

- Reconocimiento automático de gestos de la mano a partir de señales de electromiografía de superficie multicanal mediante modelos de ML y DL.
- Matemáticas, poder y exclusión en la universidad: un análisis del discurso pedagógico y su impacto en la permanencia estudiantil.
- Cambio climático: ¿cuál es la responsabilidad de la educación superior en Colombia?
- Efecto de la fibra de coco en propiedades mecánicas de suelos A-4.
- Energía nuclear en Colombia: una alternativa hacia la sustitución futura de otras fuentes energéticas.
- La estrategia de sostenibilidad soportada en datos maestros en el desempeño ESG del sistema financiero colombiano.
- Funes The Memorious, Aura and House Taken Over: a critical glimpse into our technologically oriented present through the lenses of Latin American literature.



CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

PRESIDENTE JAVIER BOTERO ÁLVAREZ

VOCALES SANDRA XIMENA CAMPAGNOLI MARTÍNEZ
MANUEL GARCÍA LÓPEZ
GONZALO JIMÉNEZ ESCOBAR
MARÍA DEL ROSARIO MONTEJO PERRY
ARMANDO PALOMINO INFANTE
RICARDO QUINTANA SIGHINOLFI
RICARDO SALAZAR FERRO
MARIANA SANDINO ULLOA
JAIRO URIBE ESCAMILLA
JORGE ENRIQUE CLAVIJO RAMÍREZ
(representante de los profesores)
DAVID STEVEN OCHOA VÉLEZ
(representante de los estudiantes)

RECTORA MYRIAM ASTRID ANGARITA GÓMEZ

SECRETARIA GENERAL PATRICIA SALAZAR PERDOMO

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
N.º 138 - mayo-agosto de 2025 - Cuatrimestral - Bogotá, Colombia
ISSN 3114-9081 (en línea)

DIRECTORA PhD. ING. MÓNICA MARCELA SUÁREZ PRADILLA

COMITÉ EDITORIAL PhD. ING. LUIS DANIEL BENAVIDES NAVARRO
PhD. ING. GERALD A. CORZO PÉREZ
(Profesor Asociado IHE Delft, Países Bajos)
PhD. ING. JUAN NICOLÁS GONZÁLEZ SARMIENTO
(Postdoctoral Research KAPSARC, Arabia Saudita)
PhD. ING. ANDRÉS FELIPE GUZMÁN
(Investigador Senior. KAPSARC, Arabia Saudita)
PhD. ING. LORENA REYES-RUBIANO
(Postdoctoral Researcher, RWTH Aachen University, Alemania)

DIRECCIÓN EDITORIAL CRISTINA SALAZAR PERDOMO

EDICIÓN **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**
JORGE CAÑAS SEPÚLVEDA

CORRECCIÓN DE ESTILO
ELKIN RIVERA GÓMEZ

TRADUCCIÓN Y CORRECCIÓN DE ESTILO EN INGLÉS
DAVID PEÑA CITA

DIRECCIÓN COMERCIAL EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Versión digital disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

AUTOPISTA NORTE AK 45 # 205-59
TEL.: (60-1) 668 3600, EXT. 533
revista@escuelaing.edu.co
BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA

LA ESCUELA Y LA REVISTA NO SON RESPONSABLES DE LAS IDEAS Y CONCEPTOS EMITIDOS POR LOS AUTORES DE LOS TRABAJOS PUBLICADOS.
SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE LOS ARTÍCULOS DE LA REVISTA SI SE CITAN LA FUENTE Y EL AUTOR.

5-7 / EDITORIAL

Mónica Marcela Suárez Pradilla

9-19

Reconocimiento automático de gestos de la mano a partir de señales de electromiografía de superficie multicanal mediante modelos de ML y DL

Sara Valentina Hernández Salazar - Javier Alberto Chaparro Preciado

Jenny Carolina Castiblanco Sánchez

El objetivo de esta revisión es analizar los avances recientes y los retos técnicos asociados al HGR, considerando el flujo típico de estos sistemas: adquisición de datos, preprocesamiento, extracción de características y clasificación. Se abordan técnicas tradicionales de machine learning (ML) como máquinas de soporte vectorial (SVM), K-vecinos cercanos (KNN) y random forest, así como enfoques de deep learning (DL), entre estos redes neuronales convolucionales (CNN) y modelos híbridos.

21-29

Matemáticas, poder y exclusión en la universidad: un análisis del discurso pedagógico y su impacto en la permanencia estudiantil

Laura Valentina Hernández Díaz – Nora Yamile Rojas Cataño

En este artículo se analiza la relación entre el discurso en las clases de matemáticas y la deserción estudiantil en el programa de Matemáticas de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Se desarrolló un estudio cualitativo, con enfoque sociocrítico, a partir de entrevistas semiestructuradas hechas a dos profesores, un estudiante activo y un estudiante desertor.

31-37

Cambio climático: ¿cuál es la responsabilidad de la educación superior en Colombia?

Juan Antonio Acosta Gempeler

En el texto se plantean recomendaciones para transformar la educación superior hacia modelos de enseñanza más responsables con la sostenibilidad y el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), al tiempo que se destaca el papel estratégico de las universidades como agentes de cambio frente a la crisis climática.

39-53

Efecto de la fibra de coco en propiedades mecánicas de suelos A-4

Miguel Ángel Brindis Teratol - Edwin Giovanni Hormaza Guevara

La estabilización de suelos con fibras naturales representa una alternativa sostenible a los métodos químicos tradicionales, ofrece beneficios ambientales mientras mantiene efectividad técnica (Medina-Martínez et al., 2022). Entre las fibras disponibles, la fibra de coco tiene propiedades mecánicas favorables y se produce abundantemente en regiones tropicales (Asha'ari et al., 2022), aunque en pocas investigaciones se ha abordado su aplicación en suelos A-4.

55-64

Energía nuclear en Colombia: una alternativa hacia la sustitución futura de otras fuentes energéticas

María Constanza Torres Tamayo - Diego Alejandro Díaz Acosta - Álvaro Hernando Chaves Castro

En este artículo se explora la viabilidad de incorporar la energía nuclear como alternativa estratégica para diversificar la matriz y fortalecer la seguridad energética del país, ante los crecientes desafíos derivados del cambio climático y la variabilidad climática que afecta la generación hidroeléctrica, que en el año 2024 representó el 64 % de la matriz energética en Colombia.

65-74

La estrategia de sostenibilidad soportada en datos maestros en el desempeño ESG del sistema financiero colombiano

Andrés Felipe Cañón Moreno - Fabiola del Toro Osorio

La necesidad de aportar a la transformación del sistema financiero ha requerido desarrollar nuevas perspectivas y combinarlas con el empleo de nuevas tecnologías. En este sentido, es importante reconocer cómo el uso de los datos se puede combinar con un nuevo motivador de cambio como la sostenibilidad para extender el impacto de la banca a la sociedad.

75-84

Funes The Memorious, Aura and House Taken Over- a critical glimpse into our technologically oriented present through the lenses of Latin American literature

José Camilo Vásquez Caro

In this brief text I will explore and connect three elements that seem to have no relation with the dynamic and information technologically oriented world we live in today. I believe that these apparent irrelevant and disengaged elements are essential in the formation and education of present-day digital humans and learners.

85 / ALCANCE Y POLÍTICAS

Editorial

MÓNICA MARCELA SUÁREZ PRADILLA

PhD. M.Sc. Gestión y Valoración Urbana de la Universidad Politécnica de Cataluña. Ing. Civil de la Universidad Nacional de Colombia. Profesora del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

monica.suarez@escuelaing.edu.co

El acelerado crecimiento tecnológico, la producción constante de información, la urgencia climática y la necesidad de innovaciones que respondan a desafíos humanos complejos hacen que la universidad, hoy más que nunca, sea un espacio esencial para pensar, crear y transformar. La inmediatez de las decisiones y soluciones genera que los datos se multipliquen y que las narrativas se superpongan, lo cual transforma la manera como recordamos, el modo en que interpretamos lo que nos rodea y la forma en que construimos nuestras propias certezas, en medio de tanta información disponible.

Los problemas ambientales son cada vez más evidentes, nos afectan directamente y dejan en evidencia las vulnerabilidades del territorio, lo que exige transformaciones más profundas a los sistemas naturales y nos recuerda que la infraestructura que sostiene nuestra vida cotidiana requiere miradas más responsables, más sensibles y, sobre todo, más integrales. Ya no basta con innovar por el simple impulso de hacerlo; necesitamos soluciones que valoren la vida, reconozcan los límites del planeta y se orienten por principios de ética, justicia y sostenibilidad.

En este escenario, la universidad no se puede limitar a ser un centro de transmisión de conocimientos, sino todo lo contrario; debe ser un lugar donde se cuestiona, se discute, se generan opciones y se construyen respuestas colectivas a los desafíos contemporáneos. Es decir, un espacio en el que se combina la rigurosidad académica con la sensibilidad humana y donde se forman profesionales capaces de pensar críticamente,

pero también de sentir, de escuchar, de interpretar el mundo de manera amplia y compleja.

En ese orden de ideas, la ingeniería, además de dimensión técnica, se debe convertir en un territorio donde convergen la reflexión ética, la sensibilidad social y la responsabilidad ambiental. Hoy, quien ejerce la ingeniería en cualquiera de sus áreas sabe que cada decisión técnica tiene un efecto real en la vida de las personas, en los ecosistemas, en las ciudades y en todos los escenarios futuros posibles. Diseñar, modelar, simular o proyectar implica asumir que toda solución técnica es también una postura frente al mundo; por esto, la ingeniería es un puente que une lo técnico con lo humano, lo objetivo con lo sensible y lo local con lo global.

Así las cosas, la universidad no solo proporciona herramientas para resolver problemas, sino también contribuye a formar sujetos con una mirada crítica, que piensan con perspectiva, que actúan con coherencia y que son conscientes de que vivimos un momento histórico que requiere nuevas formas de comprender y de intervenir la realidad. Hoy se necesitan ingenieros y profesionales que lean el territorio, que comprendan la diversidad social, que integren la sostenibilidad como principio y que imaginen soluciones que sean tan rigurosas como humanas.

En este número de la *Revista de Ingeniería* se reúnen siete trabajos que, aun partiendo de diferentes áreas del conocimiento, convergen de manera natural en una misma preocupación: comprender cómo nos formamos, cómo habitamos el entorno, cómo nos relacionamos

con la tecnología y cómo proyectamos escenarios futuros posibles. En la presente edición identificamos tres enfoques particulares del contenido: formación, subjetividad y lectura crítica en la universidad; sostenibilidad, territorio y responsabilidad institucional, e innovación tecnológica orientada al bienestar humano.

Para el primer enfoque, el recorrido comienza con una reflexión que sitúa la formación universitaria en una perspectiva humanística necesaria para comprender el presente digital. En el artículo “Funes the Memorious, Aura and House Taken Over” se propone que conceptos como memoria, historia y conciencia resultan esenciales para formar a los estudiantes de hoy, quienes navegan entre la fragmentación informativa y la velocidad de lo efímero. En un contexto saturado de datos, esta lectura invita a recuperar herramientas críticas que permitan interpretar el mundo con lucidez y responsabilidad, reflexión que encuentra continuidad en el análisis sobre cómo los discursos en las clases de matemáticas influyen en la permanencia estudiantil.

“Matemáticas, poder y exclusión en la universidad” es un artículo en el que se revela que la percepción de exclusión, la carga simbólica asociada a la disciplina y el trato diferenciado según el rendimiento afectan la autoestima académica y la decisión de continuar los estudios o abandonarlos. En ambos trabajos se muestra que la formación en ingeniería no se puede separar de la construcción de sentido, de la subjetividad y de las dinámicas simbólicas del aprendizaje.

Este marco formativo abre paso de manera orgánica a reflexiones sobre sostenibilidad y territorio, al tiempo que nos recuerda que el conocimiento técnico debe dialogar permanentemente con las transformaciones ambientales. En el artículo “Cambio climático: ¿cuál es la responsabilidad de la educación superior en Colombia?”, se advierte que las universidades, al fragmentar el conocimiento y priorizar la especialización, han debilitado su capacidad de articular la ciencia, la ética y la conciencia ecológica. La crisis climática exige modelos de enseñanza que involucren no solamente a estudiantes o académicos, sino también a todos los actores sociales en la investigación; además, muestra la importancia de implementar currículos más integrales con una visión que conecte lo académico con la vida social y ambiental de los territorios.

Esta mirada institucional encuentra un contrapeso práctico en el trabajo “Efecto de la fibra de coco en

propiedades mecánicas de suelos A-4”, en el que se estudia la estabilización de suelos mediante fibra de coco. En los resultados se pueden apreciar incrementos notables en resistencia y elasticidad, lo que demuestra que la innovación sostenible no es un ideal abstracto, sino una técnica viable y necesaria. Ingeniería, medio ambiente y pertinencia territorial se entrelazan para mostrar que las soluciones contemporáneas se deben guiar por criterios de bajo impacto, eficiencia y respeto por los ecosistemas.

Esta preocupación por el bienestar y las futuras formas de vida se proyecta con especial fuerza en dos artículos: “Energía nuclear en Colombia: una alternativa hacia la sustitución futura de otras fuentes energéticas” y “La estrategia de sostenibilidad soportada en datos maestros en el desempeño ESG del sistema financiero colombiano”. En el primero se explora el potencial de los reactores modulares pequeños (SMR, por su sigla en inglés) en un contexto en el que la variabilidad climática afecta cada vez más la generación hidroeléctrica; es decir, se analiza la viabilidad estratégica de diversificar la matriz energética y se señala que es necesario incluir la energía nuclear, mientras que en el otro se examina el valor económico del ahorro en emisiones, el marco normativo reciente y los aprendizajes de países pioneros para generar un sistema bancario sólido, soportado en datos que faciliten la toma de decisiones en materia de sostenibilidad al país.

La línea que une formación crítica, sostenibilidad y responsabilidad institucional continúa naturalmente hacia la innovación tecnológica orientada al bienestar humano. En el artículo “Reconocimiento automático de gestos de la mano a partir de señales de electromiografía de superficie multicanal mediante modelos de ML y DL”, que aparece en esta edición, se revisan los avances en el reconocimiento de gestos de la mano mediante señales de electromiografía de superficie, un campo que combina ingeniería biomédica, inteligencia artificial y diseño inclusivo. Las técnicas de *machine learning* y *deep learning*, junto al análisis de retos como la variabilidad intersujeto o la necesidad de bases de datos más robustas, muestran cómo la tecnología puede ampliar capacidades humanas y crear nuevas formas de interacción, en especial para personas con discapacidades o necesidades de rehabilitación.

Finalmente, estos siete artículos evidencian que la ingeniería es un campo que se transforma cuando se

entiende como parte de una estructura social, cultural, ambiental y tecnológica. La formación crítica que se propone desde la literatura y la pedagogía encuentra continuidad en la responsabilidad ambiental, y ambas, a su vez, desembocan en innovaciones que buscan sostenibilidad energética y bienestar humano. No se trata de temas aislados, sino de un marco intelectual en el que cada artículo responde un aspecto distinto de una misma pregunta: ¿cómo deben responder la ingeniería y la universidad a los desafíos contemporáneos?

En el presente número se sostiene que la respuesta pasa por integrar sensibilidad humanística, rigor científico, conciencia ambiental y apertura tecnológica. Al hacerlo, se reafirma la misión de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito de formar profesionales capaces de pensar críticamente, transformar su entorno y proyectar soluciones responsables para un país que necesita imaginación, conocimiento y compromiso.

Reconocimiento automático de gestos de la mano a partir de señales de electromiografía de superficie multicanal mediante modelos de ML y DL

Automated hand gesture recognition from multichannel surface electromyography signals through ML and DL models

SARA VALENTINA HERNÁNDEZ SALAZAR¹ - JAVIER ALBERTO CHAPARRO PRECIADO²
JENNY CAROLINA CASTIBLANCO SÁNCHEZ³

1. Estudiante de maestría en Ingeniería Electrónica, Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, DOI 0009-0006-6270-2536.

2. Ph.D. en Ingeniería Biomédica, Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, DOI 0000-0001-7078-3213.

3. Ph.D. en Ingeniería, Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, DOI 0000-0001-7224-2664.

sara.hernandez@mail.escuelaing.edu.co - javier.chaparro@escuelaing.edu.co -
jenny.castiblanco@escuelaing.edu.co

Recibido: 20/02/2025 Aceptado: 31/03/2025

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

El reconocimiento de gestos de la mano (HGR, por su sigla en inglés) a partir de señales de electromiografía de superficie (sEMG) se ha consolidado como una línea de investigación de gran interés en los ámbitos biomédico y tecnológico, debido a su potencial aplicación en prótesis, rehabilitación y control de dispositivos inteligentes. El objetivo de esta revisión es analizar los avances recientes y los retos técnicos asociados al HGR, considerando el flujo típico de estos sistemas: adquisición de datos, preprocesamiento, extracción de características y clasificación. Se abordan técnicas tradicionales de machine learning (ML) como máquinas de soporte vectorial (SVM), K-vecinos cercanos (KNN) y random forest, así como enfoques de deep learning (DL), entre estos redes neuronales convolucionales (CNN) y modelos híbridos. Igualmente, se discuten los principales desafíos del área, entre los cuales se destacan la variabilidad intersujeto, la falta de bases de datos etiquetadas y la robustez de los modelos en entornos reales. Esta revisión contribuye a identificar vacíos de investigación y orientaciones

futuras para el desarrollo de sistemas de HGR más robustos, accesibles y generalizables.

Palabras claves: electromiografía de superficie, reconocimiento de gestos de la mano, machine learning, deep learning.

Abstract

Hand gesture recognition (HGR) based on surface electromyography (sEMG) signals has established itself as a line of research of great interest in the biomedical and technological fields, due to its potential application in prosthetics, rehabilitation, and the control of smart devices. This review analyzes recent advances and technical challenges associated with HGR, considering the typical flow of HGR systems: data acquisition, preprocessing, feature extraction, and classification. Traditional machine learning (ML) techniques such as Support Vector Machine (SVM), k-nearest neighbors (KNN), and Random Forests are addressed, as well as deep learning (DL) approaches, including Convolutional Neural Network (CNN) and hybrid models. It also discusses

the main challenges in the field, including inter-subject variability, the lack of labeled databases, and the robustness of models in real-world environments. This review identifies research gaps and future directions for developing more robust, accessible, and generalizable HGR systems.

Keywords: surface electromyography; hand gesture recognition; machine learning; deep learning.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de asistencia, como prótesis, sillas de ruedas, robots de asistencia social y exoesqueletos, se han desarrollado para mejorar la funcionalidad motora de personas con discapacidad (Hu et al., 2018). Estas soluciones no solo han revolucionado la manera en que las personas con limitaciones motoras interactúan con su entorno, sino que les ha permitido recuperar funciones esenciales y participar activamente en sus actividades diarias (Carver et al., 2015). En este contexto, uno de los principales retos en el campo de las tecnologías asistivas es lograr una comunicación eficaz entre el usuario y el dispositivo, lo que ha impulsado el desarrollo de sistemas de reconocimiento de gestos de la mano (HGR, por su sigla en inglés) basados en señales de electromiografía de superficie (sEMG), cuyo objetivo es traducir la actividad muscular en comandos de control intuitivos (Mohamed et al., 2021).

La mano humana es un foco de interés en el reconocimiento de gestos debido a su complejidad anatómica y su capacidad para ejecutar movimientos finos y precisos (Guo et al., 2021). A diferencia de otros métodos de grabación de movimiento, las señales sEMG ofrecen una opción no invasiva para captar la intención motora del usuario (Jaramillo-Yáñez et al., 2020). De esta manera, los sistemas HGR permiten interpretar y clasificar movimientos estáticos o dinámicos de las manos a partir de datos eléctricos generados por la actividad muscular, pero no solo buscan replicar los movimientos de la extremidad en aplicaciones protésicas, sino que también tienen aplicaciones en rehabilitación, control de dispositivos inteligentes y realidad aumentada (Jiang et al., 2022). En este sentido, el reconocimiento automático de gestos de la mano ha cobrado gran relevancia en los últimos años debido a su potencial impacto en la interacción hombre-máquina y en el desarrollo de tecnologías de asistencia más intuitivas y eficientes (Li et al., 2021).

Entre las técnicas utilizadas para la clasificación de gestos, la sEMG se destaca por su naturaleza no inva-

siva y su capacidad para registrar las señales eléctricas generadas por la actividad muscular en la piel (Li et al., 2021). Sin embargo, a pesar de su potencial, la implementación de sistemas de HGR basados en sEMG precisos, robustos y generalizables sigue representando desafíos técnicos y científicos, debido a factores como la alta dimensionalidad de las señales, la variabilidad entre usuarios y la necesidad de mejorar la estabilidad de los modelos ante diferentes condiciones de uso (Jochumsen et al., 2018).

La bibliografía previa evidencia limitaciones en la disponibilidad de bases de datos grandes y estandarizadas, la falta de consenso en los protocolos experimentales y la escasa generalización de los modelos en escenarios reales, no solamente con sujetos sanos sino con sujetos en condición de discapacidad, lo que revela vacíos importantes que se busca analizar en esta revisión.

