilizó un cuestionario virtual con preguntas abiertas, este fue validado por expertos y antes de ser diligenciado por los 21 participantes se sometió a una prueba piloto. Aunque el programa cuenta con 33 docentes certificados como Instructores de Academia, 21 de ellos de manera anónima y voluntaria describieron sus prácticas. La información recolectada se sometió a un análisis de contenido. Inicialmente se seleccionaron las unidades de análisis, mediante categorías emergentes, la codificación se realizó en tres fases (abierta, axial y selectiva/reflexiva), posteriormente, se organizó en una jerarquía de codificación para identificar los niveles de interacción. Este procedimiento permitió formular inferencias aplicables a su contexto e integrar las teorías expuestas sobre la práctica docente (McLean & Blackwell, 1997).

223

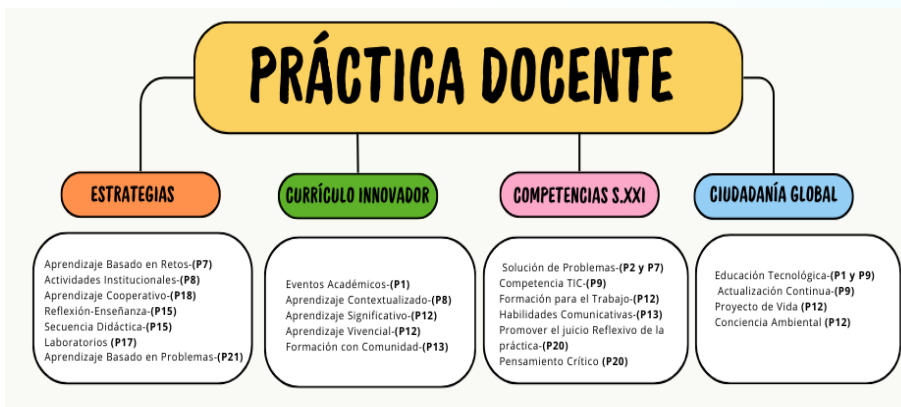
En análisis de los resultados se enmarca en la perspectiva de Gibbs (2012) quien señala que dicho proceso debe tener en cuenta “el contenido, el estilo, el contexto y el relato de las narraciones que revelará la comprensión de las personas del significado de los acontecimientos clave en su vida o en su comunidad” (p. 84). De esta manera, el análisis proporciona una visión profunda de cómo los docentes interpretan y dan sentido a su práctica en el contexto de las academias SED-Cisco.

3. RESULTADOS

La práctica del docente instructor se centra en tres aspectos principales, a saber: primero, liderar y guiar los espacios de enseñanza y aprendizaje, siendo su objetivo generar acciones para que los estudiantes asimilen conceptos y fortalezcan habilidades relacionadas con tecnologías de redes, programación, ciberseguridad y sistemas Cisco. Segundo, planificar el currículo, es decir, organizar la ruta de los cursos de Cisco en función de los objetivos de aprendizaje del colegio. Tercero, proporcionar orientaciones y apoyo, creando un espacio de aprendizaje donde los estudiantes pue-

dan resolver sus dudas, recibir asistencia en la solución de problemas y mantener la motivación por el aprendizaje (CED-UNIMINUTO, 2023).

Figura 1. Práctica docente de Instructor docente SED-Cisco



Fuente: Elaboración propia.

4. DISCUSIÓN

A continuación se presentan y analizan los hallazgos obtenidos a lo largo de la investigación, los cuales son contrastados con los referentes teóricos propuestos. El análisis se configura en insumo que contribuye a la formación en ciudadanía global al proporcionar evidencia empírica. Las siguientes narrativas dan cuenta de la práctica docente del docente instructor SED-Cisco:

(P1) recalca: «Incentivo la participación de jóvenes en la educación tecnológica de acuerdo con las tendencias actuales. Orientar los procesos de formación teniendo en cuenta el currículo propuesto por Cisco Networking Academy y la participación de estudiantes en eventos académicos acordes al plan anual de formación». Este enfoque no solo estimula la formación tecnológica, sino que, adicionalmente, fomenta la participación en eventos académicos. Esta práctica promueve la cultura de investigación y el relevo generacional de investigadores, lo cual contribuye a mejorar la posición de Colombia en el Índice Global de Innovación, donde actualmente ocupa el puesto 63 entre los 132 países evaluados (World Intellectual Property Organization, 2022).

Asimismo, la narrativa de (P2) refiere: «Además de la formación técnica, realizo articulación con otras asignaturas, mediante la observación y análisis de fenómenos del entorno, buscar alternativas de solución a problemas reales desde la generación de estrategias apoyadas en la tecnología», de donde se infiere que el docente instructor de las academias SED-Cisco reconoce la

importancia de educar en y para el Siglo XXI (Unesco et al., 1997), pues no le basta con dominar los contenidos, sino que trabaja para hallar la mejor manera de enseñarlos (Shulman, 1986). La propuesta de problemas reales da como resultado no solo estudiantes hábiles y dotados de conocimientos, sino ciudadanos éticos, conscientes, responsables, con habilidades y competencias en pro del cuidado por sí mismo y del entorno (Unesco, 2016).

Por su parte, (P7) manifiesta: «Desarrollo mi práctica docente mediante el Aprendizaje Basado en Retos; inicio con la exploración de conocimientos previos, posteriormente ofrezco pautas para las posibles soluciones y finalizo las sesiones con la retroalimentación a partir de las soluciones generadas». De manera similar, (P21) refiere: «Desarrollo proyectos integrados con la estrategia ABP». A partir de estas narrativas se puede colegir que los enfoques bajo los cuales el docente instructor realiza su práctica evidencian dos elementos valiosos para el fomento de la ciudadanía global: el primero, centrarse en el estudiante (Puche-Navarro et al., 2006), y el segundo, gestar procesos de evaluación reflexivos mediante la retroalimentación (UNESCO, 2016).

De otro lado, el docente instructor (P8) manifiesta: «Oriento los cursos de formación desde las plataformas de Cisco, relaciono el contenido de los cursos con actividades contextualizadas en la vida de los estudiantes. Adicionalmente planeo y ejecuto actividades institucionales». Se hace evidente que al hacer uso de contextos reales para el desarrollo de la práctica docente mediada por las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se generan ambientes que preparan a los estudiantes para enfrentar los retos del Siglo XXI (Scott, 2015; UNESCO, 2016; Claro & Castro-Grau, 2023).

A su vez, (P9) describe su práctica docente: «Capacito y acompaño a estudiantes del proyecto Cisco en competencias TIC. Asimismo, participo activamente en procesos de actualización continua». En este caso, el docente instructor da relevancia de manera explícita a los procesos de actualización, los cuales son un elemento fundamental para la educación en ciudadanía mundial y, por ende, una característica de quien lidera dicha formación (UNESCO, 2016).

Continuando con las narrativas (P13) expone: «Imparto formación tecnológica a los estudiantes de la institución y también a la comunidad educativa», haciendo alusión al componente de desarrollo de habilidades para la comunicación (UNESCO, 2016), en cuyo caso la alfabetización tecnológica y el uso ético de la información, así como de las plataformas y redes, resultan fundamentales para la promoción de la interculturalidad y, en consecuencia, para tener una visión cosmopolita (Gunderson, 2005; Ribble, 2007).

Mientras que (P12) enuncia: «Lidero programas de formación introductoria al mundo laboral, ajustando los contenidos a las características socioeconómicas del sector donde se encuentra ubicado el colegio, y al proyecto de vida de los estudiantes, en sintonía con los perfiles laborales demandados en Bogotá, Colombia, y a nivel mundial. Mi práctica se integra obligatoriamente con el PEI de la institución, cuyo lema es “Ciudadanos competentes en un mundo globalizado”, y se enmarca en un modelo pedagógico de aprendizaje significativo. Me apoyo en el modelo de aprendizaje vivencial según el curso». Este enfoque concuerda con el concepto de Ciudadanía Global, promovido por Martha Nussbaum, el cual propende por una educación que cultive el sentido de humanidad y fomente una visión cosmopolita, promoviendo una diversidad de vocaciones y formando ciudadanos del mundo (Gunderson, 2005). Este enfoque educativo se ajusta a la formación de estudiantes capaces de enfrentar los retos locales y globales, actuales y futuros, del mercado laboral (UNESCO, 2016).

La narrativa de (P15) apunta: «Inicio la clase con una frase motivacional que suscita la reflexión-enseñanza. Posteriormente planteo el objetivo y explico el tema a tratar, luego sugiero actividades prácticas para su mejor entendimiento»; en esta misma línea, (P16) puntualiza que en su práctica docente cotidiana desarrolla los siguientes pasos: «Planteo los objetivos de la sesión, indico las partes en que se divide, desarrollo las actividades, evalúo, diagnóstico y concluyo». De manera parecida, (P17) expresa: «Expongo los objetivos y temática, y desarrollo laboratorios». Estos enfoques concuerdan con las teorías educativas de Dewey (1998) y Freire (2014), quienes destacan la importancia de centrarse en el estudiante, fomentando el conocimiento a través del diálogo reflexivo y las experiencias prácticas. De manera similar, Danielson (1996) y Bain (2011) hacen énfasis en que, para mejorar la práctica docente, es necesaria la planificación, preparación, instrucción, ambiente de aula e interacción efectiva, así como la evaluación constante.

Las acciones generales de la práctica de (P18) se manifiestan así: «Promocionar los cursos de formación, planificar clases, organizar grupos (...) En las clases desarrollo las actividades de enseñanza, aprendizaje y evaluación». Esta narrativa evidencia el liderazgo del instructor dentro del proceso y su rigurosidad en el desarrollo del programa de formación de la Academia, haciendo énfasis en que el aprendizaje cooperativo permite tanto la adquisición de habilidades comunicativas como el desarrollo de la capacidad de trabajo en equipo, características de relevancia capital para la consecución de una ciudadanía global (UNESCO, 2016).

Por su lado, (P20) puntualiza: «Involucro conocimientos, habilidades y reflexionar constantemente para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de los estudiantes de la Academia». Esta

afirmación confirma que el desarrollo del pensamiento crítico, en particular del juicio reflexivo, permite que la práctica se fortalezca, siendo esencial para la toma de decisiones y la resolución de problemas educativos (Dwyer, 2023).

5. CONCLUSIONES

El docente instructor SED-Cisco se perfila como un tecno-pedagógico que utiliza de manera apropiada la tecnología para promover la construcción de conocimiento y las competencias necesarias para hacer frente a las problemáticas del Siglo XXI. En su práctica docente diseña, crea, ejecuta y evalúa e-actividades encaminadas al aprendizaje y aplicación del contenido técnico-científico necesario a nivel personal, empresarial y social en la búsqueda de sostenibilidad y ciudadanía global.

La práctica docente del instructor SED-Cisco responde a las demandas del mercado laboral local y global, ajustándose a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, a una educación para la ciudadanía mundial y forma estudiantes capaces de resolver problemáticas de su entorno con un enfoque ético y responsable. Esta metodología holística y centrada en el estudiante, refleja un compromiso profundo con una educación equitativa y de calidad, esencial para el desarrollo sostenible.

La promoción de un currículo de ciudadanía global presenta cierto conflicto con las metodologías de trabajo basadas en problemas, ya que la primera convoca a pensar globalmente, mientras que la segunda se enfoca en resolver problemas desde la urgencia y pertinencia contextual local. No obstante, gracias a su experiencia, el docente instructor SED-Cisco logra armonizar y equilibrar estas dos posturas.

La práctica docente enfrenta el gran desafío de fomentar la implementación crítica y el desarrollo ético de las TIC en niños y adolescentes cuya madurez neuropsicológica los hace susceptibles a convertirse en individuos nomofóbicos. La integración de estas tecnologías en la educación resulta incompleta si afecta negativamente la interacción social y la salud mental de los estudiantes.

El Distrito cuenta con 752 colegios oficiales de los cuales 20 participan en la alianza público-privada entre la SED y Cisco Systems y los más de 20.000 egresados fortalecen el capital cultural para la ciudadanía global y la paz. Sin embargo, se hace necesario favorecer la participación de una población escolar significativa que también requiere integración tecnológica, alfabetización y ciudadanía digital.

Finalmente, las narrativas permiten inferir que el docente instructor SED-Cisco a pesar de su capacitación constante, aún se encuentra en un proceso de apropiación frente a las acepciones de

ciudadanía digital y global, pues las emplea indiscriminadamente. Es necesario distinguir que la primera permite la interacción ética en los entornos virtuales, mientras que la segunda implica la comprensión y el compromiso con problemas de alcance mundial.

6. REFERENCIAS

- Andreotti, V. (2011). Actionable Postcolonial Theory in Education. En Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/9780230337794>
- Bain, K. (2011). What the Best College Teachers Do. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjnrvvb>
- Barber, M. & Mourshed, M. (2008). Cómo hicieron los sistemas educativos con mejor desempeño del mundo para alcanzar sus objetivos. Mckinsey & Company. https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/public%20and%20social%20sector/our%20insights/how%20the%20worlds%20best%20performing%20school%20systems%20come%20out%20on%20top/como_hicieron_los_sistemas_educativos.pdf
- Becerra, M. (2015) Revolución digital: Ciudadanía y derechos en construcción. Cuaderno SITEAL. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000371035?posInSet=1&queryId=9abdb538-1aed-4453-8441-cb84525758e9>
- Bugallo-Rodríguez, Á. Naya-Rivero. Pa, M. (2018). Educación para la Ciudadanía Global (ECG): Comprendiendo lo internacional a través de lo local. Revista Lusófona de educación. 41, 139-151. <https://doi.org/10.24140/issn.1645-7250.rle41.09>
- Bujanda, M., Ruiz V., Molina A. & Quesada S. (2014). Competencias del siglo XXI. Guía práctica para promover su aprendizaje y evaluación. Fundación Omar Dengo. Unesco. https://viaeducacion.org/downloads/ap/ehd/competencias_siglo_xxi.pdf
- Claro, M. & Castro-Grau, C. (2023). El papel de las tecnologías digitales en los aprendizajes del siglo XXI. Oficina para América Latina y el Caribe del IIPE UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386981?posInSet=1&queryId=d9bb6df7-a42b-44fd-9317-dbecb222d251>
- Danielson, C. (1996). Enhancing Professional Practice: A Framework for Teaching. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA88470691>
- Darling-Hammond, L. (1997). The Right to Learn: A Blueprint for Creating Schools That Work. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA30814128>
- Dewey, J. (1998). Democracia y Educación. Morata. <https://circulosemiotico.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/10/dewey-john-democracia-y-educacion.pdf>
- Dwyer, C. (2023). An Evaluative Review of Barriers to Critical Thinking in Educational and Real-World Settings. Journal Of Intelligence, 11(6), 105. <https://doi.org/10.3390/jintelligence11060105>

- Edwards, C., Gandini, L. & Forman, G. (1993). *The Hundred Languages of Children: The Reggio Emilia Approach to Early Childhood Education*. Ilustrada. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA20914716>
- Freire, P. (2014). *Pedagogy of the Oppressed*. Bloomsbury Academic. <https://www.amazon.com/Pedagogy-Oppressed-Anniversary-Paulo-Freire-ebook/dp/BooMoFQHQO>
- Gibbs, G. (2012). *El análisis de datos cuantitativos en investigación Cualitativa*. Morata
- Gunderson, M. (2005). *Cultivating Humanity: A Classical Defense of Reform in Liberal Education*. Harvard University. <https://doi.org/10.36366/frontiers.v11i1.161>
- Herrera, J. (2014). *Pensar en la educación, hacer investigación*. Universidad de la Salle
- Mairi, S., Gruber, J., Mercer, S., Schartner, A., Ybema, J., Young, T. & Van der Meer, C. (2023). Teacher educators' perspectives on global citizenship education and multilingual competences. *Journal of Multilingual and Multicultural Development*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/01434632.2023.2170388>
- Marín, J. (2018). *Investigar en educación y pedagogía, sus fundamentos epistemológicos y metodológicos*. Editorial Magisterio.
- McLean, M., & Blackwell, R. (1997). Opportunity Knocks? Professionalism and excellence in university teaching. *Teachers and Teaching*, 3(1), 85-99. <https://doi.org/10.1080/1354060970030106>
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. (LC/G.2681-P/Rev.3). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>
- Londoño, C. (2011). Democracia y educación. *Educación y Ciencia*, 9, 117-118. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/educacion_y_ciencia/article/view/707/706
- Pérez, C., López, L. y Esteves, M. (2004). *Cuestiones controvertidas de la investigación en el aula. En la investigación formativa. Seminario taller para investigadores y docentes investigadores*. Editorial universidad cooperativa de Colombia
- Puche-Navarro, R., Ossa, J., & Guevara M. (2006). La resolución de problemas, ¿una alternativa integradora? *Revista Educación y Pedagogía*. Universidad de Antioquia, Facultad de Educación. 18(46), 167-189. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/revistaeypp/article/view/6943/6356>
- Ribble, M. (2007). *Digital Citizenship in Schools*. Ilustrada. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BB16242768>
- Rodríguez, G., Gil, J. y García, E. (1999). *Metodología de la investigación Cualitativa*. Aljibe.
- Scott, L. (2015). *Investigación y prospectiva en educación. El futuro del aprendizaje. ¿Qué tipo de aprendizaje se necesita en el siglo XXI?* Unesco. Unesco. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pfo000242996_spa/PDF/242996spa.pdf.multi
- SED-UNIMINUTO (2023). *Actualización del manual de procedimientos de las Academias SED-CISCO*. Secretaría de Educación del Distrito-UNIMINUTO.