En consecuencia, el presente artículo tiene como propósito revisar y organizar los avances recientes en el reconocimiento de gestos de la mano basado en señales sEMG, mediante la identificación de los principales enfoques, desafíos y tendencias actuales. Este artículo de revisión se estructura en cuatro secciones: en la primera se describe la metodología de búsqueda, en la segunda se presenta el estado del arte, en la tercera se discuten los principales hallazgos, y en la última se exponen las conclusiones y líneas futuras.

METODOLOGÍA

En la construcción de este artículo de revisión se siguió un enfoque sistemático. En primera instancia, se consultaron bases de datos indexadas y reconocidas a escala internacional, tales como Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink y PubMed.

La búsqueda se realizó empleando un conjunto de palabras claves en inglés, tales como *surface electromyography*, *hand gesture recognition*, *machine learning* y *deep learning*. Estas palabras se combinaron mediante operadores booleanos (AND, OR) con el objetivo de ampliar o restringir los resultados según cada necesidad de análisis.

El rango temporal definido para la búsqueda fue 2019 a 2025 y la consulta se hizo entre octubre de 2024 y febrero de 2025, seleccionando únicamente artículos publicados en inglés en revistas indexadas o conferencias internacionales.

Posteriormente, se establecieron criterios de inclusión y exclusión. Los criterios de inclusión abarcaron estudios que:

- Presentaran desarrollos metodológicos en la adquisición, preprocesamiento, extracción de características y clasificación de señales sEMG.
- Evaluaran el desempeño de algoritmos de *machine learning* y *deep learning* en tareas de reconocimiento de gestos de la mano.
- Reportaran métricas de rendimiento (precisión, exactitud, sensibilidad, especificidad, *F1-score*, entre otras).
- Artículos de revisión que aportaran un análisis global del estado del arte en el reconocimiento de gestos mediante señales de sEMG.

Por otro lado, se excluyeron los estudios que no cumplieran con los lineamientos metodológicos establecidos, específicamente aquellos que:

- Emplearon modalidades distintas de la sEMG, como visión por computador, sensores inerciales o dispositivos ópticos.
- Se enfocaron en reconocimiento de gestos faciales o corporales, no en gestos de la mano.
- No reportaron métricas de desempeño cuantitativas (precisión, exactitud, sensibilidad, *F1-score*, etc.).
- Mostraron información incompleta o inaccesible (sin texto completo o sin datos relevantes).
- Fueron duplicados o versiones preliminares, sin revisión por pares.
- No abordaron el reconocimiento de gestos en humanos (por ejemplo, estudios en simulaciones o prótesis robóticas sin señales biológicas reales).

A continuación se presenta el diagrama de flujo Prisma, que ilustra el proceso de identificación, selección y exclusión de los estudios considerados en esta revisión (figura 1). A partir de la búsqueda inicial en las bases de datos seleccionadas, se identificó un conjunto de 77 artículos, los cuales se sometieron a un proceso de filtrado mediante los criterios de inclusión y exclusión previamente descritos. Finalmente, se seleccionaron 37 artículos que cumplieron con todos los requisitos metodológicos y temáticos establecidos para el análisis detallado.

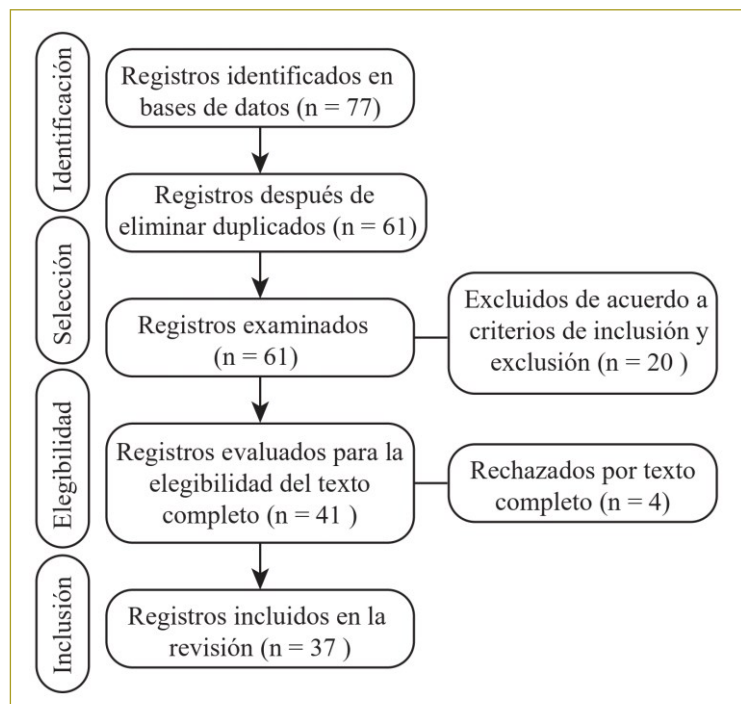


Figura 1. Diagrama Prisma para la selección de artículos.

REVISIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA (ESTADO DEL ARTE)

Electromiografía de superficie

La electromiografía (EMG) se refiere a la señal eléctrica colectiva de los músculos, controlada por el sistema nervioso y producida durante la contracción muscular. Esta señal representa las propiedades anatómicas y fisiológicas de los músculos, ya que refleja la actividad eléctrica de las unidades motoras de un músculo (Chowdhury et al., 2013). Dentro de la EMG, la electromiografía de superficie (sEMG) es una técnica utilizada para registrar esta actividad eléctrica mediante sensores colocados sobre la piel (Gómez-Correa et al., 2023). La señal de sEMG se genera a partir de la interacción entre las fibras musculares y las neuronas motoras. En estado de reposo, los músculos presentan un potencial eléctrico aproximado de -80 mV (Weiss et al., 2015).

Sin embargo, cuando se produce una contracción muscular, se generan diferencias de potencial dentro de una unidad motora (MU), que está compuesta por un grupo de fibras musculares y una neurona motora. Estas diferencias de potencial surgen cuando la neurona motora activa la unión neuromuscular, enviando señales en direcciones opuestas a través de las fibras musculares. Como resultado, la actividad eléctrica registrada por los

sensores de sEMG es la suma lineal de múltiples trenes de potenciales de acción de la unidad motora (MUAP) (Jaramillo-Yáñez et al., 2020).

Las contracciones musculares se pueden clasificar en dos clases: estáticas y dinámicas (Rani et al., 2023). En una contracción estática, las fibras musculares generan fuerza sin cambiar su longitud y sin movimiento articular. Un ejemplo de este tipo de contracción es cuando una persona mantiene la mano quieta o forma una señal de paz. En contraste, una contracción dinámica implica cambios en la longitud de las fibras musculares y movimiento en las articulaciones, como cuando alguien saluda con la mano. Estas diferencias en la naturaleza de la contracción influyen en la forma en que se registran y analizan las señales de sEMG, puesto que la actividad eléctrica varía en función del tipo de movimiento y la intensidad de la contracción muscular (Chowdhury et al., 2013).

El análisis de las señales de sEMG permite extraer características claves que ayudan a interpretar la actividad muscular. Entre estas características se encuentran el tiempo de activación, que proporciona información sobre la coordinación de los músculos durante un movimiento; la amplitud, que refleja la intensidad de la contracción muscular, y la frecuencia, cuyo análisis puede revelar signos de fatiga, temblores o trastornos neuromusculares (Zheng et al., 2022).

A pesar de sus ventajas como técnica no invasiva y de alta precisión, la adquisición de señales de sEMG se puede ver afectada por varios factores, como el método de recolección, la colocación de los electrodos y el tipo de material utilizado. Generalmente, los electrodos de sEMG se pueden disponer en configuraciones unipolares o bipolares (Stegeman y Hermens, 2007). En el caso de los electrodos unipolares, se requiere solo un sensor para registrar la señal, lo que simplifica su uso y reduce su tamaño. Por otro lado, los electrodos bipolares consisten en un par de electrodos colocados a lo largo de la dirección de las fibras musculares, lo que permite hacer una medición más precisa al minimizar el ruido y mejorar la calidad de la señal captada.

El procesamiento de las señales de sEMG es fundamental para su aplicación en diversas áreas. La adquisición de la señal puede estar contaminada por ruido proveniente del entorno, la actividad fisiológica del sujeto o el propio sistema de medición. Para mitigar estos efectos, se utilizan técnicas de preprocesamiento

que incluyen el uso de filtros específicos para eliminar interferencias y mejorar la calidad de los datos (Ni et al., 2024).

En cuanto a aplicaciones, el uso de sEMG en interfaces de rehabilitación ha permitido desarrollar sistemas que interpretan los movimientos musculares para controlar dispositivos electrónicos, mejorar la funcionalidad de prótesis y facilitar la interacción con tecnologías asistivas. Además, las señales de sEMG se han empleado en el ámbito del aprendizaje automático para diseñar modelos de reconocimiento de gestos con alta precisión, lo que abre nuevas posibilidades en aplicaciones como la realidad virtual, el control de robots y la navegación en entornos digitales (Sultana et al., 2023).

Durante décadas, la señal de sEMG se ha utilizado para predecir la intención motora del miembro superior (Li et al., 2021); por ejemplo, se ha empleado para controlar elementos como prótesis de mano, debido a que las señales sEMG registradas en músculos específicos están asociadas a los gestos de la mano y se pueden usar para controlar diversos movimientos (Lee et al., 2022).

Reconocimiento de gestos de la mano basados en sEMG

El reconocimiento de gestos de la mano (HGR) es una subárea de la visión por computador cuyo objetivo es clasificar un video, una imagen o una señal que contenga un gesto de la mano dinámico o estático (Köpüklü et al., 2019). Esta tecnología tiene una amplia gama de aplicaciones en ingeniería y dispositivos inteligentes (Kuo y Zhang, 2019).

El marco tradicional de reconocimiento de gestos basado en sEMG consta del preprocesamiento de los datos, extracción de características, selección de características y clasificación de gestos; entre estos, la extracción de características y la clasificación de gestos son dos etapas importantes (Hu et al., 2018). Por tal motivo, los investigadores se han centrado en presentar conjuntos de características en el dominio del tiempo o dominio de la frecuencia (Khushaba, 2020), así como en emplear algoritmos convencionales de *machine learning* (ML) para clasificar los gestos de la mano (Samadani y Kulic, 2014; Jaramillo-Yáñez et al., 2020). No obstante, aunque las técnicas de reconocimiento de patrones se han aplicado a la investigación de sEMG durante décadas, el *deep learning* (DL) solamente se ha aplicado en los últimos años (Li et al., 2021).

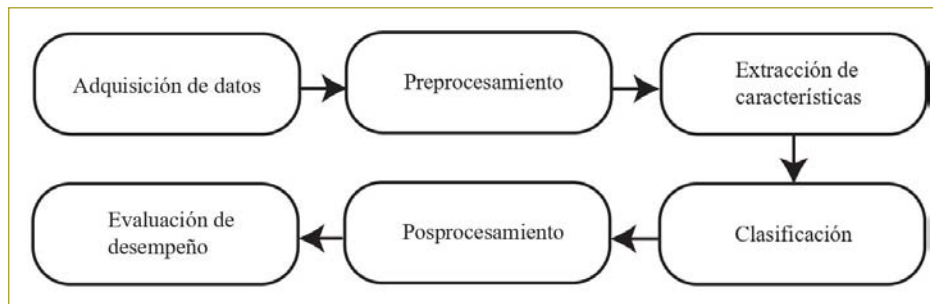


Figura 2. Diagrama de flujo para modelos de HGR.

La estructura para los modelos HGR puede variar de acuerdo con la bibliografía; sin embargo, los pasos recurrentes se explican a continuación (figura 2).

Recopilación de datos

Actualmente, la adquisición de señales de sEMG se puede hacer mediante una variedad de sensores comerciales y de desarrollo propio. Entre los dispositivos más utilizados se encuentran sistemas de alta precisión como Delsys y Telemyo, que, aun cuando son de alto costo, ofrecen características avanzadas, como la reducción de ruido y la detección de señales de múltiples canales, mientras que soluciones más accesibles, como MyoWare, que se consideran de bajo costo, permiten aplicaciones en entornos menos controlados. Cada uno de estos dispositivos opera con diferentes frecuencias de muestreo, que pueden oscilar entre 200 y 1200 Hz, dependiendo de la aplicación y de los requisitos de procesamiento de señal.

Por otro lado, existen diversas bases de datos de sEMG de libre acceso que se han usado ampliamente para el reconocimiento de gestos de la mano. Una de las más destacadas es la quinta base de datos Nii-Naprop, la cual recopila señales de diez sujetos sanos empleando dos brazaletes Thalmic Myoarmband. Este conjunto de datos se caracteriza por un protocolo experimental riguroso que abarca seis repeticiones de 52 movimientos (además de la posición de descanso), los cuales se han seleccionado tanto a partir de la taxonomía de la mano como de estudios previos en el campo de la robótica y la neurorrehabilitación (Pizzolato et al., 2017).

En cuanto al desarrollo de sistemas HGR, estos se pueden clasificar en dos enfoques principales: sistemas

individuales y sistemas generales. Los primeros están diseñados para reconocer gestos a partir de señales de un solo usuario, lo que puede optimizar el rendimiento del modelo al adaptarse a las características musculares específicas de la persona. Sin embargo, estos sistemas presentan una limitación significativa en cuanto a su generalización, ya que no suelen funcionar de manera óptima cuando se aplican a nuevos usuarios; en contraste, los sistemas generales buscan entrenar modelos con datos provenientes de múltiples individuos, lo que permite una mayor robustez y aplicabilidad en diferentes escenarios. No obstante, dicho enfoque enfrenta desafíos como la variabilidad intersujeto, la necesidad de normalización de las señales y la implementación de técnicas avanzadas de procesamiento para mejorar la capacidad de generalización del modelo (Jaramillo-Yáñez et al., 2020).

Preprocesamiento

Una vez adquiridas las señales se procede con el preprocesamiento de los datos, el cual se hace para obtener datos útiles a partir de las señales de entrada (Ma et al., 2020). Esto es necesario debido a que la señal de sEMG puede ser influida por diversos factores ambientales, la fatiga muscular, la mala colocación de los electrodos, entre otros. Para evaluar la calidad de las señales, se utiliza comúnmente la relación señal a ruido (SNR, por su sigla en inglés), que permite cuantificar la información útil que contiene la señal en comparación con el ruido presente en el sistema de medición. Se ha determinado que se requiere un SNR mínimo de 3:1 para obtener un rendimiento confiable en la descomposición de señales sEMG y en la identificación de unidades motoras (Zaheer et al., 2012).

Así mismo, una señal de sEMG con un bajo nivel de artefactos motores, producto del buen acoplamiento de los electrodos, presentaría un SNR mayor de 50 dB, mientras que una señal con un alto nivel de ruido tendría un SNR inferior a 15 dB (Sinderby et al., 1995).

Antes del reconocimiento del movimiento, se suelen emplear diversas etapas de preprocesamiento, entre las cuales se incluyen el suavizado, la normalización y la segmentación (Li et al., 2021). Sin embargo, la selección de estas etapas no es uniforme, ya que cada investigador decide cuáles incluir o excluir.

- **Suavizado:** Se realiza por medio de la rectificación y el filtrado de la señal. Para la rectificación, los métodos más utilizados en el procesamiento de señales sEMG son la rectificación de onda completa (*full-wave*) y la rectificación de media onda (*half-wave*). Mientras que la rectificación de onda completa convierte todos los valores negativos a positivos, preservando la energía de la señal, la rectificación de media onda simplemente descarta los valores negativos. Se recomienda el uso de la rectificación de onda completa, puesto que permite conservar la energía de la señal y facilita su posterior análisis (Rani et al., 2023).

Por otro lado, según el teorema de muestreo de Nyquist-Hannon, dado que aproximadamente el 95 % de la señal sEMG se encuentra concentrado en el rango de 400-500 Hz, la frecuencia de muestreo del sensor debe ser al menos el doble de la frecuencia más alta del sEMG para evitar *aliasing* y garantizar una adecuada reconstrucción de la señal. En este contexto, los filtros más comúnmente empleados incluyen filtros pasabanda en los rangos de 20-500 Hz, 10-500 Hz y 10-450 Hz, así como filtros *notch* de 50-60 Hz para eliminar interferencias de la red eléctrica (Benalcázar et al., 2017).

- **Normalización:** Las señales sEMG entre sujetos y entre sesiones presentan diferencias, para lo cual es necesario normalizar los datos. Se normaliza una señal cuando se quiere comparar con otras señales, y de este modo se escalan las señales a un nivel idéntico (Burden, 2010). Existen diversas formas de normalización, pero entre las más comunes se encuentran la normalización Min-Max (Zhang et al., 2022), que ajusta los valores a un rango específico, y la normalización Z-score (Chen et al., 2021),

que estandariza los datos en función de su media y desviación estándar.

- **Segmentación:** La segmentación consiste en detectar el gesto, es decir, la porción de la señal en la que se genera la actividad muscular, removiendo la porción donde los músculos se encuentran en reposo. Para ello, se emplea un enfoque de segmentación basado en ventanas, el cual consta de dos partes: ventanas deslizantes y ventanas solapadas. La segmentación de la señal no solo permite aislar la actividad muscular relevante, sino que también puede mejorar la precisión del clasificador, especialmente cuando se adquieren nuevos datos (Nielsen et al., 2011).

Extracción de características

Una vez realizado el preprocesamiento se continúa con la extracción de características. El objetivo de esta etapa es mejorar la diferencia entre los gestos, por lo que es una de las etapas más importantes del proceso. En ella se selecciona un conjunto de características informativas de la señal de sEMG, ya sea en el dominio del tiempo (TD), el dominio de la frecuencia (FD) o la combinación de ambos, esto es, el dominio tiempo-frecuencia (TDF) (Li et al., 2021). Las características en el dominio del tiempo de la señal sEMG se basan en indicadores estadísticos y tratan la señal como una función del tiempo, características que se calculan directamente a partir de la señal sEMG (Rani et al., 2023). En comparación con otras características del sEMG, tienen una baja complejidad computacional y se han utilizado ampliamente; entre las más conocidas se encuentran *Mean Absolute Value* (MAV), *Root Mean Square* (RMS), *Waveform Length* (WL) y *Zero Crossings* (ZC) (Li et al., 2021).

Tras expresar la señal en el dominio del tiempo y transformarla al dominio de la frecuencia mediante la transformada de Fourier, es posible analizar sus características espectrales (Rani et al., 2023). El uso de características en el dominio de la frecuencia presenta ventajas significativas, ya que facilita la extracción de atributos más consistentes y ofrece una mayor resistencia al ruido; entre las más utilizadas se encuentran el espectro de amplitud (*Amplitude Spectrum*, AmpSpec), la frecuencia media (*Mean Frequency*, MNF), la frecuencia mediana (*Median Frequency*, MDF) y la frecuencia mediana modificada (*Modified Median Frequency*, MMDF) (Rani et al., 2023). Las características TFD se expresan como

la ubicación de la energía de la señal sEMG tanto en tiempo como en frecuencia, lo que suele ser un enfoque importante en la extracción de características; entre las más conocidas están la transformada wavelet discreta (DWT), la transformada wavelet continua (CWT) y la media de los coeficientes wavelet absolutos (MOAC) (Jaramillo-Yáñez et al., 2020).

Técnicas de *machine learning*

Con las características extraídas, se procede a aplicar las técnicas de *machine learning*. La clasificación en *machine learning* es un método de aprendizaje supervisado que asigna etiquetas a los datos, basándose en patrones aprendidos de ejemplos anteriores. Este proceso incluye varias etapas, como elegir el modelo adecuado, entrenar con datos que ya tienen etiquetas, validar los hiperparámetros y evaluar el rendimiento usando métricas como la exactitud, la precisión y el *F1-score*.

Existen varios algoritmos de clasificación bastante populares, como los árboles de decisión, las máquinas de soporte vectorial (SVM), k vecinos más cercanos (KNN), Random Forest y XGBoost. Cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas, dependiendo del tipo de problema y la calidad de los datos que se tienen (Wu et al., 2020).

Para mejorar la precisión de los modelos de clasificación, es crucial aplicar técnicas de preprocesamiento de datos y seleccionar características relevantes. En varios estudios se ha indicado que no eliminar características que están muy correlacionadas perjudica la precisión del modelo, por lo que hay que hacerlo para reducir el sobreajuste y mejorar la generalización en conjuntos de datos clínicos y biomédicos (Mishra y Pradhan, 2023). Además, ajustar los hiperparámetros y utilizar la validación cruzada han demostrado ser estrategias efectivas para optimizar los modelos, logrando así mejorar la clasificación en diversas tareas (Hu y Zhou, 2023). Así, implementar estrategias de optimización y usar correctamente los modelos de clasificación permite hacer predicciones más precisas y confiables en entornos de datos complejos.

Técnicas de *deep learning*

El *deep learning* ha revolucionado la clasificación de datos al permitir que los modelos aprendan automáticamente

representaciones de información a través de redes neuronales profundas. A diferencia de *machine learning*, que requiere la extracción manual de características para la clasificación, *deep learning* emplea múltiples capas de procesamiento para detectar patrones complejos en grandes volúmenes de datos no estructurados, logrando un rendimiento superior en tareas como visión por computador y procesamiento del lenguaje 10 natural (Arul, 2021). Entre los modelos más empleados en clasificación se encuentran las redes neuronales convolucionales (CNN), ampliamente aplicadas en el reconocimiento de imágenes (Li et al., 2021).

El proceso de clasificación en *deep learning* consta de varias etapas claves. En primer lugar, el modelo es entrenado con un conjunto de datos etiquetados, lo que permite que los pesos de la red neuronal se ajusten para minimizar el error en las predicciones. Posteriormente, se realiza una optimización de hiperparámetros, ajustando aspectos como la función de activación y la tasa de aprendizaje para mejorar la eficiencia del modelo (Minaee et al., 2021). Finalmente, en la fase de inferencia, el modelo clasifica nuevos datos basándose en los patrones aprendidos. Estos avances han permitido que *deep learning* supere a los enfoques tradicionales de *machine learning* en tareas de clasificación complejas, consolidándose como una herramienta clave en inteligencia artificial (Degadwala y Vyas, 2024).

Evaluación de rendimiento

Después de entrenar los modelos, se procede a evaluar su desempeño con los datos de prueba. La precisión, la exactitud, el error de clasificación y la desviación estándar son algunos de los criterios que se emplean para evaluar la eficacia del sistema HGR (Jaramillo-Yáñez et al., 2020). De acuerdo con la bibliografía existente, una buena exactitud en un modelo de ML es subjetiva, pero todo lo que supere el 70 % es un gran rendimiento del modelo. Además, una exactitud de entre el 70 % y el 90 % no solo es ideal, sino realista.

En los últimos años, la clasificación de gestos de la mano mediante señales sEMG se ha explorado ampliamente, dando lugar a propuestas que combinan distintas estrategias de adquisición, preprocesamiento, segmentación y modelos de aprendizaje automático y profundo.

A renglón seguido se presenta una comparación de estudios recientes que abordan este problema desde

Tabla 1
Comparativa de estudios recientes sobre clasificación de gestos con señales sEMG

Referencia	N.º de sujetos	N.º de canales	N.º de gestos	Ventana	Sensor	Modelos	Métricas
(Rumman et al., 2024)	19	8	12	250 ms	MFI Medical Equipment	LDA, SVM, KNN, CNN, RNN, LSTM	88,58 % (F1)
(Gehlot et al., 2024)	4	2	6	256 ms (25 % overlap)	Myoarmband	DT, RF, GB, Ada-Boost, SVM, KNN, Extra Tree, MEET	89,2 % (Acc*)
(Aarotale y Rattani, 2025)	43	8	16	600 ms (50 % overlap)	GrabMyo	ResNet50, DenseNet121, MobileNetV3, EfficientNetB0, XMANet	99,61 % (Acc)
(Miah et al., 2024)	36	8	6	3s	Myoarmband	KNN, DT, RF, SVM, Extra Trees	97,43 % (Acc)
(Challa et al., 2025)	8	4	3	250 ms	Delsys Trigno	SVM, RF, ANN, CNN	94 % (Acc)

* Acc hace referencia a la exactitud del clasificador y *F1-score*.

diversas perspectivas, considerando aspectos como el número de sujetos, canales (utiliza dos), cantidad de gestos reconocidos, duración de las ventanas de análisis, modelos empleados y métricas de desempeño alcanzadas (tabla 1).

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

El reconocimiento automático de gestos de la mano basado en señales de sEMG se ha estudiado en los últimos años debido a su potencial para aplicaciones en interfaces hombre- máquina, prótesis activas y dispositivos de asistencia. A pesar de los avances recientes, persisten desafíos significativos que limitan la efectividad y aplicabilidad de estos sistemas. Uno de los principales problemas radica en la complejidad y variabilidad inherente de las señales sEMG, las cuales están influenciadas por factores como interferencias externas, ruido, posición de los electrodos y diferencias fisiológicas entre los usuarios (Stegeman y Hermens, 2007). En el caso del miembro superior, la masa muscular es más pequeña y delgada en comparación con el miembro inferior, lo que genera señales de menor amplitud y aumenta la dificultad para identificar patrones de intención motora consistentes (Li et al., 2021). Adicionalmente, la escasez de bases de datos etiquetadas y de alta calidad limita la capacidad de entrenar y validar modelos de aprendizaje automático de manera efectiva (Kumar y Ganesh, 2022). Esta carencia de datos diversos afecta la generalización de los modelos y su desempeño en condiciones reales.

Desafíos de generalización y validación

Metodológicamente, la exactitud del reconocimiento en tiempo real sigue siendo un reto, en especial cuando se emplean características del dominio del tiempo y ventanas deslizantes cortas (Muniandi et al., 2020). En la bibliografía existente se muestra que, si bien los enfoques basados en ML consiguen buenos resultados con características diseñadas manualmente, los modelos de DL ofrecen ventajas en la extracción automática de representaciones más robustas, aunque requieren grandes volúmenes de datos y alta capacidad computacional. No obstante, muchos sistemas que reportan resultados prometedores en entornos controlados presentan una marcada falta de robustez intersujeto; es decir, su rendimiento disminuye al aplicarse a nuevos usuarios o condiciones experimentales (Jochumsen et al., 2018). Esta limitación evidencia la necesidad de modelos más adaptativos y generalizables, que mantengan su desempeño fuera del laboratorio.

Implicaciones sociales y contexto latinoamericano

Desde una perspectiva social y tecnológica, el acceso a tecnologías de asistencia basadas en sEMG continúa siendo limitado en el ámbito global debido a los altos costos y la falta de accesibilidad (Prakash et al., 2019). Esto afecta directamente a personas con discapacidad motora en el miembro superior, quienes dependen de estas soluciones para mejorar su autonomía. En Colombia y América Latina, la disponibilidad de tecnologías

avanzadas de rehabilitación es escasa, lo que profundiza la brecha social y económica.

De acuerdo con la Federación Nacional de Asociaciones de Amputados de Colombia, la prevalencia de amputaciones en el país es de aproximadamente 3,5 personas por cada 1000 habitantes, lo que representa miles de potenciales beneficiarios de estas tecnologías (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2020). Así mismo, la Encuesta Nacional de Uso del Tiempo (ENUT, 2021) reporta que el 9,6 % de las personas con discapacidad en Colombia presentan dificultades para mover o agarrar objetos con las manos, de las cuales el 71,93 % requiere ayuda externa, aunque solo el 56,47 % recibe tratamiento o terapias (DANE, 2020). Estas cifras reflejan una necesidad urgente de desarrollar soluciones accesibles y asequibles para la rehabilitación y el control de dispositivos protésicos.

En este contexto, se hace necesaria una integración interdisciplinaria entre la ingeniería biomédica, el aprendizaje automático y las ciencias de la rehabilitación, con el propósito de avanzar hacia sistemas de reconocimiento de gestos más precisos, inclusivos y socialmente relevantes, capaces de responder a los desafíos tanto técnicos como humanos del entorno real.

CONCLUSIONES

El reconocimiento automático de gestos de la mano basado en señales sEMG se consolida como una línea de investigación en crecimiento. Los estudios revisados demuestran avances en las etapas de adquisición, procesamiento y clasificación, destacándose el papel del DL como herramienta clave para automatizar la extracción de características y mejorar la precisión de los modelos en entornos controlados.

En materia de aportes, la revisión permitió identificar una tendencia hacia la optimización del preprocesamiento de señales mediante técnicas de normalización, segmentación y filtrado, así como la implementación de modelos híbridos que combinan arquitecturas convolucionales y recurrentes para captar tanto la información espacial como temporal de la señal. Además, se observa un incremento en el uso de sensores portátiles de bajo costo y la exploración de bases de datos públicas, lo que contribuye a la replicabilidad de los experimentos y a la democratización del acceso a la tecnología sEMG.

Sin embargo, persisten vacíos de investigación que limitan la transferencia de estas tecnologías al entorno clínico, entre los que se destacan la escasa disponibilidad de bases de datos etiquetadas y diversas, la variabilidad intersujeto y la falta de estandarización en los protocolos de adquisición y validación. Igualmente, la mayoría de los modelos se han probado en condiciones controladas y con sujetos sanos, por lo que su rendimiento tiende a disminuir cuando se aplican a usuarios con discapacidad o en contextos reales de rehabilitación.

En este sentido, se recomienda redoblar los esfuerzos orientados a la creación de bases de datos locales y abiertas, que incluyan sujetos con distintas características fisiológicas y condiciones clínicas. De igual manera, se propone explorar modelos híbridos que integren enfoques de ML y DL, con el fin de equilibrar rendimiento, interpretabilidad y generalización. Estas estrategias se deben acompañar de validaciones clínicas interdisciplinarias, e involucrar a expertos en ingeniería biomédica, neurorrehabilitación y aprendizaje automático, para garantizar la viabilidad técnica y funcional de los sistemas desarrollados.

Finalmente, hay que promover una colaboración continua entre academia, sector de la salud e industria tecnológica, que permita llevar los avances en sEMG desde el laboratorio hasta los entornos clínico y social. Este enfoque integral no solo fortalecerá la aplicabilidad de los modelos de reconocimiento de gestos, sino que también contribuirá al desarrollo de tecnologías de asistencia accesibles y de alto impacto social, especialmente en contextos latinoamericanos donde la rehabilitación neuromuscular y el acceso a dispositivos protésicos siguen siendo desafíos vigentes.

Autoría

El autor 1 llevó a cabo la búsqueda bibliográfica, revisó la bibliografía y redactó el manuscrito. Los autores 2 y 3 revisaron el documento, hicieron correcciones y añadieron información relevante para complementar y fortalecer el contenido final.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Aarotale, P., y Rattani, A. (2025). Time frequency analysis of EMG signal for gesture recognition using fine-grained features. arXiv preprint. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.14708>
- Arul, V. (2021). Deep learning methods for data classification. En D. Binu y B. Rajakumar (eds.), *Artificial intelligence in data mining* (pp. 87-108). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820601-0.00001-X>
- Benalcázar, M. E., Motoche, C., Zea, J. A. et al. (2017). Real-time hand gesture recognition using the Myo armband and muscle activity detection. En *2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ETCM.2017.8247458>
- Burden, A. (2010). How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? What we have learned from over 25 years of research. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(6), 1023-1035. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.07.004>
- Carver, J., Ganus, A., Ivey, J., Plummer, T., y Eubank, A. (2015). The impact of mobility assistive technology devices on participation for individuals with disabilities. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 11(2). <https://doi.org/10.3109/17483107.2015.1027295>
- Challa, K., AlHmoud, I. W., Jaiswal, C., Turlapaty, A. C., y Gokaraju, B. (2025). EMG features dataset for arm activity recognition. *Data in Brief*, 60, 111519. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2025.111519>
- Chen, X., Li, Y., Hu, R., Zhang, X., y Chen, X. (2021). Hand gesture recognition based on surface electromyography using convolutional neural network with transfer learning method. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25(4), 1292-1304. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2020.3009383>
- Chowdhury, R. H., Reaz, M. B. I., Ali, M. A. B. M., Bakar, A. A. A., Chellappan, K., y Chang, T. G. (2013). Surface electromyography signal processing and classification techniques. *Sensors*, 13(9), 12431-12466. <https://doi.org/10.3390/s130912431>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020, noviembre). *Panorama general de la discapacidad en Colombia*. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/discapacidad/Panorama-general-de-la-discapacidad-en-Colombia.pdf>
- Degadwala, S., y Vyas, D. (2024). Systematic analysis of deep learning models vs. machine learning. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 10(4), 60-70. <https://doi.org/10.32628/CSEIT24104108>
- Gehlot, N., Jena, A., Kumar, R., y Bukya, M. (2024). MEET: Mixture of experts extra tree-based sEMG hand gesture identification. arXiv preprint. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.09562>
- Gómez-Correa, M., Ballesteros, M., Salgado, I., y Cruz-Ortiz, D. (2023, mayo). Forearm sEMG data from young healthy humans during the execution of hand movements. *Scientific Data*, 10. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02223-x>
- Guo, L., Lu, Z., y Yao, L. (2021). Human-machine interaction sensing technology based on hand gesture recognition: a review. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 51(4), 300-309. <https://doi.org/10.1109/THMS.2021.3086003>
- Hu, H., y Zhou, Z. (2023). Evaluation and comparison of ten machine learning classification models based on the mobile users experience. En *2023 3rd International Conference on Electronic Information Engineering and Computer Science (EIECS)* (pp. 767-771). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EIECS59936.2023.10435603>
- Hu, Y., Wong, Y., Wei, W., Du, Y., Kankanhalli, M., y Geng, W. (2018). A novel attention-based hybrid CNN-RNN architecture for sEMG-based gesture recognition. *PLOS ONE*, 13(10), e0206049. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206049>
- Jaramillo-Yáñez, A., Benalcázar, M. E., y Mena-Maldonado, E. (2020). Real-time hand gesture recognition using surface electromyography and machine learning: a systematic literature review. *Sensors*, 20(9). <https://doi.org/10.3390/s20092467>
- Jiang, S., Kang, P., Song, X., Lo, B. P., y Shull, P. B. (2022). Emerging wearable interfaces and algorithms for hand gesture recognition: a survey. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 15, 85-102. <https://doi.org/10.1109/RBME.2021.3078190>
- Jochumsen, M., Waris, A., y Kamavuako, E. N. (2018). The effect of arm position on classification of hand gestures with intramuscular EMG. *Biomedical Signal Processing and Control*, 43, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2018.02.013>
- Khushaba, R. (2020). A framework of temporal-spatial descriptors-based feature extraction for improved myoelectric pattern recognition. *Journal of Neural Engineering*, 17(4), 046023. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ab9f1b>
- Köpüklü, O., Gunduz, A., Köse, N., y Rigoll, G. (2019, febrero). Real-time hand gesture detection and classification using convolutional neural networks. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*. <https://doi.org/10.1109/CVPRW.2019.00015>
- Kumar, D., y Ganesh, A. (2022, agosto). A critical review on hand gesture recognition using sEMG: challenges, application, process and techniques. *Journal of Physics: Conference Series*, 2327, 012075. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2327/1/012075>
- Kuo, Y., y Zhang, Z. (2019, mayo). Real-time pattern recognition for hand gesture based on ANN and surface EMG. En *2019 IEEE 11th International Conference on Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)* (pp. 799-802). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITAIC.2019.8785894>
- Lee, K. H., Min, J. Y., y Byun, S. (2022). Electromyogram-based classification of hand and finger gestures using artificial neural networks. *Sensors*, 22(1). <https://doi.org/10.3390/s22010225>
- Li, J., Nanchang, C., y Song, K. (2021). Research on image classification based on deep learning. En *2021 IEEE/ACIS 19th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)* (pp. 132-136). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIS51600.2021.9516872>
- Li, W., Shi, P., y Yu, H. (2021). Gesture recognition using surface electromyography and deep learning for prostheses hand: state-of-the-art, challenges, and future. *Frontiers in Neuroscience*, 15. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.646671>
- Ma, Y., Chen, B., Ren, P., Zheng, N., Indiveri, G., y Donati, E. (2020). EMG-based gestures classification using a mixed-signal neuromorphic processing system. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 10(4), 578-587. <https://doi.org/10.1109/JETCAS.2020.3037951>
- Miah, A. S. M., Hassan, N., Maniruzzaman, M., Asai, N., y Shin, J. (2024). EMG-based hand gesture recognition through diverse domain feature enhancement and machine learning-based approach. arXiv preprint. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.13723>

- Minaee, S., Kalchbrenner, N., Cambria, E., Nikzad, N., Chenaghlu, M., y Gao, J. (2021). Deep learning-based text classification: a comprehensive review. *ACM Computing Surveys*, 54(3). <https://doi.org/10.1145/3439726>
- Mishra, S., y Pradhan, R. K. (2023). Analyzing the impact of feature correlation on classification accuracy of machine learning model. En *2023 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Communication (AISC)* (pp. 949-953). IEEE. <https://doi.org/10.1109/AISC56616.2023.10085293>
- Mohamed, N., Mustafa, M. B., y Jomhari, N. (2021). A review of the hand gesture recognition system: current progress and future directions. *IEEE Access*, 9, 157422-157436. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3129650>
- Muniandi, A., Srinivasan, A., y Arjunan, S. (2020, agosto). A real-time capable linear time classifier scheme for anticipated hand movements recognition from amputee subjects using surface EMG signals. *IRBM*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2020.08.003>
- Ni, S., Al-Qaness, M. A., Hawbani, A., Al-Alimi, D., Abd Elaziz, M., y Ewees, A. A. (2024). A survey on hand gesture recognition based on surface electromyography: fundamentals, methods, applications, challenges and future trends. *Applied Soft Computing*, 166, 112235. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.112235>
- Nielsen, J. L., Holmgaard, S., Jiang, N., Englehart, K. B., Farina, D., y Parker, P. A. (2011). Simultaneous and proportional force estimation for multifunction myoelectric prostheses using mirrored bilateral training. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 58(3), 681-688. <https://doi.org/10.1109/TBME.2010.2068298>
- Pizzolato, S., Tagliapietra, L., Cognolato, M., Reggiani, M., Müller, H., y Atzori, M. (2017). Comparison of six electromyography acquisition setups on hand movement classification tasks. *PLOS ONE*, 12(10), e0186132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186132>
- Prakash, A., Kumari, B., y Sharma, S. (2019, agosto). A low-cost, wearable sEMG sensor for upper limb prosthetic application. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 43, 1-13. <https://doi.org/10.1080/03091902.2019.1653391>
- Rani, G. J., Hashmi, M. F., y Gupta, A. (2023). Surface electromyography and artificial intelligence for human activity recognition: a systematic review on methods, emerging trends, applications, challenges, and future implementation. *IEEE Access*, 11, 105140-105169. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3316509>
- Rumman, U., Ferdousi, A., Hossain, M. et al. (2024). FORS-EMG: a novel sEMG dataset for hand gesture recognition across multiple forearm orientations. arXiv preprint. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.07484>
- Samadani, A.-A., y Kulic, D. (2014). Hand gesture recognition based on surface electromyography. En *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp. 4196-4199). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6944549>
- Sinderby, C., Lindström, L., y Grassino, A. E. (1995). Automatic assessment of electromyogram quality. *Journal of Applied Physiology*, 79(5), 1803-1815. <https://doi.org/10.1152/jappl.1995.79.5.1803>
- Stegeman, D., y Hermens, H. (2007, enero). *Standards for surface electromyography: the European Project Surface EMG for Non-Invasive Assessment of Muscles (Seniam)* (vol. 1).
- Sultana, A., Ahmed, F., y Alam, M. S. (2023). A systematic review on surface electromyography-based classification system for identifying hand and finger movements. *Healthcare Analytics*, 3, 100126. <https://doi.org/10.1016/j.health.2022.100126>
- Weiss, L. D., Weiss, J. M., y Silver, J. K. (2015). *Easy EMG: a guide to performing nerve conduction studies and electromyography*. Elsevier Health Sciences.
- Wu, Z., Zhang, J., y Hu, S. (2020). Review on classification algorithm and evaluation system of machine learning. En *2020 13th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)* (pp. 214-218). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICTA51737.2020.00052>
- Zaheer, F., Roy, S., y De Luca, C. (2012). Preferred sensor sites for surface EMG signal decomposition. *Physiological Measurement*, 33(2), 195-206. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/33/2/195>
- Zhang, Y., Yang, F., Fan, Q., Yang, A., y Li, X. (2022). Research on sEMG-based gesture recognition by dual-view deep learning. *IEEE Access*, 10, 32928-32937. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3158667>
- Zheng, Z., Wu, Z., Zhao, R., Ni, Y., Jing, X., y Gao, S. (2022). A review of EMG-, FMG-, and EIT-based biosensors and relevant human-machine interactivities and biomedical applications. *Biosensors*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/bios12070516>

Matemáticas, poder y exclusión en la universidad: un análisis del discurso pedagógico y su impacto en la permanencia estudiantil

Mathematics, power and exclusion in university environments: A pedagogical discourse analysis and its impact in student dropout

LAURA VALENTINA HERNÁNDEZ DÍAZ¹ — NORA YAMILE ROJAS CATAÑO²

1. Estudiante de Pregrado Programa de Matemáticas. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Magíster en Docencia de las Matemáticas. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2879-5899>.

laura.hernandez-d@mail.escuelaing.edu.co, nora.rojas@escuelaing.edu.co

Recibido: 27/12/2024 Aceptado: 31/01/2025

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En este artículo se analiza la relación entre el discurso en las clases de matemáticas y la deserción estudiantil en el programa de Matemáticas de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Se desarrolló un estudio cualitativo, con enfoque sociocrítico, a partir de entrevistas semiestructuradas hechas a dos profesores, un estudiante activo y un estudiante desertor. El material recolectado se transcribió y analizó mediante un proceso de codificación y análisis temático.