- CED-UNIMINUTO. (2022). Academias para la cuarta revolución industrial. Secretaría de Educación del Distrito-UNIMINUTO
- Shulman, L. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- Sorj, B. (2005). La democracia inesperada. Prometeo.
- Tormey, R. (2010). The silent politics of educational disadvantage and the National Anti-poverty Strategy. *Irish Educational Studies*, 29(2), 189-199. <https://doi.org/10.1080/03323311003779076>
- Turner, B.(2002). Cosmopolitan Virtue, Globalization and Patriotism. *Theory, Culture & Society*, 19(1-2), 45-63. <https://doi.org/10.1177/026327640201900102>
- Unesco. (1997). Los aprendizajes globales para el siglo XXI: Nuevos desafíos para la educación de personas jóvenes y adultas en América Latina. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000147350?posInSet=1&queryId=51a207e7-08a0-4b3a-a141-97f1f5bc6768>
- Unesco. (2016). Educación para la ciudadanía mundial: preparar a los educando para los retos del siglo XXI. Unesco. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244957>
- Unesco. (2017). Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivos de Aprendizaje. Unesco. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423>
- Vergara, M. (2016). La práctica docente. Un estudio desde los significados. *Cumbres*. 2(1), 73-99. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v2n1a5>
- World Intellectual Property Organization. (2022). Global Innovation Index 2022: What is the future of innovation-driven growth? WIPO. <https://doi.org/10.34667/tind.46596>

Recuperación de litargirio a partir de los residuos del proceso de ensayo al fuego en la cuantificación de metales

Recovery of litharge from fire assay process residues in the quantification of metals.

Samuel Palacio Morales¹

Juan Manuel Guzmán Cardona²

José Manuel Palacio Arango³

Andrés Felipe Arboleda⁴

Cómo citar:

Palacio, S., Guzmán, J., Palacio, J. & Arboleda, A. (2024). Recuperación de litargirio a partir de los residuos del proceso de ensayo al fuego en la cuantificación de metales. *Vía Innova*, 11 (1), 231-253. <https://doi.org/10.23850/2422068X.6023>

¹ Estudiante Pregrado Ingeniero de Minas y Metalurgia, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín UNAL, mailto:-sapalaciom@unal.edu.co, Medellín.

² Estudiante Pregrado Ingeniero de Minas y Metalurgia, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín UNAL, mailto:-juguzmanc@unal.edu.co, Medellín.

³ Estudiante Pregrado Ingeniero de Minas y Metalurgia, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín UNAL, mailto:-jopalacioa@unal.edu.co, Medellín.

⁴ Estudiante pregrado Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín UNAL Instituto de Minerales CIMEX, anarboleda@unal.edu.co, Medellín

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la recuperación de plomo a partir de las copelas utilizadas en el método de ensayo al fuego en el Instituto de Minerales CIMEX de la Universidad Nacional de Colombia. Se realizó un análisis fisicoquímico de caracterización mediante Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X y cuantificación química de plomo mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica, determinándose que el valor promedio de plomo en las copelas es del 64,25 %. La experimentación se llevó a cabo mediante un proceso de lixiviación, empleando una solución buffer compuesta por ácido cítrico y su base conjugada, citrato de sodio. Se determinó que las condiciones más favorables para el proceso son un pH de 5, un tiempo de lixiviación de 2 horas y un peso de muestra de 6 gramos en 30 ml de agua, logrando un licor con aproximadamente 49,6 % de plomo. Posteriormente, se realizó una precipitación con hidróxido de amonio al 26%, seguida de un secado y calcinado para convertir el hidróxido de plomo obtenido en la precipitación en su forma reducida (litargirio). Se encontró que el rendimiento global del proceso de obtención del litargirio es del 49,5 % y que se puede recuperar hasta el 96,7 % del Pb inicial presente en la copela. Solo en el Instituto de Minerales CIMEX se podrían recuperar hasta 869.8 kg anuales de litargirio que pueden ser reintegrados al proceso, lo que representa un valor trascendental a escala industrial para la sostenibilidad del sector minero- metalúrgico y el tratamiento de estos residuos.

232

Palabras Clave: Hidrometalurgia, Recuperación de litargirio, Lixiviación ácida, Gestión de residuos mineros, Economía circular

ABSTRACT

This research aims to evaluate lead recovery from cupels used in the fire assay method at the Instituto de Minerales CIMEX, Universidad Nacional de Colombia. A physicochemical characterization analysis was performed using X-ray Fluorescence Spectrometry (XRF) and lead chemical quantification through Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS), determining that the average lead content in the cupels is 64.25%. The experimentation was conducted through a leaching process, employing a buffer solution composed of citric acid and its conjugate base, sodium citrate. It was determined that the most favorable conditions for the process are a pH of 5, a leaching time of 2 hours, and a sample weight of 6 grams, achieving a liquor with approximately 49.6% lead content. Subsequently, precipitation was carried out using 26% ammonium hydroxide, followed by drying and calcination to convert the obtained lead hydroxide into its reduced form (litharge). It was found that the overall yield of the litharge production process is 49.5%, and up to 96.7% of the initial Pb present in the cupel can be recovered. At the CIMEX Minerals Institute alone, up to 869.8 kg of litharge could be recovered annually and reintegrated into the process, which represents a transcendental value on an industrial scale for the sustainability of the mining- metallurgical sector and the treatment of these wastes.

233

Keywords: Hydrometallurgy, Litharge recovery, Acid leaching, mining waste management, Circular economy.

1. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos, las propiedades fisicoquímicas del plomo han permitido que sea un metal ampliamente utilizado en el mercado y en diferentes actividades productivas, tales como pinturas, fabricación de pigmentos, protección de rayos X, recubrimientos anticorrosivos, tuberías y otras aplicaciones relacionadas con los procesos pirometalúrgicos. De hecho, se cree que los egipcios lo empleaban como fundente para estatuillas 7.000 años a.C. gracias a que funde a tan solo 328 °C (Mosquera & Bautista, 2005).

En esa misma línea aplicativa, se enuncia una de las pruebas más recurrentes para la cuantificación de tenores de oro, plata y elementos del grupo del platino: el análisis por ensayo al fuego; una técnica por vía seca de alta precisión que utiliza principalmente copelas o crisoles como material refractario, y litargirio (PbO) como colector en una carga de fundentes (Zapata et al, 2015). En la primera etapa del método se funde en un crisol una mezcla de muestra mineral y carga fundente (Na_2CO_3 , SiO_2 , bórax, harina de trigo y PbO); dicha mezcla se vierte en un molde y se deja enfriar, lo que lleva a la formación de dos fases: el complejo de plomo con la plata (Ag) y el oro (Au), y la escoria constituida por silicatos y residuos minerales. En la segunda etapa, denominada copelación, se busca mediante una fusión (entre 1000 y 1200 °C) la eliminación de Pb debido a la absorción de aproximadamente 98 % del óxido fundido en una copela de magnesita porosa (Hoffman et al, 1998).

Evaluando el desecho de estos materiales, solo en el Instituto de Minerales CIMEX de la Universidad Nacional de Colombia, cada año se realizan alrededor de 7200 análisis de ensayo al fuego. Cada análisis, genera alrededor de 195,25 gramos de residuos de copela, lo que resulta en la producción y eliminación de aproximadamente 1,41 toneladas anual.

Debido a la absorción mencionada, los residuos de copela se encuentran altamente contaminados con plomo, lo que hace que su eliminación sea un motivo de gran preocupación y más aún si se analiza a una escala nacional. Una vez evaluada la trazabilidad de este material, es oportuno proponer el desarrollo de técnicas que permitan recuperar plomo a partir de estos desechos, lo que puede contribuir a una adecuada gestión del riesgo de contaminación ambiental y ofrecer oportunidades para la industria minero-metalúrgica de incursionar en la economía circular, ya que el litargirio no solo puede ser reutilizado en el proceso de ensayo al fuego, sino que también satisface un pequeño porcentaje de la demanda industrial de compuestos de plomo.