Los resultados muestran que el trato diferenciado, según el rendimiento, la percepción de exclusión y la carga simbólica atribuida a las matemáticas, incide directamente en la autoestima académica, el bienestar emocional y las decisiones de permanencia o abandono.

Se concluye que, para avanzar hacia prácticas educativas más inclusivas, es necesario cuestionar los discursos de poder presentes en el aula y promover ambientes de aprendizaje que combinen exigencia académica con acompañamiento pedagógico y socioemocional.

Palabras claves: educación inclusiva, deserción estudiantil, educación matemática, obstáculos de aprendizaje, exclusión educativa.

Abstract

This article examines the relationship between classroom discourse in mathematics and student dropout in the mathematics program at Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. A qualitative study with a socio-critical approach was conducted through semi-structured interviews with two professors, one active student, and one dropout student. The collected material was transcribed and analyzed using coding and thematic analysis.

The results show that differentiated treatment based on performance, perceptions of exclusion, and the symbolic weight attributed to mathematics directly affect academic self-esteem, emotional well-being, and decisions regarding staying or dropping out.

The study concludes that, in order to foster more inclusive educational practices, it is necessary to challenge the power discourses present in the classroom and promote learning environments that combine academic rigor with pedagogical and socio-emotional support.

Keywords: inclusive education, student dropout, mathematics education, learning barriers, educational exclusion.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la investigación en educación matemática ha cuestionado la supuesta neutralidad del conocimiento matemático y sus prácticas pedagógicas, con lo que reconoce que su enseñanza está imbricada en relaciones de poder, procesos de inclusión-exclusión y dinámicas socioculturales complejas (Skovsmose, 1994, 2012; Valero et al., 2015). Este giro sociopolítico ha demostrado que el rendimiento en matemáticas no depende únicamente de habilidades cognitivas individuales, sino también de factores institucionales, históricos y afectivos que moldean las trayectorias educativas.

En el contexto colombiano, esta perspectiva adquiere especial relevancia si se considera que la tasa anual de deserción en educación superior ha rondado históricamente el 11 %, con picos de hasta 12,7 % durante la pandemia (Ministerio de Educación Nacional [MEN], 2023; Pontificia Universidad Javeriana, 2023). Aunque en años recientes la cifra descendió al 9,03 % (MEN, 2023), se estima que cerca del 40 % de los estudiantes de pregrado desertan antes de culminar sus estudios (Pontificia Universidad Javeriana, 2023), lo que refleja que no es posible entender la permanencia al margen de estas condiciones estructurales y socioculturales.

En Latinoamérica, donde las desigualdades educativas persisten como reflejo de profundas brechas sociales, el acceso y la permanencia en programas de matemáticas superiores constituyen un escenario clave para analizar cómo las expectativas, los discursos docentes y las prácticas pedagógicas pueden reproducir, incluso de manera inadvertida, dinámicas de exclusión (Valero et al., 2015).

Históricamente considerada una disciplina de alto rigor intelectual, la matemática ha adquirido un estatus simbólico que, lejos de ser neutral, influye en las dinámicas educativas en el interior del aula, perpetuando a menudo inequidades de género, socioeconómicas y raciales (Gutiérrez, 2018). Esta percepción no solo incide en el rendimiento académico, sino también en la construcción de la subjetividad de los estudiantes, ya que afecta su autoestima, la confianza en sus capacidades —aspectos cruciales para la equidad en matemáticas (Middleton et al., 2022)— y, finalmente, su continuidad en los programas formativos.

En contextos como el del programa de Matemáticas de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, estas dinámicas cobran especial relevan-

cia, puesto que las prácticas pedagógicas, los discursos docentes y las interacciones cotidianas pueden influir directamente en fenómenos como la deserción o la perpetuación de exclusiones, tal como lo evidencian estudios nacionales sobre cultura académica y abandono estudiantil (Parra Ortega, 2020; MEN, 2023).

A partir de esta preocupación, el presente estudio se enfoca en un escenario poco explorado en la bibliografía nacional, pero representativo de las tensiones que enfrentan los programas de alta exigencia académica, con el objetivo de analizar cómo las dinámicas pedagógicas y relacionales inciden en la permanencia estudiantil. Desde un enfoque crítico, se examinan las perspectivas de algunos estudiantes activos, desertores y docentes para comprender de qué manera las interacciones en el aula influyen no solo en el aprendizaje, sino también en el bienestar y la continuidad académica.

Por medio de entrevistas a ambos actores, se indaga si estas dinámicas reproducen formas inadvertidas de exclusión, así como en qué medida estrategias adaptadas a los contextos individuales podrían mitigar dichas desigualdades; con esto, se busca aportar a la discusión sobre prácticas educativas más inclusivas y efectivas en el ámbito de las matemáticas superiores.

En particular, se pretende identificar y analizar las prácticas de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas en la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, con el propósito de comprender cómo el discurso presente en el aula puede influir en la deserción estudiantil. Así mismo, se busca examinar la posible influencia del comportamiento de algunos docentes en la formación pedagógica de los futuros profesores, evaluando si dicho impacto es positivo o negativo. Finalmente, se pretende indagar la existencia de posibles formas de segregación generadas por las dinámicas en el aula, al igual que determinar si los docentes consideran el contexto individual de los estudiantes al momento de enseñar y cómo incide esto en su proceso de aprendizaje. En este marco, el estudio se orienta por las siguientes preguntas de investigación:

- ¿De qué manera el discurso presente en el aula de matemáticas influye en la permanencia o deserción de los estudiantes en la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito?
- ¿Qué papel cumplen las prácticas de enseñanza en la decisión de los estudiantes de continuar o abandonar sus estudios?

¿Existen formas de segregación o trato diferencial según el nivel de habilidad percibido, y cómo estas afectan la autoestima académica y emocional de los estudiantes?

REVISIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA (ESTADO DEL ARTE)

En el ámbito internacional, la permanencia estudiantil en la educación superior se ha abordado desde enfoques que trascienden lo puramente académico. En sus investigaciones, Tinto (2017, 2023) demuestra que la persistencia estudiantil está fuertemente vinculada con la integración académica y social, así como con el sentido de pertenencia dentro de la institución. De manera complementaria, el modelo de *student engagement* propuesto por Kahu y Nelson (2018) resalta el papel de la “interfaz educativa”, es decir, la interacción cotidiana entre currículo, prácticas docentes y apoyos institucionales, en la configuración de trayectorias de éxito o abandono. Por otra parte, en algunos informes de la OCDE (2023) se ponen de relieve las brechas de acceso, progresión y graduación entre países, evidenciando que la deserción constituye un fenómeno estructural que afecta la equidad y sostenibilidad de los sistemas educativos.

Desde una perspectiva crítica, investigadores como Paola Valero (2006) han mostrado que las matemáticas escolares, lejos de ser neutrales, encarnan relaciones de poder que pueden reforzar procesos de segregación y limitar la participación democrática en el aula. En sus estudios, Valero hace hincapié en que las prácticas matemáticas se deben entender como fenómenos sociales y políticos, enraizados en contextos históricos y culturales. Complementando esta visión, Ole Skovsmose (2012) plantea que los obstáculos de aprendizaje no se deben explicar solamente en términos cognitivos, sino también como el resultado de procesos sociales y políticos que afectan las expectativas de futuro de los estudiantes. En esta línea, la educación matemática crítica reconoce que la enseñanza puede reproducir exclusiones, pero también ofrecer espacios de resistencia y emancipación.

En Latinoamérica, este debate se cruza con el impacto de las reformas neoliberales en educación. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2024) estima que la tasa bruta de finalización en la región es de apenas 25,1 %, muy por debajo del promedio de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

(OCDE) (40 %). A esto se suma que la expansión de políticas de evaluación estandarizada (Casassus, 2011; Gentili, 2013; Bruns y Luque, 2014) ha reforzado dinámicas de exclusión y clasificación, afectando especialmente a estudiantes de sectores vulnerables.

En el contexto colombiano, los informes del Ministerio de Educación Nacional (MEN, 2023) y del Observatorio de la Educación de la Pontificia Universidad Javeriana (2023) muestran que la tasa anual de deserción en educación superior se ha mantenido históricamente alrededor del 11 %, con un descenso reciente al 9,03 %, aun cuando casi el 40 % de los estudiantes de pregrado desertan antes de culminar sus estudios. Estas cifras reflejan que la permanencia estudiantil está mediada no solo por factores académicos, sino también por condiciones estructurales, socioeconómicas y culturales.

En esta línea, Torres-Duarte (2022) plantea que la educación matemática en Colombia no es neutral, sino que participa activamente en la producción de subjetividades, reproduciendo jerarquías y exclusiones mediante discursos que asocian el rendimiento matemático con la inteligencia. Según este autor, las prácticas discursivas en matemáticas funcionan como dispositivos de poder que clasifican, normalizan y jerarquizan a los estudiantes, consolidando procesos de segregación que impactan en la permanencia de estos.

A pesar de la relevancia de dichos aportes, no se han identificado estudios previos en la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito que exploren específicamente la relación entre las prácticas de enseñanza de las matemáticas, el discurso docente y la deserción estudiantil. Con el presente estudio se busca contribuir a este vacío, analizando cómo las dinámicas discursivas y relacionales en el aula pueden incidir en la continuidad o el abandono de los estudiantes en el programa de Matemáticas. De este modo, se conecta la discusión global y regional sobre permanencia con un análisis situado que pone de relieve la dimensión política y excluyente del discurso en la educación matemática.

MARCO TEÓRICO

El recorrido por el estado del arte permitió situar la permanencia estudiantil en un marco amplio que va desde las tendencias internacionales hasta las particularidades del contexto colombiano, resaltando el papel que desempeñan las políticas educativas y las dinámicas

socioculturales en los procesos de acceso, retención y éxito. No obstante, para comprender cómo estos fenómenos se expresan en el aula de matemáticas hay que apoyarse en marcos conceptuales que expliquen las formas en que el discurso, las prácticas docentes y las relaciones de poder inciden directamente en la experiencia de los estudiantes. En tal sentido, el presente estudio se fundamenta en los aportes de Valero y Skovsmose, al igual que en investigaciones recientes sobre equidad y educación matemática crítica, que permiten vincular los hallazgos empíricos con categorías analíticas como discurso matemático, obstáculos de aprendizaje, exclusión y porvenir estudiantil. De esta manera, el marco teórico profundiza en los conceptos que dan soporte a la interpretación de las prácticas observadas y a la relación entre dinámicas micro (aula) y macro (institucionales y políticas) en la permanencia académica.

Discurso matemático, poder y prácticas docentes

De acuerdo con Valero (2006), la enseñanza de las matemáticas encarna relaciones sociales, culturales y políticas que configuran la experiencia educativa. Las matemáticas escolares, lejos de ser neutrales, pueden legitimar o deslegitimar a los estudiantes como sujetos competentes, lo que se manifiesta en prácticas cotidianas como la evaluación, la corrección pública de errores o el trato diferenciado hacia quienes son considerados “talentosos” frente a quienes se perciben como “débiles”. Tales dinámicas generan estereotipos de “inteligencia matemática” y propician fenómenos de autoexclusión cuando los estudiantes interiorizan que “no son buenos” para la disciplina.

Vanegas, D'Ambrosio y Giménez (2019) muestran que el discurso docente se puede transformar en prácticas democráticas, en las que se promueve la construcción colectiva de significados y se da voz a todos los estudiantes en debates matemáticos. Estas experiencias permiten contrarrestar la exclusión, puesto que revalorizan la participación igualitaria y la validación de diversos modos de argumentar.

Obstáculos de aprendizaje y exclusión social

Ole Skovsmose (2012) amplía la noción de obstáculo de aprendizaje más allá de las dificultades cognitivas. Para el autor, los obstáculos también pueden ser de naturaleza

social, política o estructural, y se expresan en la falta de oportunidades percibidas por los estudiantes para proyectar un futuro deseable mediante la educación matemática. Su concepto de *porvenir arruinado* señala que cuando un estudiante no encuentra sentido a lo que aprende ni vislumbra oportunidades reales asociadas al saber matemático, su motivación y permanencia se ven comprometidas.

Camelo, Mancera y Salazar (2017) advierten que las políticas educativas en Colombia, al centrarse en acceso, permanencia y éxito desde una visión meramente cuantitativa, han promovido una falsa equidad. El énfasis en la retención como prolongación del tiempo en el sistema no garantiza ambientes de aprendizaje significativos que contribuyan a los proyectos de vida de los estudiantes.

Permanencia institucional y políticas educativas

El Plan Nacional de Permanencia del Ministerio de Educación Nacional (2023) reconoce la necesidad de articular estrategias de acompañamiento académico, bienestar y orientación socioemocional para mejorar la retención en educación superior. No obstante, como lo dan a conocer Camelo et al. (2017), estas iniciativas deben superar la visión de la permanencia como mera estadística y reconocer el papel de las prácticas pedagógicas en el aula de matemáticas en la construcción (o limitación) de trayectorias educativas. Así, se enlaza el nivel *micro* —discurso, evaluación y trato docente— con el nivel *macro* —políticas institucionales y nacionales de permanencia—.

Prácticas inclusivas y aprendizaje colaborativo

Frente a las dinámicas de exclusión, la bibliografía reciente ha documentado prácticas inclusivas que favorecen la permanencia. Vanegas et al. (2019) destacan la importancia de los debates matemáticos democráticos como espacios de coconstrucción de significados. Morales (2006) enfatiza la dimensión ética y humana de la docencia, centrada en la empatía y el acompañamiento. Así mismo, en varias investigaciones sobre equidad en educación matemática se destaca que promover la cooperación y el aprendizaje colectivo genera ambientes en los que el éxito no se reduce a logros individuales, sino que se orienta hacia comprensiones compartidas y acciones solidarias (Camelo et al., 2017). Estas prácticas

inclusivas —evaluación formativa, mentoría, trabajo colaborativo— fortalecen el sentido de pertenencia, factor clave en la permanencia estudiantil.

METODOLOGÍA

A partir de los marcos conceptuales revisados en la bibliografía —especialmente las nociones de discurso, exclusión, obstáculos de aprendizaje y porvenir—, *se diseñó una investigación cualitativa enmarcada en el paradigma sociocrítico*, cuyo objetivo fue explorar las percepciones de estudiantes y profesores sobre la experiencia educativa en aulas de matemáticas. En consonancia con lo planteado por Camargo (2021), este estudio se entiende como una construcción situada, que no busca generalizaciones estadísticas, sino comprensiones profundas sobre las voces de los actores y las relaciones de poder que atraviesan sus experiencias educativas.

Participantes y muestra

Se trabajó con cuatro participantes vinculados al programa de Matemáticas de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito: dos profesores, un estudiante activo y un estudiante que desertó. Los criterios de inclusión fueron dos: tener experiencia directa en el programa y tener disposición para participar en entrevistas en profundidad. De acuerdo con Patton (2020), el muestreo fue intencional. Los estudiantes entrevistados en la Escuela tenían entre 17 y 25 años, ubicados entre cuarto y séptimo semestre al momento de la entrevista; uno de los profesores contaba con más de 20 años de experiencia en el programa.

Recolección de información

Se hicieron entrevistas semiestructuradas (Kvale y Brinkmann, 2009; Camargo, 2021), desarrolladas entre el 2 de abril y el 10 de abril de 2025, con una duración promedio de 50 a 70 minutos. Todas se llevaron a cabo en modalidad presencial, se grabaron en audio con consentimiento informado y se transcribieron de manera literal. Las preguntas guía abordaron los siguientes temas:

- Percepciones del discurso matemático en el aula y su influencia.

- Dinámicas de inclusión o exclusión.
- Trato diferenciado según rendimiento.
- Prácticas pedagógicas y trato docente.
- Relación con los docentes.
- Factores emocionales y pedagógicos que influyen en la permanencia o abandono.

Procesamiento y análisis

Las transcripciones se trabajaron como textos narrativos naturales, manteniendo la voz de los participantes y cuidando la coherencia discursiva (Camargo, 2021). Así mismo, se hizo un análisis temático (Braun y Clarke, 2006), siguiendo tres fases:

- Lectura profunda y codificación inicial.
- Construcción de categorías asociadas a discurso, inclusión/exclusión, trato diferenciado, relación docente-estudiante y factores emocionales.
- Síntesis en ejes analíticos: trato diferenciado, ansiedad, agencia estudiantil y reflexividad docente.

En el cuerpo del artículo se presentan fragmentos representativos de las entrevistas, organizados por ejes analíticos.

Consideraciones éticas

En el estudio se respetaron las orientaciones éticas de la investigación cualitativa (Camargo, 2021), asegurando *confidencialidad* y *consentimiento informado*. Se reconoció a los participantes como *sujetos de saber* y se les dio centralidad a sus voces en la interpretación de resultados.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

El análisis cualitativo permitió contrastar las perspectivas tripartitas (profesores, estudiantes activo y desertor) al revelar tensiones entre prácticas educativas, expectativas institucionales y experiencias individuales. A continuación, se presentan los hallazgos organizados en cuatro ejes analíticos: trato diferenciado, ansiedad, agencia estudiantil y reflexividad docente.

1. Trato diferenciado

Se evidenció una percepción constante de que los profesores ofrecen mayor atención y cercanía a aquellos estudiantes que muestran mayor facilidad con las matemáticas, lo que genera sensaciones de desigualdad y exclusión en quienes presentan dificultades.

Sujeto A (desertor, 7º semestre)

“Sí, percibí una diferencia muy marcada. Era evidente que existía un trato preferencial hacia aquellos estudiantes que demostraban mayor facilidad o un rendimiento superior en matemáticas desde el inicio. Mientras que a ellos se les podía ofrecer más atención, oportunidades o incluso un trato más cercano y alentador, aquellos que luchábamos más con la materia o que teníamos un ritmo de aprendizaje diferente a menudo nos sentíamos ignorados, menos valorados o incluso éramos objeto de comentarios que denotaban impaciencia o subestimación. Esta disparidad en el trato creaba una atmósfera de división y desánimo para una parte del estudiantado”.

Sujeto B (estudiante activo)

“Se puede sentir con los mismos profesores cuando les prestan más atención a los estudiantes que mejor rinden frente a los que no les va tan bien. No me hace sentir cómodo y me desalienta un poco, porque entonces uno cree que si opina va a decir una bobada, entonces mejor se queda callado y mira cómo soluciona las dudas fuera de clase”.

Profesor 2

“Los profesores tendemos a enfocar más la clase hacia los estudiantes que más están entendiendo... Los que menos participan o los que menos entienden reciben menos atención, y en ese sentido sí se refuerzan desigualdades”.

2. Ansiedad

El ambiente competitivo y las interacciones poco empáticas incrementan sentimientos de miedo, frustración y presión, hasta el punto de que llegan incluso a afectar la salud mental y motivar la deserción.

Sujeto A (desertor, 7º semestre)

“Mi salud mental se encontraba en un estado de deterioro considerable, y esto se manifestaba por medio de ataques de pánico cada vez más frecuentes e intensos. Sentía un agotamiento profundo, estaba ‘quemado’, atrapado en un círculo vicioso de frustración constante. Predominaba el miedo: miedo a no estar a la altura, miedo al fracaso, miedo al futuro. Me sentía como un ‘perdedor’, como si no fuera lo suficientemente capaz o inteligente”.

Sujeto B (estudiante activo)

“Es muy estresante. Creo que al ser estudiante de la carrera de Matemáticas los profesores ya asumen que vas a ser bueno en las clases de matemáticas, y cuando no se cumple con las expectativas puede ser decepcionante... Llegué a pensar en dejar la universidad porque algunos profesores me hicieron sentir que no era bueno para nada”.

3. Agencia estudiantil

A pesar de las tensiones, emergieron voces que reivindicaban la posibilidad de agencia, proponiendo cambios hacia ambientes más colaborativos y empáticos.

Sujeto A (desertor, 7º semestre)

“Considero fundamental que se trabaje activamente en construir una verdadera comunidad dentro de la carrera. Esto implica fomentar espacios seguros en los que cada estudiante, sin importar su nivel de habilidad, se sienta con la libertad de expresarse, pedir ayuda y también ofrecerla. Se podrían implementar programas de mentoría entre pares, grupos de estudio colaborativos y talleres enfocados en lo académico y en la salud mental”.

Profesor 2

“En mis cursos, lo que hago en los trabajos en grupo es mezclar estudiantes aventajados con estudiantes que no lo son tanto, porque ese tipo de discusiones pueden llevar a que los conceptos se aclaren colectivamente”.

Profesor 1

“Me gusta que todos los estudiantes pasen al tablero, así no tengan la respuesta correcta. La idea es hacer el ejercicio juntos, que sea un proceso compartido”.

4. Reflexividad docente

Los docentes reconocieron cómo sus propias prácticas pueden reforzar desigualdades, pero también señalaron procesos de cambio hacia enfoques más empáticos y equitativos.

Profesor 1

“Posiblemente sí, sobre todo antes, ya que yo pensaba que las cosas como las hacía otro profe que tuve estaban bien. Después cambié de parecer y me volví más empático. Ahora trato de que pasar al tablero no sea algo negativo, sino un ejercicio positivo”.