La recuperación de plomo a partir de residuos se ha logrado mediante procesos pirometalúrgicos (Kim et al, 2021; Ma, 2019; Mihajlović et al, 2014) e hidrometalúrgicos (Raghavan et al, 2000; Rusen et al, 2008; Eleanor, 2020), sin embargo, los primeros suelen liberar óxidos de azufre en forma gaseosa y partículas de plomo al ambiente, por lo que la comunidad científica ha ido apostando cada vez más a procesos limpios como lo son los métodos hidrometalúrgicos y electro-metalúrgicos (Soundarrajan et al, 2012). Calderón & Rosell encontraron en 2014 que era posible la extracción de este plomo mediante un proceso de lixiviación con ácido cítrico, combinado con la precipitación en hidróxido de plomo y la posterior oxidación en forma de litargirio mediante una calcinación a 600°C. Este estudio propone que el producto puede ser un material reintegrable en el proceso pirometalúrgico en forma de colector metálico y, considerando que la extracción tiene un rendimiento del 80 %, junto con proyecciones y evaluaciones económicas, los autores concluyeron que es factible escalarlo a nivel industrial.

La presente investigación, emplea un proceso hidrometalúrgico diseñado para la recuperación del plomo presente en las copelas, pero a diferencia de los antecedentes encontrados, este trabajo busca profundizar el estudio de los modelos hidrometalúrgicos (cinéticos y químicos) por los cuales se rige la etapa lixivante, introduciendo además un tipo de disolución muy utilizada en la industria química, farmacéutica y biotecnológica, pero escasamente conocida en la industria metalúrgica: las soluciones amortiguadoras, también llamadas soluciones Buffer, propuestas por primera vez en 1908 por Lawrence Joseph Henderson y complementadas con los trabajos de Karl Albert Hasselbalch (Hardie, 2024).

La ecuación de Henderson- Hasselbalch se vuelve una herramienta valiosa porque relaciona las concentraciones de los reactivos con el pH que constituye una solución amortiguadora que presenta leves variaciones del pH cuando reacciona. Para preparar la solución amortiguadora, se usó la ecuación de Henderson–Hasselbach y el pKa más cercano al pH deseado, se agregó al ácido cítrico una cantidad determinada de citrato de sodio (su base conjugada) de modo que se garantice el control del pH durante el proceso sin considerar la reposición de ácido como agente lixivante. Con estas características de lixiviación y los fundamentos teóricos de las siguientes etapas, se busca evaluar la eficiencia y sostenibilidad del proceso de extracción, en principio, considerando que estos desechos no solo le traen compromisos económicos al instituto de minerales CIMEX de la Universidad Nacional de Colombia, sino que también pueden contribuir a la contaminación por plomo en el lugar de disposición final; esta última razón es, en esencia, la justificación principal

por la que se desea potenciar la economía circular dentro de los procesos de análisis del centro de estudio y de la industria minero- metalúrgica en general.

2. METODOLOGÍA Y MATERIAS PRIMAS

La metodología de esta investigación sigue un enfoque cuantitativo experimental y emplea métodos estadísticos y equipos especializados para obtener y analizar datos, garantizando eficiencia y precisión en el proceso de recuperación. Los materiales utilizados se resumen en la Tabla 1 y los equipos necesarios para su correcta ejecución se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1. Materiales

Material	Cantidad $\bar{x}$ /ensayo	Ensayos	Total
Copelas	2 ud	4	8
Ácido cítrico	5,76 g		23,05 g
Citrato de sodio	7,33 g		29,32 g
Agua destilada	799,06 ml		3,20 L
Hidróxido de amonio	Entre 0,6 a 3 ml		12 ml

Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Equipos de laboratorio

Etapla 1	Etapla 2
Trituradora de quijadas	Embudo de vidrio
Molino de barras	pH-metro
Balanza analítica	Papel filtro
Agitador de prueba de jarras	Pipeta graduada
	Mufla

Fuente: elaboración propia

Tras recolectar 1.562 kg de residuos de copela provenientes del proceso de ensayo al fuego, este material se sometió a trituración y molienda, en busca de partículas menores a 150 micras

(pasante malla #100) de la serie de tamices Taylor. Se obtuvieron 1133,2 g de dicho pasante y se hizo un doble muestreo de 3 y 6 gramos destinados como soluto. La selección de la muestra se basó en estudios anteriores (Calderón & Rosell, 2014) que consideraron 30 y 60 gramos como soluto, esta vez, con el objetivo de seguir estándares contemporáneos que motivan a realizar investigaciones a pequeña escala que se basen en el respeto al ambiente y la prevención de la contaminación (Del Carmén & Graciela, 2015), y así relacionar los resultados con otros estudios o con la escala industrial siguiendo buenas prácticas.

La selección del ácido cítrico como agente lixiviante se basó en estudios previos que demostraron su capacidad para disolver metales pesados en medios acuosos sin generar subproductos tóxicos (Rivera e Ybañez, 2016; Chucos & Espinoza, 2016), por lo que a diferencia de otros estudios que han utilizado ácidos más fuertes como el sulfúrico o clorhídrico, el uso de ácido cítrico garantiza un proceso más amigable con el ambiente. Siguiendo este concepto se prepararon cuatro soluciones amortiguadoras lixiviantes de 30 ml c/u, compuestas por ácido cítrico al 98 % grado analítico y citrato de sodio. Para preparar las soluciones a 1 [M] se realizó el siguiente cálculo matemático:

$$0,12 \text{ L soln} \frac{1 \text{ mol } H_3(C_6H_5O_7)}{1 \text{ L soln}} \cdot \frac{192,13 \text{ g } H_3(C_6H_5O_7)}{1 \text{ mol } H_3(C_6H_5O_7)} \cdot \frac{100 \text{ g } H_3(C_6H_5O_7)}{98 \text{ g } H_3(C_6H_5O_7)} \rightarrow 23 \text{ g } H_3(C_6H_5O_7)$$

237

Posteriormente, se tomaron cuatro alícuotas de 30 mL con micropipetas y se llevaron a Erlenmeyer de 200 mL. A cada uno se le adicionó la cantidad requerida de citrato de sodio para obtener la solución buffer a pH 2,00 y 5,00, calculadas por medio de la ecuación (1) de Henderson-Hasselbalch utilizando las constantes de acidez (pKa) del ácido cítrico para conocer la cantidad necesaria de citrato y formar una solución buffer.

$$pH = pKa + \log \left(\frac{[H(C_6H_5O_7)]}{[Na_3C_6H_5O_7]} \right) \quad (1)$$

Los valores correspondientes al primer y segundo pKa del ácido son 3,08 y 4,74 según la Universidad Iberoamericana (2003). La pKa representa el punto en el que el ácido está en equilibrio con su base conjugada, es decir, cuando la concentración de la forma protonada (ácido) y la forma desprotonada (base conjugada) es aproximadamente igual. Este equilibrio proporciona la máxima

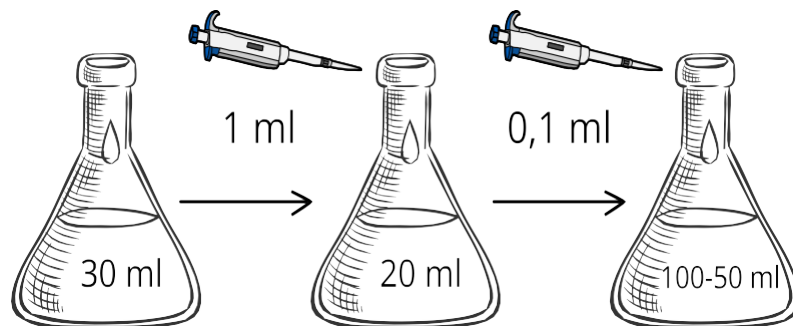
capacidad de amortiguación de la solución, lo que se traduce en su habilidad para resistir cambios en el pH cuando se agregan pequeñas cantidades de ácidos o bases (Constable, 2014). De este modo, el pH óptimo fue determinado siguiendo la ecuación para garantizar un equilibrio entre la eficiencia de disolución del plomo y la estabilidad de la solución buffer, lo que minimiza la necesidad de correcciones adicionales de pH durante el proceso. Estos ajustes suelen necesitar otros tipos de lixiviaciones comunes en la industria, y se debe llevar un seguimiento constante y riguroso del consumo de soluto, lo que en ocasiones representa un problema en términos de eficiencia para aquellas operaciones mineras en las que no se tiene un amplio desarrollo tecnológico.

Preparadas las soluciones, se comprobó con un pH-metro el valor del pH obtenido, el cual concordó con el valor calculado teóricamente mostrando una desviación de ± 0.02 unidades de pH en cada solución. Se realizó la adición de la muestra a cada reactor y se sometió a agitación mecánica durante 22 horas, a 350 rpm, donde se tomaron alícuotas de 1 ml de solución cada

hora durante las primeras siete horas y una última alícuota en la hora 22. Estas alícuotas se aforaron y almacenaron en frascos de 20 ml y luego se tomaron 0.1 ml para ser diluidos en matraces de 50 y 100 ml como se muestra en la Figura 1, para su posterior análisis mediante espectrofotometría de absorción atómica.

238

Figura 1. Dilución de la solución lixiviada. Fuente: elaboración propia



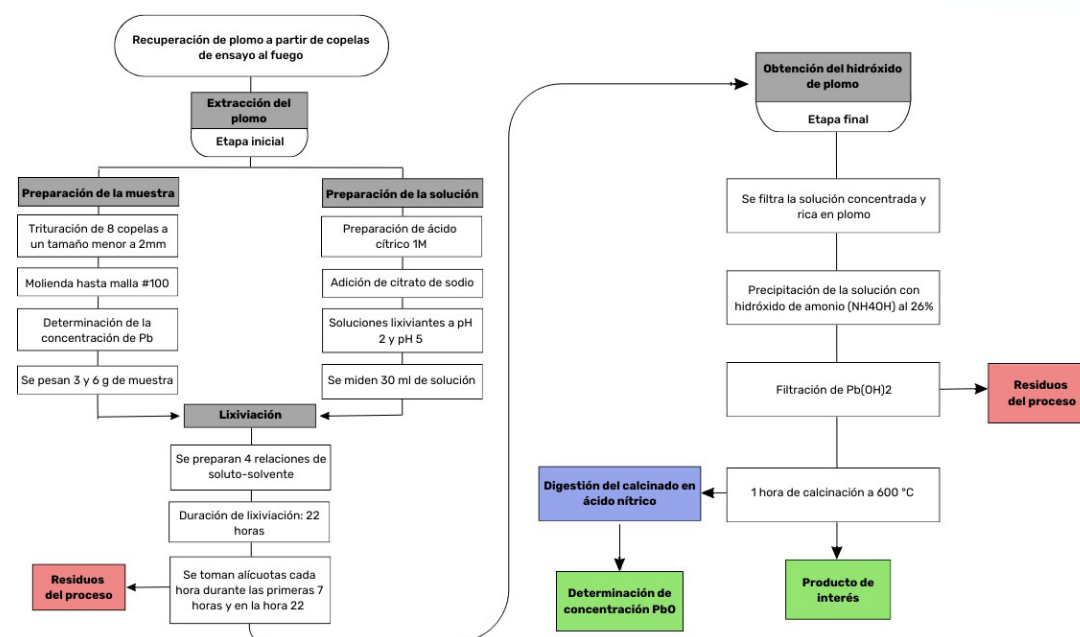
Una vez finalizadas las 22 horas de agitación, se filtraron las cuatro soluciones para eliminar el material fino presente.

Posteriormente, se precipitaron estas soluciones durante seis horas utilizando hidróxido de amonio al 26 % en exceso, agregando entre 0.6 ml y 3 ml con el objetivo de alcanzar un pH mayor a 8.5, valor óptimo para la precipitación del hidróxido de plomo (Constanza et al, 2018). Finalmente, se toman alícuotas de 0.1 ml para cada muestra.

Para el tenor de cabeza, se realizó cuarteo hasta obtener una muestra y contramuestra de 0.2317 g y 0.2354 g respectivamente, que se sometieron a digestión multiácida, para liberar el plomo de su matriz y análisis por espectrofotometría de absorción atómica. Este precipitado, compuesto teóricamente por hidróxido de plomo, se filtra y se lleva a calcinar en una mufla durante una hora a una temperatura de 600° C, lo que permite reducir el material y obtener el óxido de plomo (litargirio).

Toda esta sección se sintetiza en la Figura 2, la cual representa la trayectoria del proyecto.

Figura 2. Diagrama de flujo del proyecto. Adaptada de Calderón y Rosell (2014).



3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

3.1 Caracterización inicial

El paso previo a la lixiviación es realizar una digestión con un agente lixivante fuerte para determinar cuánto plomo es lixiviable y así tener referencia del valor máximo al que se puede llegar. En este caso, se diluyeron 0.5 gramos de muestra en ácido nítrico y mediante espectrofotometría de absorción atómica se determinó un porcentaje de Pb promedio en las copelas de 64.25. Este valor es coherente con los resultados de la Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X realizados a la muestra inicial y presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de FRX en copela.

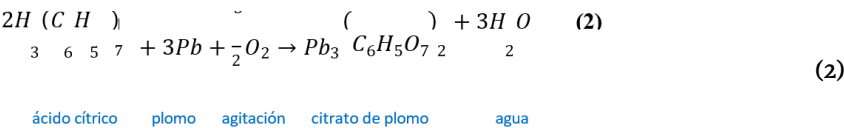
Componente	Concentración (%)
Mg	17.386
Al	0.027
Si	1.040
Ca	1.134
Fe	0.707
Cu	0.032
Pb	56.048

Fuente: elaboración propia

3.2 Lixiviación

La lixiviación es el proceso mediante el cual se disuelven, de manera selectiva, los componentes valiosos de un mineral. El agente químico que facilita esta disolución se denomina agente lixivante. Entre los lixiviantes más comunes se incluyen el ácido sulfúrico, el cianuro de sodio o potasio y el hidróxido de sodio (Herrera, 2016). La lixiviación por agitación mecánica permite mantener la pulpa en suspensión y una mayor superficie de contacto entre el soluto y el solvente (Restrepo, 2019).

Para esta investigación se utilizó como agente lixivante el ácido cítrico y la disolución obedece a la reacción presentada a en la ecuación (2):

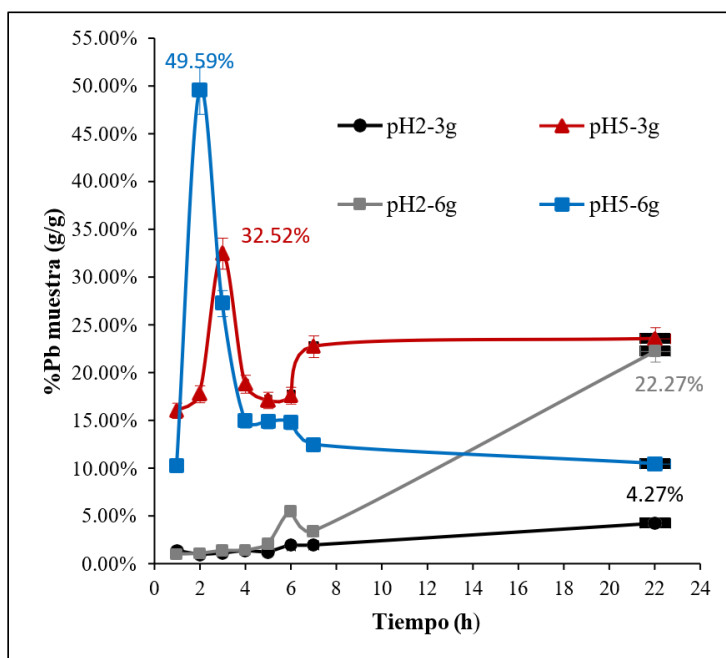


Con el fin de conocer únicamente el porcentaje de Pb en forma metálica, esta prueba refleja los datos sin considerar los porcentajes de carbonos u oxígenos, componentes secundarios asociados a la magnesita de las copelas y a los óxidos remanentes del proceso de ensayo al fuego. El FRX es conocido por ser una prueba con menor precisión que el AAS (Estevéz et al, 2001), por lo que se usa únicamente como un resultado corroborante y para asegurar que no existen elementos por los

cuales tenga preferencia el agente lixiviante. La determinación de Concentración vs Tiempo para las diferentes condiciones de pH y peso de muestra se puede observar en la Figura 3, aclarando que se desconoce el comportamiento de la lixiviación en cada ensayo entre las 7 y 22 horas.