Profesor 2

“Reconozco que en una ocasión acepté que un estudiante aventajado remplazara a otra en un tema porque pensé que no alcanzaríamos el contenido. Fue una mala experiencia y seguramente la estudiante no se sintió bien. Aprendí de ese error y cambié mi forma de enseñar”.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**a) El discurso en el aula de matemáticas influye en la autoestima académica y emocional del estudiante**

Las entrevistas mostraron que los estudiantes perciben la enseñanza matemática como una práctica excluyente, donde el error se sanciona y escasean los espacios de apoyo pedagógico. Esta percepción deteriora la confianza en sus capacidades y puede conducir a la deserción, lo que coincide con lo planteado por Skovsmose y Nielsen (1996, citados en López y Ursini, 2007), quienes desde la educación matemática crítica advierten que las dinámicas áulicas reproducen estructuras de poder que marginan a quienes no se ajustan a modelos hegemónicos de aprendizaje. De manera similar, Torres (2022) enfatiza que el discurso docente configura identidades escolares, reforzando etiquetas que afectan la autopercepción estudiantil.

b) Existen dinámicas implícitas de exclusión según el nivel de habilidad percibido

Tanto estudiantes como docentes reconocen que se presta más atención a quienes muestran alto desempeño, mientras que quienes enfrentan dificultades tienden a sentirse ignorados o estigmatizados. Esta jerarquización simbólica (Valero, 2006; Skovsmose, 2012) clasifica quiénes son “aptos” para las matemáticas, produciendo en muchos casos la autoexclusión y la pérdida de sentido del aprendizaje. Como señalan Camelo et al. (2017), estas prácticas discursivas se convierten en mecanismos sutiles de exclusión que, aun cuando no intencionados, afectan en forma diferencial a quienes no encajan en los patrones esperados de “buen estudiante de matemáticas”.

c) El rol del docente es determinante en la experiencia educativa

La empatía, el diálogo y la creación de ambientes inclusivos emergen como factores decisivos en la motivación estudiantil. Si bien las matemáticas son parte del avance tecnológico y social, también distribuyen poder y recursos (Skovsmose y Nielsen, 1996). En consecuencia, los docentes deben ser conscientes del poder de su discurso, que puede legitimar o excluir a los estudiantes. Desde un enfoque situado, Torres (2022) subraya que el aula es también un espacio político en el que se construyen posibilidades de permanencia o exclusión.

d) La enseñanza de las matemáticas tiene una dimensión política y ética

Las prácticas educativas no son neutrales. Ignorar el contexto social y emocional de los estudiantes refuerza desigualdades y limita sus oportunidades de participación. Morales (2006) plantea que enseñar es también formar personas, y Valero (2006) advierte que las matemáticas escolares encarnan relaciones de poder que pueden reforzar procesos de segregación. Camelo et al. (2017) complementan al mostrar cómo la legitimación de ciertos discursos de éxito matemático excluye a quienes no responden a dichos parámetros, afectando su posibilidad de reconocerse como sujetos competentes.

e) Es necesario repensar las metodologías desde una perspectiva humana e inclusiva

Los hallazgos sugieren tres estrategias claves: programas de mentoría entre pares, aprendizaje colaborativo y formación docente en pedagogías críticas. Sin embargo, estas acciones solo tendrán sentido si se transforman los discursos que privilegian una filosofía modernista de las matemáticas, que las presenta como saber puro, abstracto e inaccesible. Como lo plantean Valero (2006), Skovsmose (2012) y Torres (2022), mientras se sigan reproduciendo discursos de poder que excluyen, ninguna intervención será suficiente.

f) El poder simbólico del discurso matemático se debe cuestionar

La afirmación de que es “imposible trivializar las matemáticas”, expresada por un profesor, refleja una visión modernista que las concibe como incuestionables y superiores. Esta mirada, como advierten Valero y Skovsmose, otorga a las matemáticas un poder de exclusión: solo algunos están “a la altura” de comprenderlas. Frente a ello, Camelo et al. (2017) proponen reconocer el carácter sociocultural de la práctica matemática, para devolverle un sentido democrático y participativo.

En consecuencia, incorporar valores como el respeto, la humildad, la paciencia y la equidad no solo mejora el ambiente de aula, sino que puede ser decisivo para reducir la deserción y promover un aprendizaje más significativo. Estas reflexiones, aun cuando situadas en un caso particular, permiten reconocer que el discurso matemático no es neutro: configura posibilidades de inclusión o exclusión en la educación superior.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (2015), en el objetivo de desarrollo sostenible (ODS) 4 se plantea garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad. Este estudio dialoga con el ODS 4 de la Agenda 2030, al mostrar que garantizar una educación inclusiva y de calidad no depende solamente de ampliar el acceso, sino también de transformar los discursos en el aula. Mientras persistan prácticas que legitimen la exclusión en matemáticas, el derecho a una educación superior equitativa seguirá siendo incompleto.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Este estudio es de carácter cualitativo y situado. Se realizó en una sola institución y con una muestra pequeña de cuatro participantes, por lo que no se busca una generalización estadística, sino profundizar en las voces de los actores y ofrecer claves interpretativas sobre cómo el discurso matemático puede incidir en la permanencia.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- Ampliar el análisis del discurso matemático a otras facultades e instituciones en Colombia y Latinoamérica.
- Estudiar el impacto de programas de mentoría y acompañamiento socioemocional en la permanencia de estudiantes de matemáticas.
- Analizar comparativamente cómo el discurso docente se vincula con políticas institucionales de permanencia y con el ODS 4 (Educación de calidad, inclusiva y equitativa).

RECOMENDACIONES

- **Mentoría y acompañamiento entre pares:** Fortalecer tutorías colaborativas que fortalezcan la confianza y el sentido de comunidad.
- **Evaluación inclusiva:** Promover prácticas formativas que valoren el error como oportunidad de aprendizaje, en lugar de usarlo como mecanismo de sanción.
- **Acompañamiento socioemocional:** Articular el bienestar psicológico con los procesos académicos, como parte de la permanencia institucional.
- **Formación docente crítica:** Capacitar a los docentes para reconocer y transformar los discursos de poder en el aula.
- **Articulación con políticas y ODS 4:** Conectar estas acciones con el Plan Nacional de Permanencia (MEN, 2023) y con el ODS 4, de modo que la enseñanza matemática contribuya a la equidad y la justicia social.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a los cuatro participantes en este estudio: dos profesores

del programa de Matemáticas, un estudiante en curso y un estudiante que desertó. Su apertura y su honestidad al compartir vivencias y reflexiones hicieron posible reconocer con mayor claridad cómo el discurso matemático, las prácticas docentes y las experiencias emocionales marcan las trayectorias de permanencia o abandono en la formación universitaria.

REFERENCIAS

- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2024). *The state of education in Latin America and the Caribbean 2023*. BID. <https://doi.org/10.18235/0005515>
- Braun, V., y Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Bruns, B., y Luque, J. (2014). *Great teachers: how to raise student learning in Latin America and the Caribbean*. World Bank.
- Camargo Uribe, L. (2021). *Estrategias cualitativas de investigación en educación matemática: recursos para la captura de información y el análisis*. Bogotá y Medellín: Universidad Pedagógica Nacional / Universidad de Antioquia.
- Camelo, F. J., Mancera, G., y Salazar, C. (2017). Una mirada a la equidad en nuestras prácticas desde la dimensión política de la educación matemática. *Revista Colombiana de Educación*, 73, 283-300. <https://doi.org/10.17227/01203916.73rce281.298>
- Casassus, J. (2011). *La educación latinoamericana en la encrucijada*. Unesco.
- Gentili, P. (2013). *La educación en América Latina: entre la desigualdad y la exclusión*. Clacso.
- Gutiérrez, R. (2018). The need to rehumanize mathematics. En I. Goffney y R. Gutiérrez (eds.), *Rehumanizing mathematics for black, indigenous, and latinx students* (pp. 1-10). National Council of Teachers of Mathematics.
- Kahu, E. R., y Nelson, K. (2018). Student engagement in the educational interface: understanding the mechanisms of student success. *Higher Education Research & Development*, 37(1), 58-71. <https://doi.org/10.1080/07294360.2017.1344197>
- Kvale, S., y Brinkmann, S. (2009). *Interviews: learning the craft of qualitative research interviewing* (2ª ed.). Sage.
- López, A., y Ursini, S. (2007). Investigación en educación matemática y sus fundamentos filosóficos. *Educación Matemática*, 19(3), 91-113. <https://doi.org/10.24844/EM1903.04>
- Middleton, J. A., Jansen, A., y Goldin, G. A. (2022). *Equity in mathematics education: addressing a changing world*. Information Age Publishing.
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia (2023). *Sistema de Prevención y Análisis de la Deserción en las Instituciones de Educación Superior (Spadies)*. Bogotá: MEN. <https://www.mineduacion.gov.co>
- Morales, P. (2006). Docencia y valores. *Letras de Deusto*, 36(111), 213-232.
- Organización de las Naciones Unidas (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. ONU. <https://sdgs.un.org/goals>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2023). *Education at a Glance 2023: OECD Indicators*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/69096873-en>
- Parra Ortega, J. E. (2020). Cultura académica y deserción estudiantil en educación superior: una mirada desde la cotidianidad. *Revista Colombiana de Educación*, 1(80), 59-82. <https://doi.org/10.17227/rce.num80-10207>
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods* (3ª ed.). Sage.
- Pontificia Universidad Javeriana (2023). *Informe sobre la deserción en la educación superior en Colombia*. Observatorio de la Educación. Pontificia Universidad Javeriana. <https://www.javeriana.edu.co/recursosdb/5581483/8102914/INFORME-74-DESERCIÓN-EDU-SUPERIOR2023.pdf>
- Skovsmose, O. (1994). *Towards a philosophy of critical mathematics education*. Kluwer Academic Publishers.
- Skovsmose, O. (2012). Porvenir. En A. Ruiz y J. Barrios (eds.), *Educación matemática crítica: una visión sociopolítica del aprendizaje matemático* (pp. 13-31). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Tinto, V. (2017). Reflections on student persistence. *Student Success*, 8(2), 1-8. <https://doi.org/10.5204/ssj.v8i2.376>
- Tinto, V. (2023). *Completing college: rethinking institutional action* (2ª ed.). University of Chicago Press.
- Torres-Duarte, J. (2022). Miradas críticas en la educación matemática. *Revista Colombiana de Educación*, 86, 321-342. <https://doi.org/10.17227/rce.num86-12090>
- Valero, P. (2006). ¿De carne y hueso? La vida social y política de las competencias matemáticas. *Revista Educación Matemática*, 18(2), 109-130.
- Valero, P., Andrade-Molina, M., y Montecino, A. (2015). Lo político en la educación matemática: de la educación matemática crítica a la política cultural de la educación matemática. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 18(3), 1-20. <https://doi.org/10.12802/relime.13.1830>
- Vanegas, Y., D'Ambrosio, U., y Giménez, J. (2019). Discurso docente y prácticas democráticas en matemáticas. *Revista Latinoamericana de Matemática Educativa*, 22(3), 341-360.

Cambio climático: ¿cuál es la responsabilidad de la educación superior en Colombia?

Climate change: what is the role of higher education in Colombia?

JUAN ANTONIO ACOSTA GEMPELER

Ingeniero Mecánico. Especialista en centrales hidroeléctricas y dirección de proyectos. Profesor de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7303-4287>

juan.acosta@escuelaing.edu.co

Recibido: 15/02/2025 Aceptado: 25/03/2025

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

A lo largo de este artículo se reflexiona sobre el papel de las universidades en la mitigación del cambio climático, a partir de un análisis documental y crítico de su evolución histórica y de la fragmentación del conocimiento. Se parte de la tesis de que la especialización excesiva ha debilitado la formación integral y la conciencia ambiental de los profesionales. Se propone incorporar la sostenibilidad como eje transversal en los currículos universitarios y fomentar la transdisciplinariedad para articular ciencia, ética y sociedad en la defensa del medio ambiente. La reflexión se basa en una revisión de fuentes publicadas entre 2008 y 2022 y en la experiencia académica del autor, lo que permite integrar teoría y práctica desde el contexto colombiano.

En el texto se plantean recomendaciones para transformar la educación superior hacia modelos de enseñanza más responsables con la sostenibilidad y el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), al tiempo que se destaca el papel estratégico de las universidades como agentes de cambio frente a la crisis climática.

Palabras claves: medio ambiente y educación, universidades y protección de la naturaleza, integralidad del conocimiento.

Abstract

This article reflects on the role and responsibility of universities in addressing climate change, emphasizing the historical evolution of higher education, the fragmentation of knowledge, and its consequences on environmental awareness. It argues that universities must reform curricula and methodologies to foster integral professionals capable of protecting biodiversity and promoting sustainable technological development. The discussion also highlights the need for a transdisciplinary approach that links science, society, and environmental ethics to tackle the ongoing climate crisis. The reflection is based on a documentary review of sources published between 2008 and 2022, complemented by the author's academic experience in higher education, which allows integrating theory and practice within the Colombian context.

The paper proposes recommendations to reorient higher education toward models that strengthen environmental responsibility, promote sustainability as a transversal principle in university programs, and align teaching and research with the Sustainable Development Goals (SDGs), reinforcing universities as key agents of transformation.

Keywords: environmental education, higher education and sustainability, transdisciplinary knowledge.

INTRODUCCIÓN

Mucho se habla del cambio climático y de su influencia en el futuro del mundo, pues no se está discutiendo sobre un fenómeno local sino sobre una situación global. Según las palabras del presidente de la república, Gustavo Petro, aunque nuestra influencia como país no es excesivamente significativa (Colombia aporta cerca del 0,7 % del CO₂ que genera gases de efecto invernadero, de acuerdo con resultados estadísticos del 2018, por lo que contribuye muy poco al calentamiento global), si cada uno de los gobiernos del mundo no toma cartas en el asunto y no emprende las acciones necesarias, no solo para mitigar este cambio climático sino para producir un retroceso en la situación actual, el planeta Tierra enfrentará, a mediano plazo, la completa extinción de la raza humana y, probablemente, de la vida como la conocemos.

Las reuniones celebradas en el ámbito internacional para lograr acciones mitigantes del cambio climático, como la COP15, sobre la polución producida por los plásticos, y la COP27, sobre protección a la biodiversidad, solo han dado como resultado la conciencia de que no estamos haciendo lo suficiente, que la temperatura en la Tierra continúa aumentando lenta pero inexorablemente, y que la contaminación ambiental producida por los desechos plásticos (de hecho, por toda la cadena de producción de estos) está produciendo efectos que pueden ser irreversibles.

De acuerdo con una investigación publicada por la *National Geographic* en 2023, “Técnicamente (...), para frenar las tendencias en curso hará falta algo más que eliminar progresivamente los combustibles fósiles. De hecho, las vías para frenar el aumento de la temperatura global en 1,5 o 2 grados centígrados, los dos objetivos señalados por el IPCC, dependen de alguna manera de la adopción de métodos para succionar CO₂ del cielo (sic)”, por lo que resulta prioritario que se establezcan cuáles son las acciones que deberíamos emprender para remover el CO₂ que ya está acumulado en la atmósfera.

Frente a este panorama, la educación superior debe desempeñar un papel estratégico. Más allá de la generación de conocimiento científico y tecnológico, las universidades tienen la responsabilidad de formar ciudadanos y profesionales capaces de comprender la complejidad de la crisis ambiental y de actuar éticamente ante esta. En el caso colombiano, este desafío implica

revisar críticamente los modelos educativos, los currículos y la orientación de la investigación universitaria, para determinar en qué medida contribuyen o no a la sostenibilidad y al cumplimiento de los compromisos climáticos globales.

Seguidamente, se puede preguntar: ¿qué tiene que ver esto con las universidades? ¿Cuál es la responsabilidad de la educación superior en esta lucha contra el calentamiento global y la contaminación ambiental?

El objetivo de este artículo es reflexionar sobre la responsabilidad de la educación superior colombiana frente a la crisis climática, analizando su papel histórico, los efectos de la fragmentación del conocimiento y las posibilidades de transformación curricular. El texto se organiza en tres partes: un repaso histórico del papel de las universidades, un análisis de la relación entre conocimiento y sostenibilidad, y unas conclusiones con recomendaciones para la acción institucional.

Con este análisis se busca contribuir a la discusión contemporánea sobre el papel de la educación superior en la transición hacia modelos de desarrollo sostenible, en coherencia con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y las políticas nacionales de cambio climático.

METODOLOGÍA

La reflexión se fundamenta en una revisión documental complementada con la experiencia académica del autor en la docencia universitaria, lo que permite articular teoría y práctica en torno a la formación ambiental. Para el efecto, se consultaron alrededor de veinte documentos (de los cuales, los diez principales se registran en las referencias al final del texto), publicados entre el 2008 y el 2022. La selección de las fuentes se basó en su relevancia para los temas de educación superior, sostenibilidad y cambio climático, priorizando enfoques críticos y transdisciplinarios.

El análisis se hizo desde una perspectiva cualitativa e interpretativa, orientada a identificar cómo la fragmentación del conocimiento y los modelos de progreso económico influyen en la capacidad institucional de las universidades para incorporar la sostenibilidad en su misión formativa. Con este enfoque hermenéutico se busca generar una reflexión académica más que una comprobación empírica, integrando la experiencia docente como parte del proceso de análisis.

Evolución histórica y fragmentación del conocimiento universitario

Desde tiempos inmemoriales, los seres humanos han manifestado una profunda sed de conocimiento. La curiosidad, una de sus características más notables, impulsó la búsqueda constante de explicaciones sobre el mundo. Con la invención de la imprenta y la aparición de la enciclopedia, el conocimiento se comenzó a universalizar, lo que permitió que los estudiantes siguieran a maestros que poseían saberes especializados en determinadas artes o ciencias. Por medio del diálogo, la lectura guiada y la práctica, los discípulos adquirían destrezas y algunos se convertían también en maestros, reproduciendo así el ciclo del aprendizaje.

Con el paso del tiempo, las personas ilustradas enfrentaron nuevos retos —intelectuales, físicos y técnicos— que exigían soluciones sistemáticas. Surgieron, entonces, preguntas fundamentales: ¿de dónde venimos?, ¿por qué enfermamos?, ¿cómo construir un puente o llevar agua de un sitio a otro? Muchos de estos saberes existían, pero estaban restringidos a unos pocos o monopolizados por gremios. Cuando los discípulos se empezaron a reunir con los maestros para resolver problemas comunes, nació la necesidad de institucionalizar el aprendizaje. Así aparecieron las universidades, comunidades de maestros y estudiantes dedicadas al estudio y la enseñanza. El término *universidad* proviene del latín *universitas magistrorum et scholarium*, que significa precisamente ‘comunidad de maestros y escolares’.

Desde su origen, la universidad se concibió como un espacio de encuentro y de construcción colectiva del saber, donde la diversidad de perspectivas nutría el pensamiento crítico; sin embargo, esa vocación universal se ha ido transformando con el tiempo, en parte por la presión de los modelos productivos y tecnológicos contemporáneos. Comprender esta evolución resulta esencial para analizar las tensiones actuales entre conocimiento, desarrollo y sostenibilidad.

Las primeras universidades reconocidas históricamente como tales fueron la de París (1256) y la de Bolonia (1317), fundadas con base en modelos distintos: la primera, impulsada por académicos que decidían qué enseñar; la segunda, creada por estudiantes que determinaban qué querían aprender y buscaban a los maestros adecuados. Con el tiempo, ambas evolucionaron hacia una organización disciplinar, especialmente a partir de los siglos XVIII y XIX, consolidando así el

modelo moderno de universidad, centrado en campos del conocimiento específicos.

Este tránsito hacia la especialización también redefinió la misión universitaria, aunque permitió avances notables en la ciencia y la técnica. La formación integral y humanista cedió terreno frente a la eficiencia y la competitividad, valores propios de la modernidad industrial. De este modo, el conocimiento se dejó de concebir como un tejido interdependiente y se comenzó a organizar en estructuras jerárquicas y fragmentadas, lo que modificó profundamente la relación entre el ser humano, la naturaleza y la sociedad.

La Ilustración y el pensamiento moderno introdujeron una nueva visión del saber. Wilhelm von Humboldt propuso, en su modelo de la Universidad de Berlín, la unión entre docencia e investigación como base de la libertad académica, mientras que John Henry Newman (1852) defendió la educación liberal como medio para formar el juicio moral y la razón. Estas ideas, aunque fortalecieron la autonomía intelectual y científica, también sentaron las bases para la creciente *especialización disciplinar* que caracterizó a la universidad contemporánea (Morin, 1999).

Esta especialización, si bien impulsó avances notables en la ciencia y la tecnología, produjo una profunda fragmentación del conocimiento. Se delimitó el saber en compartimientos, se jerarquizaron las disciplinas y se debilitó la visión del conocimiento como un sistema interdependiente. La cooperación entre campos se volvió excepcional, y a los saberes experienciales y humanísticos los fueron marginando progresivamente frente a los saberes técnicos.