En el primer ensayo se observa que el máximo contenido de plomo en solución se obtuvo a las seis horas con un valor de 1.93 % en una curva de pendiente positiva con incertidumbre entre datos, por lo que se consideró que el tiempo óptimo de lixiviación para los datos conocidos es de cuatro horas con un contenido de 1,34 %, pues la diferencia entre dichas muestras es baja (0.59 %) para un periodo de dos horas. Sin embargo, este valor es demasiado reducido para ser rentable en un proyecto a mayor escala. Además, aunque el valor alcanzado a las 22 horas (4,27%) es mayor, no se considera suficiente.

Figura 3. Curvas de lixiviación. Fuente: elaboración propia



En el segundo ensayo, se evaluó el comportamiento de la lixiviación de una muestra de 3 g a condiciones de pH 5 y se determinó que el tiempo óptimo de lixiviación fue de tres horas, alcanzando un contenido de plomo de 32,5 %. Tras este punto máximo, la proporción en el licor disminuyó y en la hora 22 se observa un valor aproximadamente igual al de la alícuota inmediatamente anterior.

En el tercer ensayo, se buscó determinar el comportamiento de la curva cuando se aumentaba el peso de la muestra a 6 g manteniendo el pH del ensayo 1. En esta figura se puede observar que los ensayos realizados a condiciones de pH 2 presentan un comportamiento similar con una pendiente más pronunciada para el caso con más cantidad de muestra, sugiriendo una dependencia del rendimiento con esta variable.

Finalmente, se evaluó el comportamiento de la lixiviación de una muestra de 6 g a condiciones de pH 5, obteniendo un tiempo óptimo de lixiviación de dos horas, con una cinética muy similar a la hallada anteriormente en esas condiciones de acidez. Se obtiene un contenido máximo de plomo del 49,6 %. Posteriormente, el contenido en el licor disminuyó continuamente y en la hora 22 tuvo un valor aproximadamente igual al de la alícuota inmediatamente anterior.

Con estos resultados, se evidencia que el comportamiento de las curvas a condiciones de pH 5 se explican por medio del Principio de Le Chatelier (StudySmarter, 2024) y se trata de una manifestación de cómo los sistemas en equilibrio dinámico responden a las condiciones cambiantes y a la velocidad de la reacción; en este caso, se muestra que el aumento temprano de la concentración tiene un efecto sobre su cinética y causa una disminución en el porcentaje de Pb para buscar el equilibrio químico.

242

De la ecuación (2) se pueden analizar los rendimientos de cada proceso, teniendo en cuenta que el Pb es el reactivo limitante en ambos casos (3 y 6 g) y que este elemento representa el 62,17 % de los 999,80 gramos que se forman por cada mol de citrato de plomo. Los resultados se presentan en la Tabla 4, considerando la lectura de los picos de cada curva para obtener el Pb que es lixiviado. La mejor eficiencia de esta reacción se obtuvo a condiciones de pH 5, cuando se lixiviaron 6 gramos de copela.

Tabla 4. Rendimientos de la reacción (2)

Muestra	Pb teórico (g)	Citrato de plomo (g)	Pb real (g)	Rendimiento (%)
pH 2 - 3 g	1,93	3,10	0,13	6,87
pH 2 - 6g	3,86	6,20	1,38	35,82
pH 5 - 3g	1,93	3,10	1,01	52,31
pH 5 - 6g	3,86	6,20	3,07	79,75

Fuente: elaboración propia

Los resultados sugieren que lo más recomendable para trabajar en esta etapa es llevar la solución a un pH ligeramente ácido y que, además, el soluto debe garantizar su participación en la ecuación como reactivo limitante, pero acercarse un poco más al requerimiento másico que la ecuación química propone para obtener mejores rendimientos. Esto se ve observado con mayor claridad al extrapolar los resultados en función del peso lixiviado (X) y los rendimientos (Y) utilizando la ecuación (3) de una recta dado que, si ambas condiciones de pH generan la misma linealidad entre variables, es sensato pensar que el rendimiento puede ser proporcional al peso del soluto en un rango práctico.

$$X3 = X1 + \frac{(Y3 - Y1) * (X2 - X1)}{(Y2 - Y1)} \quad (3)$$

por una disminución debido a la inhibición del producto o efectos secundarios, de modo que a medida que aumenta el peso de la copela, la superficie disponible para la reacción puede no aumentar proporcionalmente y el ácido cítrico llegar a saturarse o distribuirse de manera no uniforme, por lo que esta sugerencia debe tomarse con precaución y se debe validar experimentalmente en futuras investigaciones.

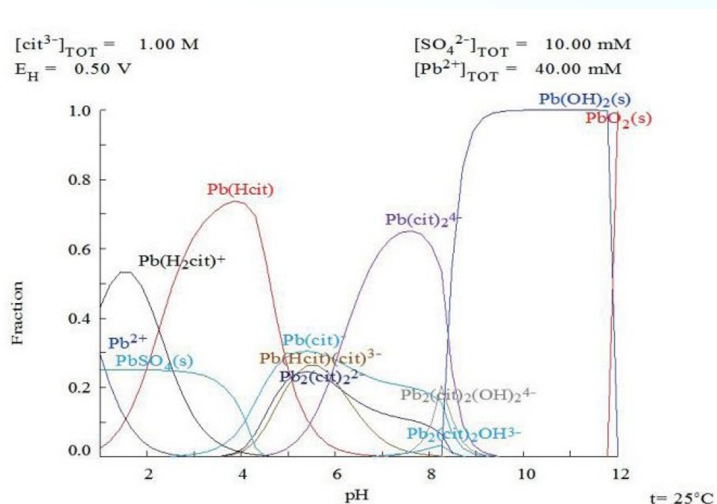
243

3.3 Precipitación

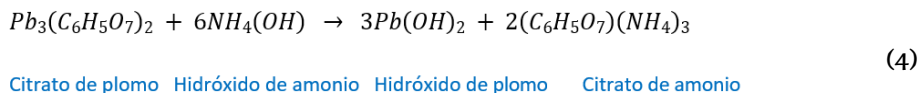
La precipitación se ha empleado de manera convencional para purificar y concentrar las soluciones obtenidas en procesos de lixiviación como el descrito anteriormente (Herrera, 2016).

Posterior a la filtración, se realizó el proceso de precipitación a las cuatro muestras con 0,6 ml de hidróxido de amonio al 26 %, de las cuales solo el pH2-3g logró estabilizarse en un pH entre 8 y 9; las otras tres muestras se mantuvieron alrededor de un pH 6, por lo que se añadió 0,3 ml de hidróxido de amonio en intervalos de tiempo de 10 minutos junto a una agitación magnética hasta alcanzar un pH entre 8-9. Se busca la franja de pH previamente mencionada, pues en la literatura se halló que a dichos pH se dan las condiciones óptimas para la formación de hidróxido de plomo ($Pb(OH)_2$) (Constanza et al, 2018), tal y como se observa en la Figura 4:

Figura 4. Diagrama de especies de plomo en presencia de citrato de sodio. Tomado de: (Constanza et al, 2018)



La ecuación (4) representa la reacción química por la que se rige este proceso de precipitación.



244

En la Tabla 5, se muestran los datos finales de hidróxido de amonio agregado y el pH donde se estabilizó la muestra. Luego, la tabla 6 es fundamental porque entrega el porcentaje de Pb que se queda en la solución precipitada en forma de citrato de plomo (no reacciona). El porcentaje de Pb teórico para esta etapa será entonces el que representa el peso del Pb real leído en lixiviación (presentado en la Tabla 4). Si luego de precipitar, se vuelve a hacer la lectura, entonces se tendrá un porcentaje de Pb real presente en la solución y estará en forma de citrato de plomo que no se precipitó en forma de hidróxido de plomo, esto quiere decir que la resta del teórico menos lo que se quedó, dará el porcentaje de Pb transformado y con base en este, se hallan los rendimientos de la reacción.

Tabla 5. Datos de precipitación.

Muestra	Hidróxido de amonio (ml)	pH de estabilización
pH 2- 3g	0,6	8,49
pH 2- 6g	1,2	8,47
pH 5- 3g	1,2	8,53
pH 5 - 6g	2,9	8,57

Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Rendimientos etapa 2.