En este contexto, surge un interrogante crucial: ¿las universidades están cumpliendo su misión de formar profesionales verdaderamente integrales? La división del conocimiento ha conducido a una comprensión parcial de la realidad y, en consecuencia, a decisiones que desconocen la complejidad de los problemas globales. Tal como advierte Morin (1999), la incapacidad de conectar los saberes impide enfrentar en forma adecuada los desafíos de la civilización planetaria.

En el contexto latinoamericano, particularmente en Colombia, esta fragmentación ha tenido repercusiones evidentes. Los planes de estudio universitarios, en su mayoría, continúan privilegiando la formación técnica y profesional sobre la reflexión ética y ambiental. Pese a los esfuerzos recientes por incorporar la sostenibilidad

en algunas instituciones, persiste una brecha entre la retórica institucional y la práctica educativa, distancia que limita la capacidad de las universidades para responder integralmente a los desafíos del cambio climático.

Esta fragmentación tiene repercusiones directas en la comprensión del cambio climático y la crisis ambiental. Los fenómenos ecológicos no se pueden abordar desde una sola disciplina, puesto que involucran factores físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales interrelacionados; no obstante, el modelo de universidad moderna, orientado a la especialización, ha dificultado la formación de profesionales capaces de integrar estas dimensiones. La pérdida de una visión sistémica limita la capacidad de diseñar soluciones sostenibles, de comprender las interdependencias entre los ecosistemas y la sociedad, así como de anticipar los impactos de las acciones humanas sobre el planeta.

Por esto, repensar el papel histórico de las universidades no solo implica revisar su origen y evolución institucional, sino también reconocer que su estructura actual influye directamente en la manera como las sociedades entienden —o no— las causas profundas del cambio climático. La recuperación de la integralidad del conocimiento, desde una perspectiva transdisciplinaria y ecológica, se presenta hoy como una condición indispensable para la supervivencia planetaria.

Esta herencia de fragmentación disciplinar explica, en parte, las dificultades actuales de las universidades para integrar la sostenibilidad en sus procesos de formación. En efecto, gracias al descubrimiento y la utilización indiscriminada de combustibles fósiles la humanidad pudo desarrollar la industria textil, la metalurgia (con la evolución del acero), la mecánica (con base en los motores de combustión interna) o la electrónica (desarrollo de los sistemas de cómputo y los teléfonos celulares), de tal manera que hoy en día la economía mundial depende casi por completo de productos y tecnologías de base fósil.

Y, todo ese progreso, ¿controlado y balanceado por cuál de los saberes? Aparentemente, vistos los resultados, por ninguno; o bien otros campos del saber diferentes del técnico y económico han hecho cuestionamientos a este desmedido progreso, sin resultado alguno, o bien ninguno lo hizo mientras se lograra el progreso industrial y económico de los empresarios y de las naciones. Es así como, solo 200 años después, la humanidad se despierta y comienza a cuestionar los

resultados del progreso y a advertir de las consecuencias nefastas de los desechos plásticos y las emisiones de CO₂, no solamente por el egoísmo y la ambición de los seres humanos, sino porque desmembramos el conocimiento y, en consecuencia, la conciencia y la necesidad de proteger la vida en el planeta.

Esta mirada retrospectiva muestra que la crisis ambiental contemporánea no se puede entender sin reconocer la crisis epistemológica que la antecede. La fragmentación del conocimiento no solo afectó la estructura académica de las universidades, sino también la forma como las sociedades interpretan su relación con la naturaleza. Recuperar una visión sistémica e integradora del saber se convierte, entonces, en una tarea urgente para la educación superior.

Y en este proceso, ¿dónde estaban las universidades como responsables de la formación de miles de jóvenes? Enseñando a desarrollar tecnologías con base en los descubrimientos de nuevos materiales y formando profesionales para que fueran parte de las industrias cuyo propósito principal seguía siendo el progreso económico como factor fundamental de éxito, tal como apuntaban, con contadas excepciones, las teorías económicas neoliberales que se estudian en las mismas universidades.

En otras palabras, vale la pena traer a colación lo que mencionan Guzmán y Ruiz (2022) al respecto:

Si bien las universidades han hecho una enorme contribución para la acción climática y la biodiversidad al diagnóstico de la crisis y a posibles salidas (no exhaustivas, hay que subrayarlo, por estar muchas de ellas atadas a la racionalidad científico-tecnológica que es inherente a la idea del progreso), al mismo tiempo han contribuido sustancialmente a mantener el *statu quo* en forma muy similar a como lo hacen, anualmente, las peregrinaciones de empresarios y gobiernos al Foro Económico Mundial de Davos.

La falta de cuestionamiento de la idea de progreso en las universidades tiene su mayor y más grave expresión en las escuelas de economía (Stoddard et al., 2021), puesto que fue en ellas donde se concibió el modelo económico predominante, el del neoliberalismo (recuérdese la Escuela de Economía de Chicago), y es en ellas donde se ha refinado, se ha difundido por medio de sus programas de formación, y se ha legitimado mediante sus programas de investigación e intervenciones directas en las políticas económicas. Y, como se ha

reiterado, en este modelo reside la principal explicación de las actuales crisis ambiental y social que, a su vez, están fuertemente interrelacionadas.

Universidades y la idea de progreso

En los últimos cuarenta años, la noción de progreso se ha consolidado como un paradigma económico y cultural basado en el crecimiento indefinido y en la ganancia financiera como medida del bienestar social. Esta visión, como señalan Guzmán y Ruiz (2022), se arraigó profundamente en las estructuras productivas y educativas, e identificó el desarrollo humano con el consumo material. Tal interpretación del progreso ha contribuido a la transgresión de los límites ecológicos del planeta (Stoddard et al., 2021; Steffen et al., 2015) y a la concentración de la riqueza, en detrimento de la equidad social (Piketty, 2014).

Este modelo de desarrollo ha tenido impactos diferenciales en los países del sur global, donde las universidades enfrentan el doble reto de formar capital humano competitivo y, al mismo tiempo, responder a realidades socioambientales profundamente desiguales. En Latinoamérica, las instituciones de educación superior han tenido que operar en contextos de limitaciones presupuestales y presiones productivas que refuerzan la dependencia tecnológica y económica. En Colombia, esta tensión se traduce en una brecha entre la investigación científica orientada al mercado y aquella que busca soluciones sostenibles e inclusivas para los territorios.

Las universidades, lejos de ser simples observadoras, han desempeñado un papel ambivalente en este proceso. Por una parte, han sido centros de producción científica que permitieron los avances tecnológicos y sociales de la modernidad, pero, por otra, sus estructuras académicas y sus lógicas de investigación se integraron en el mismo modelo económico que hoy se cuestiona; en consecuencia, el conocimiento universitario ha tendido a reforzar la racionalidad técnico-económica que prioriza la eficiencia y la competitividad sobre la sostenibilidad y el bien común (Hinton, 2021).

Este desplazamiento de los fines educativos hacia la productividad ha debilitado la función ética y formativa de la universidad. Las competencias técnicas se han privilegiado por encima de las competencias socioambientales y humanísticas, reproduciendo una lógica instrumental del conocimiento. La formación

universitaria, por tanto, corre el riesgo de convertirse en un medio para sostener un sistema económico insostenible, en lugar de constituirse en un espacio para su transformación crítica.

Esta contradicción se expresa en una tensión central: el progreso económico que las universidades han impulsado ha sido también causa de la crisis ambiental que ahora deben ayudar a resolver. La especialización disciplinar, útil para el desarrollo científico, ha fragmentado la comprensión de los fenómenos complejos, entre ellos el cambio climático; de este modo, se ha perdido la capacidad de analizar las relaciones entre economía, naturaleza y sociedad, reduciendo los problemas ambientales a aspectos puramente técnicos o sectoriales.

Frente a este panorama, en el ámbito internacional varias universidades han replanteado su papel en la sociedad, integrando la sostenibilidad en su misión institucional. Se han desarrollado programas de formación transversal sobre cambio climático, campus neutros en carbono, al igual que líneas de investigación interdisciplinarias que articulan ciencia, tecnología, ética y responsabilidad social (Morin, 1999; Sachs, 2015).

En el país, aunque este proceso avanza lentamente, existen ejemplos significativos. La Universidad Nacional de Colombia ha implementado políticas institucionales para la neutralidad de carbono y la gestión integral de residuos. A su vez, la Pontificia Universidad Javeriana incorporó los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) como eje transversal de su Plan Estratégico 2023-2030, promoviendo la investigación aplicada en sostenibilidad urbana y biodiversidad. Por su parte, la Universidad del Rosario ha desarrollado programas de innovación sostenible y medición de huella ecológica en sus campus.

La Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, desde su enfoque de ingeniería aplicada, ha avanzado en la formación de profesionales comprometidos con la sostenibilidad por medio de programas en energías renovables y gestión de recursos hídricos. Estas experiencias demuestran que es posible reorientar la educación superior hacia una visión más integral del desarrollo, en la que el conocimiento técnico se ponga al servicio de la vida y del equilibrio ambiental.

Pese a estos avances, todavía persiste una fuerte desigualdad en la incorporación de la sostenibilidad en las universidades del país. La mayoría de las instituciones regionales o de menor escala carecen de políticas ambientales integrales o de recursos suficientes para im-

plementar programas de carbono neutro o investigación interdisciplinaria. Este panorama pone de manifiesto la necesidad de fortalecer las redes interuniversitarias y de establecer lineamientos nacionales que garanticen la coherencia entre las políticas educativas y los compromisos climáticos del Estado colombiano.

Sin embargo, el reto sigue siendo estructural. Mientras la sostenibilidad no se asuma como un principio transversal en todos los programas de pregrado, las universidades continuarán formando profesionales fragmentados, incapaces de articular los desafíos ambientales, económicos y sociales. Superar esta brecha implica repensar el concepto mismo de progreso, sustituyendo el paradigma de crecimiento ilimitado por uno de desarrollo sostenible e interdependencia planetaria, tal como propone Morin (1999) con su noción de “pensamiento complejo”.

Reconfigurar el papel de la universidad significa, en última instancia, reconciliar el conocimiento con la vida. Formar ingenieros, economistas, científicos y ciudadanos capaces de comprender la unidad de la biosfera es hoy una urgencia civilizatoria; solo así el progreso volverá a ser sinónimo de futuro y no de destrucción.

Repensar la idea de progreso implica, por tanto, redefinir el sentido de la universidad contemporánea. No se trata tan solo de innovar tecnológicamente, sino de promover una ética del conocimiento orientada a la vida. Las universidades colombianas tienen la oportunidad de liderar este cambio, articulando la investigación, la docencia y la extensión con la defensa de los bienes comunes, la equidad territorial y la sostenibilidad planetaria.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La reflexión que se hace en este artículo evidencia una carencia estructural en la educación superior colombiana: la ausencia de currículos de pregrado que promuevan de manera sistemática la *conciencia ambiental* y cuestionen críticamente el modelo de progreso basado únicamente en el beneficio económico. Aun cuando existen programas de posgrado e iniciativas específicas, la formación transversal en sostenibilidad sigue siendo marginal y fragmentada, situación que contribuye a la reproducción de un paradigma de desarrollo que ha acelerado tanto la crisis climática como la degradación ambiental.

Este diagnóstico evidencia un vacío curricular, así como también una carencia en la misión misma de la educación superior. En Colombia, las políticas universitarias en torno a la sostenibilidad se han desarrollado de manera desigual y desarticulada, dependiendo de la voluntad institucional más que de una política pública coherente. Las universidades, por tanto, se encuentran ante el reto de pasar de los compromisos declarativos a la transformación efectiva de sus estructuras académicas, investigativas y administrativas.

El análisis de este artículo sugiere que las universidades no solo han sido testigos pasivos, sino actores que, en muchos casos, han perpetuado una visión de progreso desligada de la integralidad del conocimiento y de su responsabilidad socioambiental. El reto actual exige superar esa fragmentación disciplinaria y avanzar hacia modelos educativos que integren ética, sostenibilidad y transdisciplinariedad como ejes rectores de la formación profesional.

Asumir este papel transformador implica repensar los contenidos curriculares, al igual que los métodos pedagógicos, las prácticas institucionales y los indicadores de calidad que orientan la educación superior. La sostenibilidad no se puede entender como un componente aislado, sino como una ética transversal que guíe las decisiones formativas, investigativas y de gestión universitaria.

Como consecuencia de esto, se sugieren las siguientes acciones:

1. **Transformación curricular:** Incorporar la sostenibilidad como principio transversal en todos los programas de pregrado, asegurando que cada estudiante, independientemente de su disciplina, reciba formación en cambio climático, ética ambiental y responsabilidad social.
2. **Cátedras de sostenibilidad obligatorias:** Crear asignaturas comunes para todos los programas, orientadas a comprender las relaciones entre sociedad, economía y ambiente, así como a promover valores de cuidado, equidad intergeneracional y respeto por la biodiversidad.
3. **Proyectos interdisciplinarios:** Impulsar espacios de investigación y aprendizaje colaborativo entre distintas facultades, que permitan abordar problemas ambientales complejos desde perspectivas complementarias (ingeniería, ciencias sociales, economía, salud, artes).

4. Vinculación con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS): Alinear planes de estudio, proyectos de investigación y programas de extensión con las metas de la Agenda 2030, fortaleciendo así el papel de las universidades como agentes de transformación global.

En este marco, las universidades colombianas pueden desempeñar un papel de liderazgo regional en la construcción de una educación superior comprometida con la sostenibilidad. Iniciativas como redes de campus sostenibles, alianzas interinstitucionales para la gestión ambiental o programas conjuntos de investigación aplicada pueden consolidar una cultura académica orientada al bien común y al equilibrio ecosistémico. Este liderazgo requiere voluntad institucional, inversión en formación docente y mecanismos de evaluación que reconozcan el impacto ambiental y social de la educación.

Como resultado de la reflexión hecha, es posible afirmar que la educación superior colombiana debe pasar de una postura reactiva a una proactiva frente a la crisis climática. Formar profesionales integrales, capaces de innovar de modo sostenible y de defender el medio ambiente en cada una de sus áreas de actuación, es no solo un compromiso académico, sino una responsabilidad ética inaplazable frente al planeta y las generaciones futuras. La universidad del siglo XXI está llamada a ser un espacio de convergencia entre conocimiento, sensibilidad y acción, en el que el progreso recupere su sentido original: ser garante de la continuidad de la vida en todas sus formas.

Agradecimientos y contribuciones

El autor reconoce que, sin la oportunidad de participar en la formación de ingenieros, dada por la Universidad Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, nada de esto se habría podido escribir. Especiales agradecimientos al doctor Eduardo Silva y a la doctora Myriam Angarita por su apoyo y consejo a lo largo de estos años de dedicación a la docencia universitaria.

El autor reconoce, además, el uso de ChatGPT como apoyo en la redacción y traducción del texto, pero con su supervisión completa.

REFERENCIAS

- Ambientum (2022). *COP27: las emisiones históricas del sector de la construcción*. Ambientum. <https://www.ambientum.com>
- Cadena SER (2022, 20 de noviembre). *La COP 27 concluyó sin acuerdo para reducir las emisiones de CO₂, pero creó un fondo para financiar los daños climáticos de los países más vulnerables*. <https://cadenaser.com/nacional/2022/11/20/la-cop-27-concluye-sin-acuerdo>
- Chuaqui, B. (2002). Acerca de la historia de las universidades. *Revista Chilena de Pediatría*, 73(5), 529-534.
- Delory-Momberger, C. (2021). Formación, saberes experienciales y aprendizaje biográfico. *Espacios en Blanco. Revista de Educación*, 31, 341-350.
- Guzmán, M., y Ruiz, J. P. (2022). *Convergencias ciudadanas para la acción climática y la biodiversidad*. Friedrich-Ebert-Stiftung en Colombia (Fescol).
- Hinton, J. (2021). *Rethinking economic growth and sustainability*. University of Stockholm Press.
- Humboldt, W. von (1810/1970). *On the internal and external organization of the higher scientific institutions in Berlin*.
- Moncada, J. S. (2008). La universidad: un acercamiento histórico-filosófico. *Ideas y Valores*, 57(139), 85-102.
- Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Unesco.
- National Geographic (2023). ¿Qué es el efecto invernadero? *National Geographic Journal*. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/gases-efecto-invernadero-que-son-efectos>
- Newman, J. H. (1852). *The idea of a university*. Longmans, Green and Co.
- OpenAI (2023). *ChatGPT* (Mar 14 version) [Large language model]. <https://chat.openai.com/>
- Piketty, T. (2014). *Capital in the twenty-first century*. Harvard University Press.
- Pontificia Universidad Javeriana (2023). *Plan Estratégico Institucional 2023-2030*. Bogotá: PUJ.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... y Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Stoddard, I., Anderson, K., Capstick, S., Carton, W., Depledge, J., Facer, K., ... y Williams, M. (2021). Three decades of climate mitigation: why haven't we bent the global emissions curve? *Annual Review of Environment and Resources*, 46, 653-689. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-011104>
- Universidad del Rosario (2022). *Informe de sostenibilidad institucional 2021-2022*. Bogotá: UR.
- Universidad Nacional de Colombia (2023). *Política de sostenibilidad y carbono neutro*. UNAL.

Efecto de la fibra de coco en propiedades mecánicas de suelos A-4

Effect of coir on the mechanical properties of A-4 soils

MIGUEL ÁNGEL BRINDIS TERATOL¹ - EDWIN GIOVANNY HORMAZA GUEVARA²

1. Estudiante del programa de Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica de la Selva. México.

2. Magíster en Ingeniería Civil con Énfasis en Geotecnia. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9562-0248>

miguebrindis@gmail.com - edwin.hormaza@escuelaing.edu.co

Recibido: 02/02/2025 Aceptado: 15/03/2025

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

La estabilización de suelos con fibras naturales representa una alternativa sostenible a los métodos químicos tradicionales, ofrece beneficios ambientales mientras mantiene efectividad técnica (Medina-Martínez et al., 2022). Entre las fibras disponibles, la fibra de coco tiene propiedades mecánicas favorables y se produce abundantemente en regiones tropicales (Asha'ari et al., 2022), aunque en pocas investigaciones se ha abordado su aplicación en suelos A-4.

Se evaluó el efecto de la adición de fibra de coco sin tratar en la resistencia al corte no drenada, así como el módulo de elasticidad de un suelo A-4 mediante ensayos de compresión confinada (ASTM D2166). Se prepararon trece configuraciones con contenidos de fibra de 0,5 %, 1,0 %, 1,5 % y 2,0 %, y longitudes de 8 mm, 15 mm y 20 mm, en condiciones controladas de humedad óptima (11,4 %) y densidad seca máxima (1,9 g/cm³).

Los resultados muestran incrementos máximos de 300 % en resistencia al corte no drenada (1168 kPa) y 99,6 % en módulo de elasticidad (48,5 MPa) con respecto al suelo natural (292 kPa y 24,3 MPa). Se identificó interacción significativa entre porcentaje y longitud: fibras cortas (8 mm) alcanzan su óptimo al 1,5 %, en tanto que fibras largas (15-20 mm) mantienen mejoras sostenidas hasta 2,0 %. A su vez, la configuración óptima corresponde a 20 mm al 1,5 %.

Estos resultados confirman la viabilidad técnica de la fibra de coco como estabilizante sostenible para suelos limosos de baja plasticidad en aplicaciones de infraestructura vial.

Palabras claves: estabilización de suelos, fibras de coco, fibras naturales, sostenibilidad.

Abstract

Soil stabilization with natural fibers represents a sustainable alternative to traditional chemical methods, offering environmental benefits while maintaining technical effectiveness (Medina-Martínez et al., 2022). Among available fibers, coir exhibits favorable mechanical properties and is abundantly produced in tropical regions (Asha'ari et al., 2022), although few investigations have addressed its application in A-4 soils. The effect of untreated coir addition on undrained shear strength and elastic modulus of an A-4 soil was evaluated through unconfined compression tests (ASTM D2166). Thirteen different configurations were prepared with fiber contents of 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, and 2.0 %, and lengths of 8 mm, 15 mm, and 20 mm, under controlled conditions of optimum moisture content (11.4 %) and maximum dry density (1.9 g/cm³). Results show maximum increases of 300 % in undrained shear strength (1168 kPa) and 99.6 % in elastic modulus (48.5 MPa) compared to

natural soil (292 kPa and 24.3 MPa). A significant interaction between percentage and length was identified: short fibers (8 mm) reach their optimum at 1.5 %, while longer fibers (15-20 mm) maintain sustained improvements up to 2.0 %. The optimal configuration corresponds to 20 mm at 1.5 %.

These results confirm the technical viability of coir as a sustainable stabilizer for low-plasticity silty soils in road infrastructure applications.

Keywords: soil stabilization, coir, natural fibers, sustainability.

INTRODUCCIÓN

La estabilización de suelos constituye una práctica fundamental en la ingeniería geotécnica moderna, orientada a mejorar las propiedades mecánicas de materiales que presentan limitaciones para su uso directo en obras de infraestructura (Medina-Martínez et al., 2022). Tradicionalmente, esta estabilización se ha hecho mediante la incorporación de aditivos químicos como cemento, cal o asfalto, los cuales, si bien resultan efectivos desde el punto de vista técnico, presentan desventajas significativas en materia de impacto ambiental, consumo energético y costos asociados (Salazar et al., 2023). La producción de cemento, por ejemplo, es intensiva en energía y responsable de emisiones significativas de dióxido de carbono, lo que contribuye al efecto invernadero global (Shukla et al., 2021).