Muestra	% Pb Teórico (en citrato)	%Pb real (en citrato)	%Pb transformado (en hidróxido)	Rendimiento (%)
pH 2- 3g	4,27	0,152	4,12	96,44
pH 2- 6g	22,27	0,004	22,27	99,98
pH 5- 3g	32,52	0,701	31,82	97,84
pH 5 - 6g	49,59	0,714	48,87	98,56

Fuente: elaboración propia

Los resultados anteriores indican que el proceso de precipitación fue demasiado eficiente y que el hidróxido de amonio es capaz de atrapar casi en su totalidad al plomo del citrato, pues ningún rendimiento estuvo por debajo del 96 %. Esto representa un paso importante para darle continuidad al proceso y evaluar la siguiente etapa, la cual es dominada por la pirometalurgia.

3.4 Calcinación

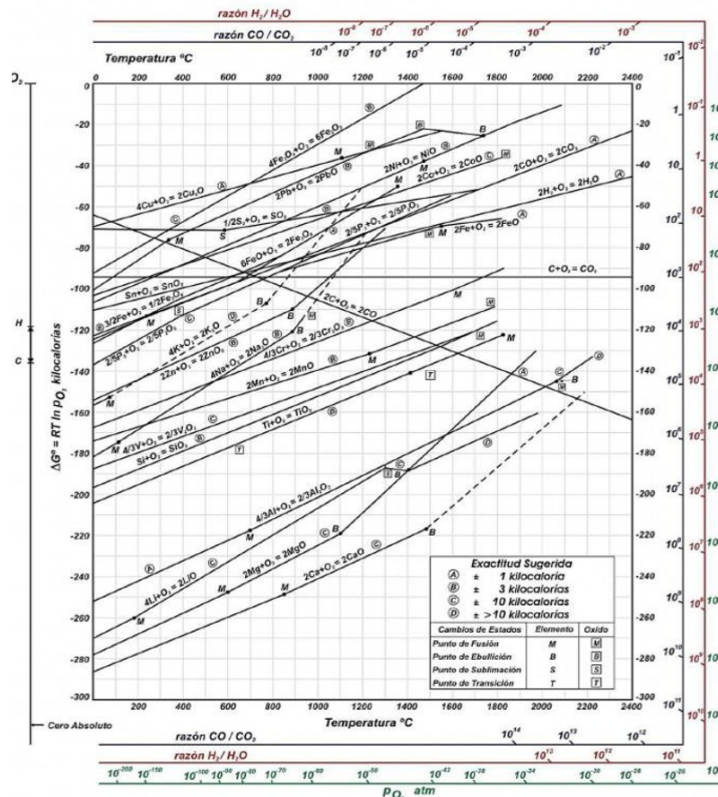
La calcinación es un proceso de calentamiento controlado que provoca una transformación química en la que los carbonatos se descomponen en óxidos metálicos y dióxido de carbono, y el agua estructural de los sólidos se elimina en forma de vapor (Restrepo, 2019).

El proceso de calcinación en esta investigación se rige por la ecuación (5):



Dicho proceso es a su vez explicado por el Diagrama de Ellingham, el cual se trata de una gráfica de estabilidad de formación de óxidos metálicos o no metálicos regido principalmente por la energía libre de Gibbs, la temperatura y, en algunos casos, la presión parcial de los gases presentes, cuya finalidad en la metalurgia es la de comparar las especies que puedan fácilmente reducir a otras especies oxidadas (Quiroz, 2024). A continuación, en la Figura 5 se puede observar:

Figura 5. Diagrama de Ellingham para algunos óxidos.



Fuente: Quiroz (2024).

Como bien se sabe, a partir de los 373.15 K (100°C) a una atmósfera, el agua ebulle pasando de su estado líquido a su estado gaseoso. Dicho compuesto se encuentra presente en los productos de la *ecuación (5)*. A su vez, se observa que para una temperatura de 600 °C, a la cual se realizó la calcinación de las Tabla 8. Análisis de plomo en el calcinado muestras, la formación del litargirio se da de manera espontánea ($\Delta G^\circ \approx -280 \text{ kJ/mol}$), además de que no todo el oxígeno presente en el hidróxido de plomo formó vapor de agua, sino que parte de dicho elemento participó en la oxidación del plomo presente. Finalmente, es interesante ver que, a 600°C, como muestra, la formación de vapor de agua antecede a la del litargirio, corroborando el orden de reacción planteado.

En la Tabla 7, se muestra el peso de los filtros secos correspondientes a cada ensayo antes de la calcinación y los pesos resultantes después de realizar el proceso.

Tabla 7. Datos proceso de calcinación

Ensayo	Pre - Calcinación (g)	Post - Calcinación (g)
pH 2-3g	2,0217	0,6718
pH 2-6g	2,0873	0,5968
pH 5-3g	2,0620	0,7373
pH 5-6g	1,9374	0,4648

Fuente: elaboración propia.

De cada uno de los ensayos sometidos a calcinación, se tomaron muestra y contramuestra, las cuales fueron diluidas y posteriormente sometidas a análisis por espectrofotometría de absorción atómica, dando como resultado la concentración en peso de plomo en cada ensayo, presentadas en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis de plomo en el calcinado

Ensayo	Muestra (mg)	Lectura Pb (mg)	Contramuestra (mg)	Lectura Pb (mg)
pH 2-3g	22,2	0,45	22,4	0,46
pH 2-6g	22,5	12,93	22,1	15.96
pH 5-3g	24,2	2,06	24,7	2,32
pH 5-6g	25,1	3,90	25,0	3,90

Fuente: elaboración propia

A continuación, en la Tabla 9, con estos datos se pueden calcular las lecturas promedio y con ayuda de la ecuación (5) determinar cuánto PbO (en g) se tiene teóricamente para cada muestra proveniente del hidróxido de plomo, y luego, compararlo con el peso del Pb realmente leído y obtener un rendimiento de dicho proceso.

Tabla 9. Rendimiento del proceso de calcinación

Ensayo	Pb(OH) ₂ (g)	PbO (g)	Lectura Promedio (%)	Pb teórico (g)	Pb real (g)	Rendimiento (%)
pH 2-3g	2,244	1,93	2,04	1,93	0,04	2,20
pH 2-6g	4,488	3,86	64,78	3,86	2,69	69,78
pH 5-3g	2,244	1,93	8,96	1,93	1,86	96,69
pH 5-6g	4,488	3,86	15,57	3,86	0,65	16,77

Fuente: elaboración propia

Este proceso, a diferencia de los demás, no mostró un patrón claro en el comportamiento, sin embargo, sugiere una eficiencia alta a condiciones de pH 5, mostrando que casi el 97 % del Pb asociado al hidróxido calcinado es realmente reducido a óxido.

Para tener una idea clara de cuáles son las mejores condiciones, se debe evaluar el rendimiento global de todo el proceso metalúrgico, esto se puede hallar como sigue:

$$R_{global} = R1 * R2 * R3 \quad (6)$$

Donde:

R1 = Rendimiento en lixiviación

R2 = Rendimiento en Precipitación

R3 = Rendimiento en Calcinación

Los resultados finales se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Rendimiento durante el proceso metalúrgico

Ensayo	Rendimiento global (%)
pH 2-3g	0,1
pH 2-6g	25,0
pH 5-3g	49,5
pH 5-6g	13,2

Fuente: elaboración propia.

De esta forma, si bien los análisis de los calcinados revelaron una concentración de plomo en peso superior en las muestras de seis tratadas a pH 2, al momento de evaluar la eficiencia en general, la que presentó un mejor comportamiento no solo durante toda la etapa, sino también durante todo el proceso de investigación, fue la muestra de 3 gramos en condiciones de pH5.

4. IMPLICACIONES PRÁCTICAS

La recuperación de litargirio a partir de desechos de copelación con el fin de ser reintegrado al proceso, representa un avance significativo para el sector minero y la sociedad, pues este ciclo cerrado no sólo reduce la demanda de materia prima virgen, sino que también minimiza la generación de residuos y disminuye la huella ambiental asociada a la actividad minera. Poder recuperar el litargirio de estos desechos e implementarlo de nuevo al proceso de donde proviene permitiría a las empresas optimizar el uso del recurso, el proceso productivo y la disminución de costos al evitar la compra nueva del total de litargirio necesario, mitigando en parte el cambio de precio de dicho material por fluctuaciones. Además, la implementación de este proceso generaría una mejor imagen de la empresa ante la sociedad, pues se contribuiría a una minería responsable y respetuosa que promueve la economía circular y minimiza su impacto ambiental.

Los resultados de la Tabla 9 son muy importantes porque se observa que el rendimiento en esta etapa coincide con el porcentaje de recuperación de plomo, dado que estas son las cantidades de plomo que tienen las copelas realmente al inicio del proceso (ver Tabla 3), lo que quiere decir que industrialmente se podrían obtener recuperaciones de hasta el 96,7 % para pH 5 y de hasta 69,8 % para pH2, lo que representa un hecho trascendental para la sostenibilidad del sector minero-metalúrgico y el tratamiento de estos residuos peligrosos intoxicados con plomo.