La creciente conciencia sobre la sostenibilidad en la construcción ha impulsado la búsqueda de opciones ambientalmente responsables, como las fibras naturales, que mantienen o mejoran la efectividad técnica de los métodos convencionales (Medina-Martínez et al., 2022). Entre las fibras naturales disponibles, la fibra de coco representa una opción particularmente atractiva debido a su abundancia en regiones tropicales, bajo costo, resistencia tensional adecuada (95-230 MPa) y biodegradabilidad controlada (Sivakumar Babu y Vasudevan, 2008). En investigaciones previas se ha demostrado que la incorporación de fibras de coco en matrices de suelo puede incrementar la resistencia al corte entre 35 y 60 % (Consoli et al., 2005; Anggraini et al., 2015), mejorando además la ductilidad del material compuesto. Comparativamente, fibras sintéticas como el polipropileno han mostrado incrementos similares (50-80 %), aun cuando con un impacto ambiental considerablemente mayor (Tang et al., 2007).

Los suelos clasificados como A-4 según la metodología AASHTO, caracterizados como materiales limosos de baja plasticidad, se encuentran comúnmente en proyectos de infraestructura vial en Colombia y

presentan un comportamiento regular como material de subrasante. Sin embargo, existe un vacío técnico específico respecto al comportamiento de suelos A-4 reforzados con fibra de coco.

La mayoría de las investigaciones se han enfocado en suelos arcillosos de alta plasticidad (A-6, A-7) o suelos arenosos (Ayininuola y Oladotun, 2016; Chauhan et al., 2008), además de que existe información limitada sobre la optimización de parámetros de diseño como el porcentaje de adición y la longitud de fibra para suelos limosos. Esta carencia es particularmente relevante si se considera que en las investigaciones previas se ha evaluado una sola longitud de fibra por estudio o se ha mantenido constante el contenido mientras varía la longitud (Ahmad et al., 2023), impidiendo la identificación de interacciones entre variables.

Para esto, se implementó un diseño experimental factorial que permitió analizar sistemáticamente el efecto combinado de ambas variables sobre el comportamiento mecánico del suelo mediante ensayos de compresión confinada normalizados.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La adición de fibra de coco puede mejorar la resistencia y rigidez de suelos limosos de baja plasticidad (A-4), pero su efectividad técnica depende de la proporción y la longitud del refuerzo. Sin información específica sobre la interacción simultánea de estas variables, no es posible desarrollar especificaciones técnicas que permitan la implementación práctica de esta tecnología en proyectos de infraestructura vial.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar cuantitativamente el efecto de la adición de fibra de coco natural sobre la resistencia al corte no drenada y el módulo de elasticidad de un suelo de subrasante clasificado como A-4.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto individual del porcentaje de fibra (0,5 %, 1,0 %, 1,5 % y 2,0 %) sobre las propiedades mecánicas del suelo A-4.
- Evaluar la influencia de la longitud de fibra (8 mm, 15 mm y 20 mm) en el comportamiento mecánico del suelo estabilizado.

- Identificar la combinación óptima de contenido y longitud de fibra que maximice la resistencia al corte no drenada y el módulo de elasticidad.
- Analizar los patrones de interacción entre porcentaje y longitud de fibra para cada parámetro mecánico evaluado.

REVISIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA EXISTENTE

El refuerzo de suelos con fibras naturales: de la tradición a la innovación

El uso de fibras como elemento de refuerzo en materiales de construcción tiene raíces ancestrales. Civilizaciones antiguas empleaban paja, crin de caballo y fibras vegetales para mejorar las propiedades de adobes y morteros (Medina-Martínez et al., 2022). Vidal (1969) formalizó esta práctica empírica en la ingeniería geotécnica moderna con su técnica de tierra armada, mientras que Gray y Ohashi (1983) establecieron los fundamentos teóricos del comportamiento de materiales compuestos suelo-fibra con distribución aleatoria.

Desde entonces, la investigación ha demostrado consistentemente que la incorporación de fibras discretas en matrices de suelo puede incrementar en forma significativa la resistencia al corte y mejorar el comportamiento posfalla del material. Los mecanismos de transferencia de esfuerzos en la interfaz suelo-fibra, modelados inicialmente por Maher y Gray (1990), revelaron incrementos de hasta 200 % en la resistencia al corte para contenidos óptimos de fibra. En estudios más recientes se han confirmado y expandido estos hallazgos: las fibras mejoran las propiedades de deformación del suelo al retardar la propagación de grietas (Majid y Baba, 2023), y su uso en refuerzo de pavimentos puede reducir el espesor del pavimento y los costos de construcción (Kaushik y Singh, 2021; Shukla et al., 2022).

La fibra de coco: un refuerzo natural con propiedades destacables

La fibra de coco (coir) ha emergido como un material de refuerzo particularmente prometedor debido a su abundancia, bajo costo, biodegradabilidad y propiedades mecánicas favorables. Con resistencias a la tracción entre 95-230 MPa y módulos de elasticidad de 3-6 GPa (Sen y Reddy, 2011; Asha'ari et al., 2022), esta fibra se posiciona como viable para aplicaciones geotécnicas.

Su alta concentración de lignina (cerca del 46 %) la convierte en una de las fibras naturales más resistentes disponibles (Hima Bindu y Mallikarjuna, 2022).

Diversos estudios coinciden en rangos óptimos de aplicación consistentes. Para suelos expansivos, la investigación reporta reducciones significativas en el potencial de expansión y mejoras en la resistencia al corte no confinado de hasta 40-60 %, con contenidos de fibra entre 0,5 % y 1,5 % (Chauhan et al., 2008; Sivakumar y Vasudevan, 2008; Widiyanti et al., 2022). En suelos residuales y limosos, porcentajes de 0,75-1,25 % han demostrado maximizar las mejoras en resistencia y ductilidad, con incrementos en la resistencia al corte no drenado entre 35 y 45 % (Consoli et al., 2005; Anggraini et al., 2015; Hima Bindu y Mallikarjuna, 2022).

Un hallazgo notable es que la fibra de coco presenta ventajas significativas en cuanto a durabilidad y resistencia al deterioro en condiciones de humedad variable, superando a otras fibras naturales en estas condiciones (Anggraini et al., 2015). En investigaciones recientes se ha profundizado en el comportamiento mecánico del sistema suelo-fibra, desarrollando modelos como el Duncan-Chang modificado para predecir con mayor precisión las leyes de resistencia en suelos reforzados (Li et al., 2023).

Parámetros críticos de diseño

La efectividad del refuerzo depende de múltiples factores interrelacionados. Respecto al contenido de fibra, en estudios experimentales exhaustivos se ha identificado que los parámetros geotécnicos (densidad seca máxima, cohesión, ángulo de fricción interna y CBR) alcanzan valores máximos con contenidos entre 0,75 % y 1,2 % (Ayininuola y Oladotun, 2016). Contenidos superiores al 1,5 % pueden resultar contraproducentes debido a dificultades de mezcla y distribución no uniforme.

La longitud de fibra emerge como otro parámetro fundamental. En la bibliografía se identifica una longitud crítica entre 12-20 mm para maximizar el refuerzo (Li et al., 2023; Sivakumar y Vasudevan, 2008), aunque rangos entre 8-40 mm han mostrado efectividad, dependiendo del tipo de suelo y aplicación específica. Es preferible la distribución aleatoria de las fibras, ya que evita la creación de planos de debilidad específicos que podrían comprometer la integridad estructural del suelo reforzado (Jeludin y Suffri, 2019; Maher y Gray, 1990).

En recientes investigaciones se ha explorado además el efecto de la colocación estratégica de capas de geotextiles de coco, demostrando que la ubicación cerca de la superficie de carga resulta más efectiva, con incrementos en CBR de hasta 36 % cuando se posicionan en la interfaz subrasante-subbase (Bhole et al., 2023). El tiempo de curado también desempeña un papel importante: estudios con combinaciones de fibra de coco y estabilizadores químicos reportan que periodos de curado de 21 días producen mejoras significativamente superiores en cohesión, ángulo de fricción interna y resistencia al corte, en comparación con periodos de siete días (Gomes et al., 2023).

¿Qué faltaba por estudiar?

A pesar de los avances significativos en la comprensión del comportamiento de suelos reforzados con fibra de coco, persisten enormes vacíos en el conocimiento actual. El sesgo hacia suelos arcillosos y arenosos es evidente: la mayoría de los estudios se han enfocado en suelos arcillosos de alta plasticidad o en suelos arenosos (Ayininuola y Oladotun, 2016; Hima Bindu y Mallikarjuna, 2022). Además, existe investigación limitada específicamente a suelos limosos de baja plasticidad, clasificados como A-4. Esta carencia es bastante relevante, dado que dichos suelos son comunes en muchas regiones y presentan desafíos geotécnicos específicos que difieren de los suelos arcillosos o arenosos.

La interacción simultánea entre variables permanece poco explorada. En la mayoría de las investigaciones se evalúa una sola longitud de fibra, manteniendo constante el contenido (Ahmad et al., 2023) o viceversa, lo que impide establecer criterios de optimización integral. Si bien en algunos estudios recientes se han comenzado a explorar variaciones conjuntas de longitud y contenido (Li et al., 2023), la evaluación sistemática mediante diseños factoriales completos que permitan identificar interacciones y efectos sinérgicos sigue siendo un desafío pendiente.

Los rangos de contenido investigados son insuficientes. En varios estudios sobre el contenido óptimo de fibra, su análisis se limitó a porcentajes máximos del 1,0 % o 1,25 % (Anggraini et al., 2015), dejando sin explorar rangos potencialmente más efectivos, en particular para suelos con características específicas, como los A-4.

La estandarización metodológica es una asignatura pendiente. En los estudios existentes se puede apreciar una alta variabilidad en los métodos de preparación de muestras y acondicionamiento de fibras, lo que dificulta tanto la comparación directa de resultados como el establecimiento de especificaciones técnicas estandarizadas. Esta variabilidad se manifiesta en factores como la utilización de distintas relaciones de aspecto (L/D), la dependencia de las propiedades de la fibra con respecto a su origen geográfico, y el empleo de diversos tratamientos químicos o físicos para mejorar la durabilidad (Medina-Martínez et al., 2022).

Contribución de esta investigación

La presente investigación contribuye a llenar estas brechas mediante un estudio sistemático del efecto combinado del porcentaje (0,5 %, 1,0 %, 1,5 % y 2,0 %) y longitud de fibra (8 mm, 15 mm y 20 mm) de coco en suelos clasificados como A-4. Este enfoque factorial permitió caracterizar específicamente suelos limosos de baja plasticidad (A-4), una categoría subrepresentada en la bibliografía existente, pero común en aplicaciones de infraestructura vial, así como también evaluar la interacción simultánea entre porcentaje y longitud de fibra, identificando no solo valores óptimos individuales sino también efectos sinérgicos.

Igualmente, ayudó a explorar rangos extendidos de contenido de fibra (hasta 2,0 %), superando las limitaciones de estudios previos, y permitió proporcionar información técnica específica para la combinación suelo A-4 y fibra de coco, particularmente relevante en regiones donde estos materiales son abundantes y su uso conjunto representa una solución técnica, económica y ambientalmente sostenible para mejoramiento de suelos en proyectos de infraestructura vial.

METODOLOGÍA

La metodología de investigación se estructuró siguiendo un enfoque experimental cuantitativo, dividido en cuatro etapas: caracterización de los materiales, diseño experimental, preparación de muestras y evaluación del desempeño mecánico de suelos estabilizados con fibra de coco. Gracias a esta aproximación metodológica, se pudieron establecer relaciones causa-efecto entre las variables independientes (porcentaje y longitud de



Figura 1. Curva de distribución granulométrica.

fibra) y las variables dependientes (resistencia al corte no drenada y módulo de elasticidad), por medio de un diseño experimental factorial completo.

El objetivo principal fue hacer una evaluación cuantitativa del incremento en la resistencia mecánica de un suelo de subrasante clasificado como A-4, mediante la adición controlada de fibra de coco natural. Para garantizar la validez, reproducibilidad y confiabilidad de los resultados, se implementaron procesos estandarizados basados en normas técnicas ASTM (American Society for Testing and Materials) e INV (Instituto Nacional de Vías de Colombia), con control riguroso de variables experimentales y replicación de ensayos.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo metodológico que sintetiza la secuencia de actividades ejecutadas durante la investigación, desde la caracterización inicial de materiales hasta el análisis estadístico final de los resultados obtenidos (figura 1).

Caracterización de los materiales

El suelo utilizado para esta investigación corresponde a un material de subrasante clasificado como A-4 según el método AASHTO, lo que indica que es un suelo limoso de baja plasticidad con comportamiento aceptable a regular como material de subrasante. Por otro lado, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el material se clasifica como arena arcillosa (SC), evidenciando una matriz granular con presencia significativa de finos arcillosos que representan el 41 % del peso total de la muestra.

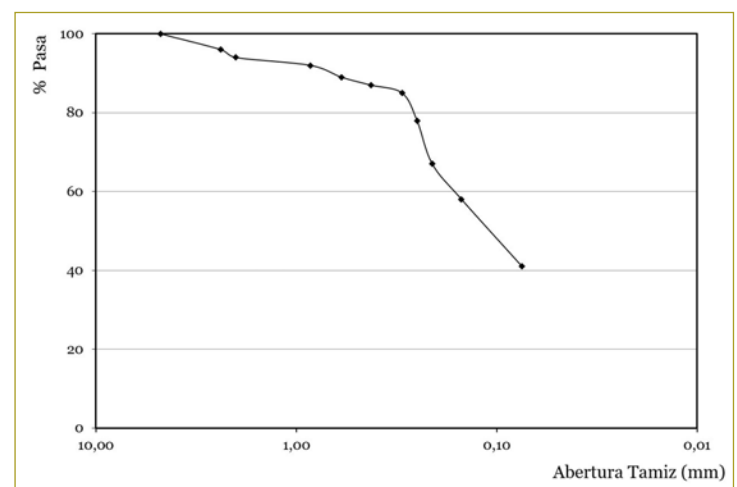


Figura 2. Curva de distribución granulométrica.

La caracterización completa del suelo se realizó mediante una serie de ensayos normalizados que incluyen distribución granulométrica por el método de tamizado, determinación de límites de consistencia que comprenden límite líquido (22 %), límite plástico (15 %) e índice de plasticidad (7 %), gravedad específica de sólidos y ensayos de compactación mediante el método Proctor modificado, a través del cual se obtuvieron un peso unitario seco máximo de 18,9 kN/m³ y un contenido de humedad óptimo del 11,4 %. Adicionalmente, se determinaron las propiedades mecánicas por medio del ensayo de compresión inconfina, del cual se obtuvieron la resistencia al corte no drenada (S_u) y el módulo de elasticidad (E).

A renglón seguido, se muestra la curva de distribución granulométrica del suelo de estudio (figura 2), y se presenta un resumen de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de análisis (tabla 1).

Tabla 1
Propiedades físicas y mecánicas del suelo de análisis

Característica	Procedimiento de Referencia	Valor
Coefficiente de Uniformidad (C_u)	-	8,9
Coefficiente de Curvatura (C_c)	-	1,0
Límite Líquido (%)	ASTM D4318	22
Límite Plástico (%)	ASTM D4318	15,0
Límite de Contracción (%)	ASTM D4943	13,0
Índice de Plasticidad (%)	ASTM D4318	7,0
Gravedad Específica	ASTM D854	2,6
Humedad óptima (%)	ASTM D1557	11.4
Densidad seca máxima (g/cm^3)	ASTM D1557	1,9
Peso Unitario Seco máximo (kN/m^3)	ASTM D1557	18,9
Resistencia al corte no Drenada (kPa)	ASTM D2166	292,5
Módulo de Elasticidad (Mpa)	ASTM D2166	24,3

Con respecto a la fibra de coco, se determinaron propiedades físicas como el diámetro, la densidad y la gravedad específica. Para el caso de estudio se utilizó fibra de coco natural, sin tratamiento químico previo, con el objetivo de evaluar las propiedades inherentes del material en su estado original.

A continuación, se presenta el resumen de los parámetros físicos obtenidos para la fibra empleada en la estabilización (tabla 2).

Diseño experimental

Con el propósito de evaluar el incremento de la resistencia al corte no drenada (S_u) y el módulo elástico (E)

de un suelo de subrasante clasificado como A-4 según la AASHTO, se diseñó un programa experimental para analizar el efecto de dos variables independientes: el porcentaje de adición de fibra de coco y la longitud de las fibras. Esto permite evaluar tanto los efectos individuales como las posibles interacciones entre ambas variables sobre las propiedades mecánicas del suelo estabilizado.

La selección de los rangos de estudio se fundamentó en investigaciones previas reportadas en la bibliografía. Autores como Ahmad et al. (2023) y Ayininuola y Olatodun (2016) determinaron que el porcentaje óptimo de fibra de coco oscila entre 1,0 % y 1,5 % con respecto a la masa seca del suelo, valores que maximizan el incre-

Tabla 2
Propiedades físicas de la fibra de coco

Característica	Procedimiento de Referencia	Valor
Diámetro (mm)	-	0,32
Densidad (g/cm^3)	-	1,15
Gravedad específica	-	1,15

mento en la resistencia sin comprometer la trabajabilidad de la mezcla. Con base en estos antecedentes, se establecieron porcentajes de fibra de 0,5 %, 1,0 %, 1,5 % y 2,0 %, para cubrir un rango de valores que estén por debajo o por encima de un valor óptimo potencial.

En cuanto a la longitud de las fibras, se seleccionaron tres dimensiones: 8 mm, 15 mm y 20 mm, considerando que en la bibliografía se sugiere que longitudes muy cortas pueden ser inefectivas para el refuerzo, mientras que fibras excesivamente largas pueden generar problemas de distribución homogénea y trabajabilidad durante la mezcla.

El diseño experimental comprende doce combinaciones de porcentaje y longitud de fibra, más una muestra de control sin adición de fibra, totalizando trece condiciones de ensayo. Para cada combinación se prepararon dos réplicas, con el objetivo de verificar la reproducibilidad de los resultados, totalizando veintiséis especímenes de ensayo. En todas las muestras se evaluaron la resistencia al corte no drenada (S_u) y el módulo de elasticidad (E) mediante ensayos de compresión confinada.

En la tabla siguiente se presenta la nomenclatura adoptada para identificar las combinaciones consideradas en la estabilización (tabla 3).

Preparación de las muestras

Todas las muestras se prepararon siguiendo un procedimiento estandarizado, con el objetivo de lograr condiciones homogéneas y reproducibles. Las muestras se acondicionaron a los valores de humedad óptima (11,4 %) y densidad seca máxima ($1,9 \text{ g/cm}^3$), determinados mediante el ensayo modificado de compactación, garantizando así condiciones de máxima densificación y resistencia del suelo base. La preparación se realizó en cuatro pasos:

- **Paso 1. Acondicionamiento de humedad:** Inicialmente, el suelo se secó en horno a 110°C , hasta alcanzar masa constante, eliminando por completo la humedad natural. Después se adicionó agua de manera gradual mediante aspersión, mezclando continuamente hasta alcanzar el contenido de humedad óptimo del 11,4 %. Este proceso garantizó una distribución uniforme de la humedad en toda la masa del suelo.
- **Paso 2. Incorporación de fibra de coco:** Una vez acondicionado el suelo a la humedad óptima, se procedió a la adición de la fibra de coco según los porcentajes establecidos en el diseño experimental. Previamente, las fibras se separaron de manera

Tabla 3
Nomenclatura y codificación de las mezclas suelo-fibra de coco según porcentaje de adición y longitud de fibra

No. Modelo	Nomenclatura	% Adición de fibra	Longitud de fibra (mm)
1	SN	-	-
2	L8 - 0.5	0.5	8
3	L8 - 1.0	1.0	8
4	L8 - 1.5	1.5	8
5	L8 - 2.0	2.0	8
6	L15 - 0.5	0.5	15
7	L15 - 1.0	1.0	15
8	L15 - 1.5	1.5	15
9	L15 - 2.0	2.0	15
10	L20 - 0.5	0.5	20
11	L20 - 1.0	1.0	20
12	L20 - 1.5	1.5	20
13	L20 - 2.0	2.0	20

manual, cortadas a las longitudes especificadas (8 mm, 15 mm y 20 mm) y distribuidas uniformemente para evitar la formación de aglomeraciones. La fibra se incorporó mediante mezclado manual durante aproximadamente diez minutos, asegurando una distribución homogénea de las fibras en toda la matriz del suelo.

- **Paso 3. Homogeneización:** Después de la incorporación de las fibras, se permitió un periodo de homogeneización del contenido de humedad de 24 horas en ambiente controlado, manteniendo las muestras completamente selladas para prevenir pérdidas de humedad y permitir la migración uniforme del agua a través de la matriz suelo-fibra.
- **Paso 4. Compactación:** Finalmente, el material acondicionado se compactó en moldes cilíndricos para obtener probetas de 50 mm de diámetro y 105 mm de altura, garantizando la densidad seca de ensayo ($1,9 \text{ g/cm}^3$) y manteniendo una relación altura/diámetro de 2:1, dentro del rango recomendado de 2,0 a 2,5 para ensayos de compresión inconfiada. El proceso de compactación se realizó en cinco capas, con 56 golpes por capa para asegurar uniformidad en la densidad.