Realizando un análisis para el instituto de minerales CIMEX en donde se desechan en promedio 1400 kg de copelas anuales, de las cuales 899.5 kg de su contenido en peso es plomo (de acuerdo con la caracterización inicial), si se llevara a cabo el proceso implementado en la muestra pH5-3g, en la que se obtuvo un rendimiento del 96,7 % en el proceso de calcinación, se podrían recuperar 869.8kg anuales de litargirio que pueden ser reintegrados al proceso en su función inicial como fundente. Esto permitiría fundamentalmente reducir los desechos generados en un 62,13 % y disminuir las implicaciones ambientales que este conlleva, además de reducir los costos futuros por adquisición de litargirio para la realización del ensayo al fuego.

Puntualmente, en Brasil se llevan a cabo 1.5 millones de ensayos al fuego anuales, en donde 330 toneladas corresponden a desechos con contenido en plomo (Magalhães et al, 2012). Si se asume que el contenido de plomo en dichos desechos es del 62 % y que dichos residuos presentaran una caracterización similar a la realizada en el documento, se tendría 204.6 toneladas de plomo de las cuales, si se implementara el proceso de la muestra de pH 5-3g, se recuperarían 197.85 toneladas de litargirio que podría volver a entrar al proceso de ensayo al fuego de dichas empresas permitiéndoles reducir costos por adquisición de litargirio y reducción de residuos a los que se les deba hacer una disposición correspondiente.

250

5. CONCLUSIONES

- En este estudio se demuestra la efectividad de un enfoque hidrometalúrgico para la recuperación de plomo a partir de copelas, un residuo significativo del ensayo al fuego, utilizando soluciones buffer para mantener un nivel de pH 5. Estas soluciones se presentan como una propuesta de profundización importante para futuras investigaciones que promuevan procesos más limpios en el sector minero- metalúrgico.
- La investigación identificó que las mejores condiciones para la lixiviación de plomo proveniente de las copelas se dan cuando se trabajan a pH 5 durante un tiempo de dos horas y un peso de muestra de 3 gramos. Estas condiciones no solo maximizaron la cantidad de plomo disuelto, sino que también optimizaron la relación entre el tiempo del proceso y su rendimiento a nivel global.
- A través del proceso descrito, se ha logrado recuperar hasta el 96.7 % del plomo contenido en las copelas. Esto no solo optimiza el uso de los materiales, sino que también reduce significativamente el impacto ambiental asociado con la eliminación

de residuos contaminados. La implementación de este proceso a escala industrial podría transformar la gestión de residuos en la minería y la metalurgia.

De este modo, la investigación realizada aporta un análisis general de los modelos hidrometalúrgicos que gobiernan la lixiviación del plomo en un medio levemente ácido, sin embargo, se propone a la comunidad científica abordar la investigación desde modelos económicos para analizar su viabilidad a escala industrial y complementarla con otras condiciones hidrometalúrgicas, tales como el orden de la reacción, la etapa de la reacción dominante y la cinética química a diferentes temperaturas, con el fin de caracterizar detalladamente el comportamiento y realizar una contribución sólida y trascendental al campo de la hidrometalurgia contemporánea.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Colombia por ofrecer un entorno académico enriquecedor y brindar la oportunidad de pertenecer a esta comunidad. También extienden sus agradecimientos al Instituto Minerales CIMEX por permitir el acceso a sus instalaciones y recursos, los cuales han sido esenciales para llevar a cabo esta investigación. Finalmente, se agradece a los docentes Oscar Jaime Restrepo Baena y Néstor Ricardo Rojas Reyes, cuyas enseñanzas, disposición y constante estímulo, han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

251

7. REFERENCIAS

- Chucos, R., & Espinoza, Y. (2016). Influencia del pH y la concentración del ácido cítrico en la recuperación de cobre mediante lixiviación por agitación de minerales oxidados de tipo cuprita.
- Constable, P. D. (2014). Acid-base assessment: when and how to apply the Henderson-Hasselbalch equation and strong ion difference theory. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 30(2), 295-316.
- Constanza Villa, L., Saldarriaga Agudelo, W., & Ricardo Rojas, N. (2018). Estudio termodinámico de la lixiviación de plomo reciclado con citrato de sodio. 9(2).
- Del Carmen, R. R. S., & Graciela, R. C. (2015). Microescala en química analítica
- Eleanor, F. Z. M. (2020, 8 enero). Evaluación del proceso de recuperación de sales de plomo de copelas usadas en la industria minera

- Estévez Alvarez, J. R., Montero, A. A., Jiménez, N. H., Muñiz, U. O., Padilla, A. R., Molina, R. J., & Quicute de Vera, S. (2001). Nuclear and related analytical methods applied to the determination of Cr, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in a red ferralitic soil and Sorghum samples. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 247, 479-486.
- Hardie, M. (2024). Buffers Through Time: How Buffers Progress Alongside Research. Article. *Gol-Bio*.
- Herrera, D. (2016). *Hidrometalurgia química e ingeniería*. Ediciones Gráficas EIRL. Instituto de ingenieros de minas del Perú.
- Hoffman, E. L., Clark, J. R., & Yeager, J. R. (1998). Gold analysis-fire assaying and alternative methods. *Exploration and Mining Geology*, 7(1-2), 155-160.
- Kim, W. J., Seo, S., Lee, S. I., Kim, D. W., & Kim, M. J. (2021). A study on pyro-hydrometallurgical process for selective recovery of Pb, Sn and Sb from lead dross. *Journal of Hazardous Materials*, 417, 126071.
- Magalhães, F. B., de Freitas Carvalho, C., Corrêa Netto Carvalho, E. L., Yoshida, M. I., & Gouvêa dos-Santos, C. (2012). Rendering wastes obtained from gold analysis by the lead-fusion fire-assay method non-hazardous. *Journal of Environmental Management*, 110, 110-115.
- Ma, E. (2019). Recovery of waste printed circuit boards through pyrometallurgy. *Electronic waste management and treatment technology*, 247-267.
- Mihajlović, A., Ančič, Z., Korać, M., & Kamberović, Ž. (2014). Positive synergistic effect of the reuse and the treatment of hazardous waste on pyrometallurgical process of lead recovery from waste lead-acid batteries. *Metallurgical and Materials Engineering*, 20(3), 171-182.
- Mosquera, J. T., & Bautista, F. M. (2005). Exposición ocupacional a plomo: aspectos toxicológicos. *Avances en enfermería*, 23(1), 31-44.
- Quiroz, S. M. (2024). *Termodinámica. Diagramas de Ellingham*. Scribd.
- Raghavan, R., Mohanan, P., & Swarnkar, S. (2000). Hydrometallurgical processing of lead-bearing materials for the recovery of lead and silver as lead concentrate and lead metal. *Hydrometallurgy*, 58(2), 103-116.
- Restrepo, O. J., Campos, A., & Escobar, S. (2019). *Notas de clase de la asignatura: Metalurgia Extractiva*.
- Rivera Blas, I. R., & Ybañez Ordonio, C. J. (2016). Influencia de la concentración del ácido cítrico y pH en la lixiviación de copelas usadas, la densidad de corriente y distancia de electrodos en la electrodeposición del plomo lixiviado.

- Rosell Gutiérrez, M. D. F., & Calderón Velasco, G. E. (2014). Recuperación de plomo, a partir de copelas empleadas en el proceso de análisis de oro por el método Fire Assay, en la Empresa Century Mining Perú SAC y escalamiento del proceso.
- Ruşen, A., Sunkar, A., & Topkaya, Y. (2008). Zinc and lead extraction from Çinkur leach residues by using hydrometallurgical method. *Hydrometallurgy*, 93(1-2), 45-50.
- Soundarrajan, C., Sivasankar, A., Maruthamuthu, S., & Veluchamy, A. (2012). Improved lead recovery and sulphate removal from used lead acid battery through Electrokinetic technique. *Journal of Hazardous Materials*, 217-218, 452-456.
- StudySmarte. (2024). Principio de Le Chatelier: Ley y factores.
- Universidad Iberoamericana. (2003). Tablas de constantes de química analítica.
- Zapata, N., Copete, H., López, M. E., & Chanci, R. D. (2015). Comparación entre el ensayo al fuego y conteo de partículas en la determinación del tenor de oro aluvial. *Revista Colombiana de Materiales*, 6, 69-78.