A continuación, se puede apreciar un registro fotográfico del proceso de preparación de las muestras (figura 3).

Evaluación del desempeño mecánico de suelos reforzados con fibra de coco

En esta sección se presentan los resultados experimentales obtenidos de los ensayos de compresión in-

confinada realizados sobre las combinaciones de suelo estabilizado con fibra de coco, así como la muestra de control sin adición de fibra. Los resultados comprenden las curvas esfuerzo-deformación, los valores de resistencia al corte no drenada (S_u) y el módulo de elasticidad (E) determinados para cada configuración del diseño experimental.

A renglón seguido, se presentan las curvas esfuerzo-deformación obtenidas para todas las combinaciones evaluadas. Las curvas muestran el comportamiento mecánico del suelo natural y de las mezclas estabilizadas con fibra de coco, registrando la respuesta del material desde el inicio de la carga hasta la falla (figuras 4, 5 y 6).

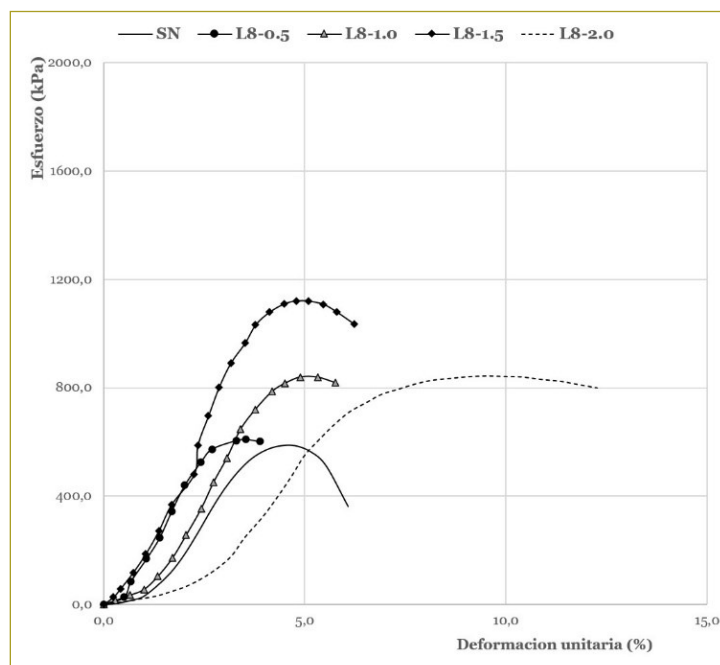


Figura 4. Curvas esfuerzo-deformación para el suelo natural y suelo con adición de fibra de coco de longitud 8 mm.

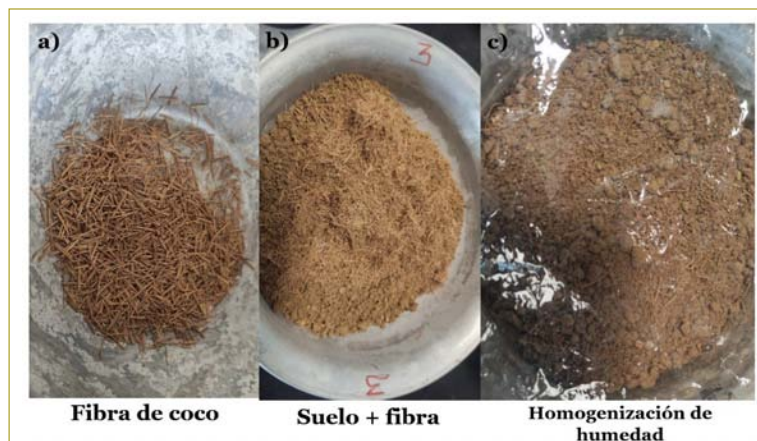


Figura 3. Preparación de muestras.

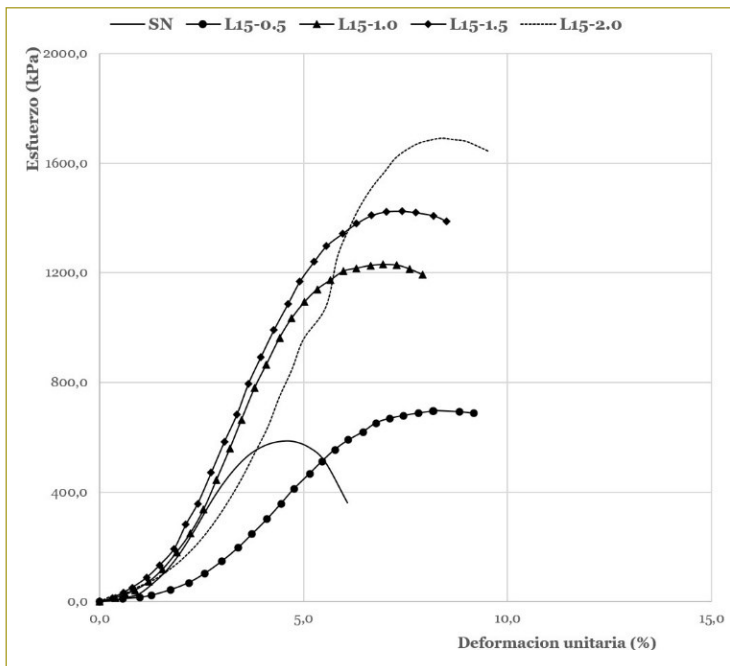


Figura 5. Curvas esfuerzo-deformación para el suelo natural y suelo con adición de fibra de coco de 15 mm de longitud.

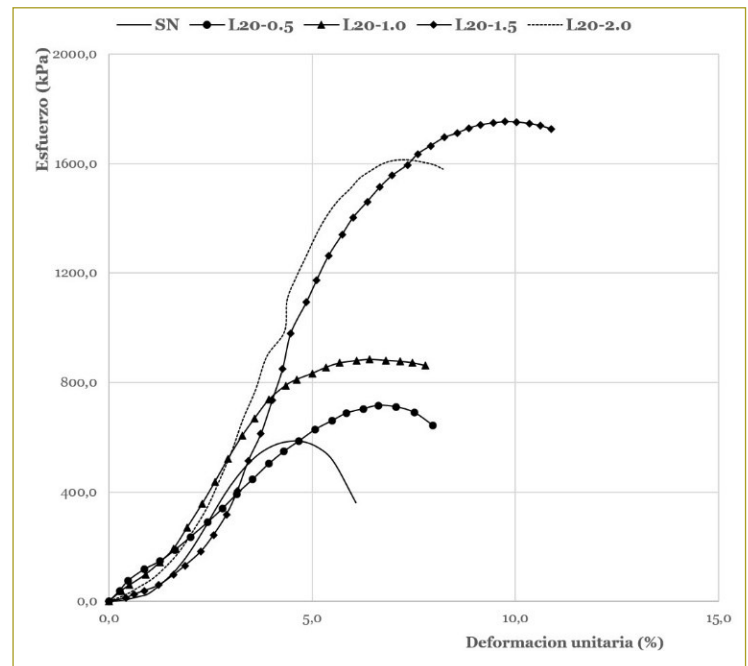


Figura 6. Curvas esfuerzo-deformación para el suelo natural y suelo con adición de fibra de coco de 20 mm de longitud.

Igualmente, se presentan los resultados promedio de los ensayos de compresión inconfiada (ASTM D2166) para las trece configuraciones evaluadas. Cada valor reportado es el promedio aritmético de dos especímenes, los cuales exhibieron comportamiento consistente durante los ensayos (coeficiente de variación $<6\%$ para resistencia y $<8\%$ para módulo de elasticidad). Se determinaron tres parámetros: la resistencia a la compresión inconfiada (q_u), definida como el esfuerzo máximo axial; la resistencia al corte no drenada ($S_u = q_u/2$), y el módulo de elasticidad (E), calculado como la pendiente en la región elástica lineal ($0,1-0,5\%$ de deformación) de las curvas esfuerzo-deformación (tabla 4).

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Análisis del comportamiento esfuerzo-deformación

El análisis comparativo de las curvas esfuerzo-deformación (figuras 4, 5 y 6) revela transformaciones fundamentales en la respuesta mecánica del suelo A-4 debido a la incorporación de fibra de coco. El suelo natural presenta una curva típica de materiales frágiles, caracterizada por una fase elástica inicial relativamente corta, seguida de una falla súbita con pérdida repentina de resistencia pospico.

La incorporación de fibras introduce cambios progresivos en este comportamiento. Se observa que las fibras de 8 mm generan un incremento modesto en la resistencia máxima, pero mantienen un comportamiento relativamente frágil, similar al suelo natural. En contraste, las fibras de 15 mm y 20 mm modifican significativamente la forma de las curvas, introduciendo una fase de endurecimiento por deformación más pronunciada y un comportamiento pospico más dúctil.

Este fenómeno se explica por el mecanismo de movilización gradual de las fibras durante la carga. Inicialmente, la matriz de suelo soporta la mayor parte de la carga aplicada. A medida que se desarrollan las primeras microgrietas, las fibras se empiezan a activar, proporcionando resistencia y redistribuyendo los esfuerzos (Medina-Martínez et al., 2022). Las fibras más largas generan un efecto de adherencia que mantiene la integridad estructural del material compuesto más allá del punto de falla. La deformación en la falla también se incrementa con la adición de fibras, particularmente para longitudes de 20 mm, donde se observan deformaciones hasta 2,5 veces mayores que el suelo natural.

Tabla 4
Parámetros mecánicos obtenidos del ensayo de compresión inconfina para diferentes combinaciones de fibra de coco

No. Modelo	Nomenclatura	qu (Kpa)	CV (%)	Su (Kpa)	CV (%)	E (Mpa)	CV (%)
1	SN	585	4,3	292	4,3	24,3	6,2
2	L8 - 0.5	811	3,1	406	3,1	25,3	7,1
3	L8 - 1.0	840	3,5	420	3,5	28,1	5,0
4	L8 - 1.5	1495	2,8	747	2,8	38,2	7,8
5	L8 - 2.0	1124	2,9	562	2,9	44,5	6,1
6	L15 - 0.5	929	4,0	464	4,0	25,4	5,5
7	L15 - 1.0	1640	4,6	820	4,6	39,0	4,2
8	L15 - 1.5	1899	5,1	950	5,1	42,2	4,3
9	L15 - 2.0	2253	5,5	1127	5,5	48,5	4,4
10	L20 - 0.5	954	4,6	477	4,6	27,5	4,9
11	L20 - 1.0	1179	4,2	589	4,2	30,9	5,1
12	L20 - 1.5	2337	4,3	1168	4,3	43,4	7,5
13	L20 - 2.0	2153	5,0	1076	5,0	48,4	6,8

Efecto del porcentaje de fibra en la resistencia al corte no drenado (Su)

A continuación, se presenta el efecto del porcentaje de fibra de coco en la resistencia al corte no drenado (figura 7), al tiempo que se revela una relación no lineal entre el porcentaje de fibra de coco y el Su; además, se puede ver el incremento porcentual de resistencia al corte con respecto al suelo natural para todos los modelos analizados (figura 8).

Para fibras de 8 mm, se observa un incremento progresivo de hasta el 1,5 %, alcanzando mejoras del 156 % respecto al suelo natural. Para porcentajes superiores al 1,5 %, se ve una reducción en el incremento de Su, disminuyendo a valores del 93 %, lo que sugiere que la adición de fibra de coco en un porcentaje del 1,5 % es óptima para alcanzar los mayores valores de resistencia con esta longitud específica.

Para fibras de 15 mm, la tendencia es similar pero desplazada hacia porcentajes ligeramente mayores, con el óptimo ubicándose alrededor del 1,5 y 2,0 %, logrando un incremento de resistencia del 286 %. Las fibras de 20 mm presentan el comportamiento más interesante, manteniendo incrementos sostenidos hasta

el 1,5 %, donde alcanzan un incremento de la resistencia al corte del 300 %, lo que indica una mayor eficiencia de refuerzo para longitudes mayores (figura 8).

Esta variabilidad en el comportamiento según la longitud de fibra se puede explicar por la teoría de longitud crítica de refuerzo (Ahmad et al., 2023). Es posible que las fibras cortas (8 mm) no desarrollen completamente su capacidad de transferencia de esfuerzos debido a limitaciones en la longitud de anclaje, mientras que las fibras largas (20 mm) tienen mayor superficie de contacto con la matriz, lo que permite una mejor movilización de su resistencia tensional.

La reducción en la efectividad para porcentajes elevados (superiores al 2,0 %) se asocia con problemas de distribución espacial de las fibras. Concentraciones excesivas pueden generar aglomeraciones que actúan como puntos débiles que crean planos de falla y disminuyen la eficiencia del refuerzo (Lone y Bawa, 2018).

El mecanismo de refuerzo se sustenta en la eficiente transferencia de esfuerzos mediante adherencia y fricción entre la superficie de la fibra y la matriz de suelo. Esta interacción, maximizada por la mayor superficie

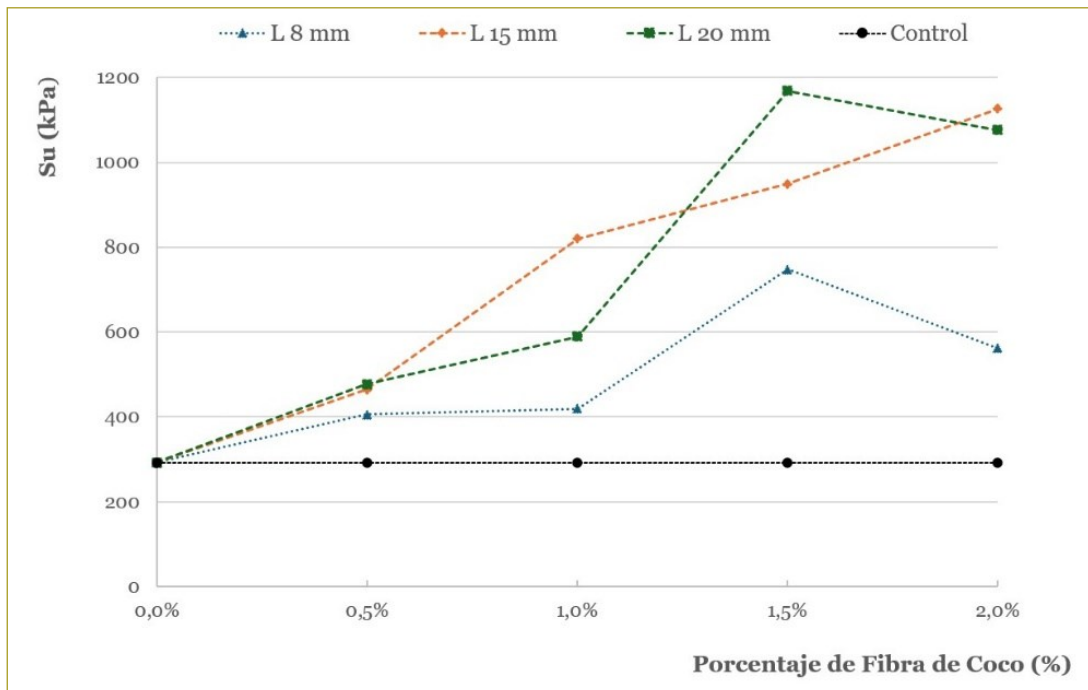


Figura 7. Efecto del porcentaje de fibra en la resistencia al corte no drenada.

de contacto de las fibras de 20 mm, permite un mejor anclaje y activación de la resistencia a la tracción del refuerzo. No obstante, la efectividad del refuerzo se deteriora para concentraciones superiores al 1,5 %, donde la aglomeración de las fibras se convierte en el

mecanismo de falla dominante. Las concentraciones excesivas impiden una distribución homogénea, creando planos débiles que reducen la eficiencia global del refuerzo y, por ende, establecen el límite superior del porcentaje de adición óptimo.

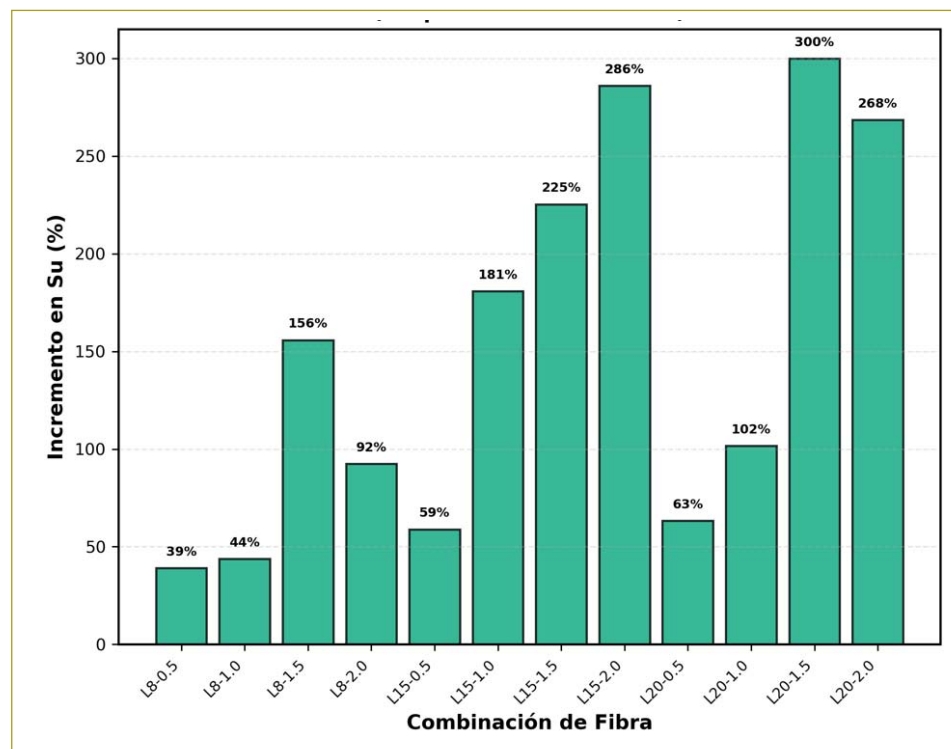


Figura 8. Incremento de la resistencia al corte para todas las configuraciones.

Influencia de la longitud de fibra en el módulo de elasticidad (E)

A renglón seguido se presenta el efecto del porcentaje de fibra de coco en el módulo de elasticidad (figura 9), al igual que el porcentaje de incremento del módulo de elasticidad para todas las configuraciones (figura 10).

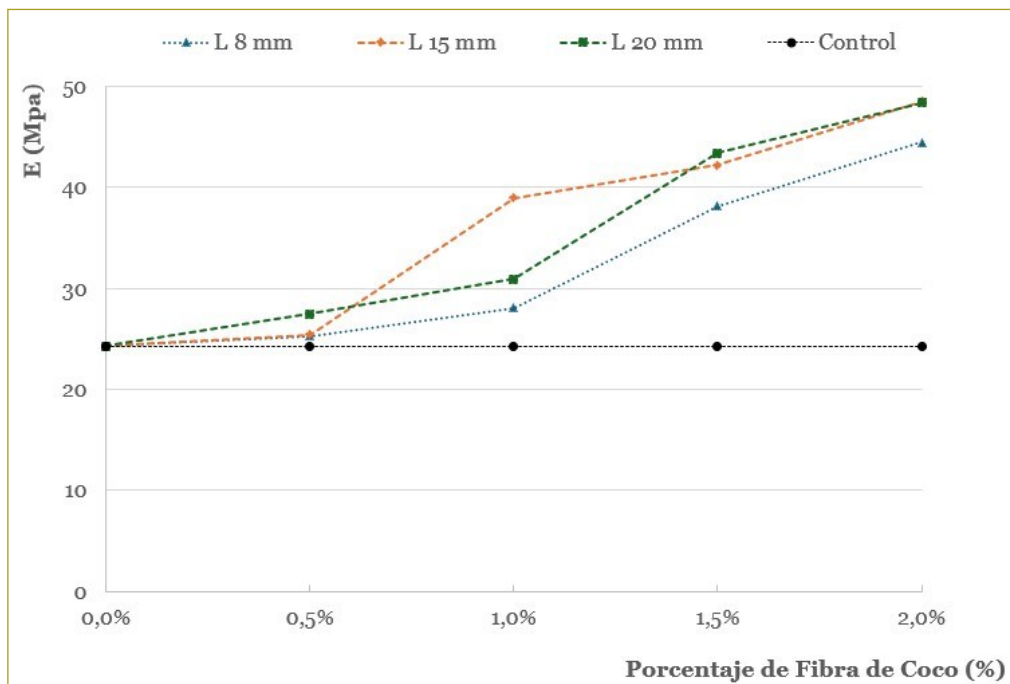


Figura 9. Efecto del porcentaje de fibra en el módulo de elasticidad.

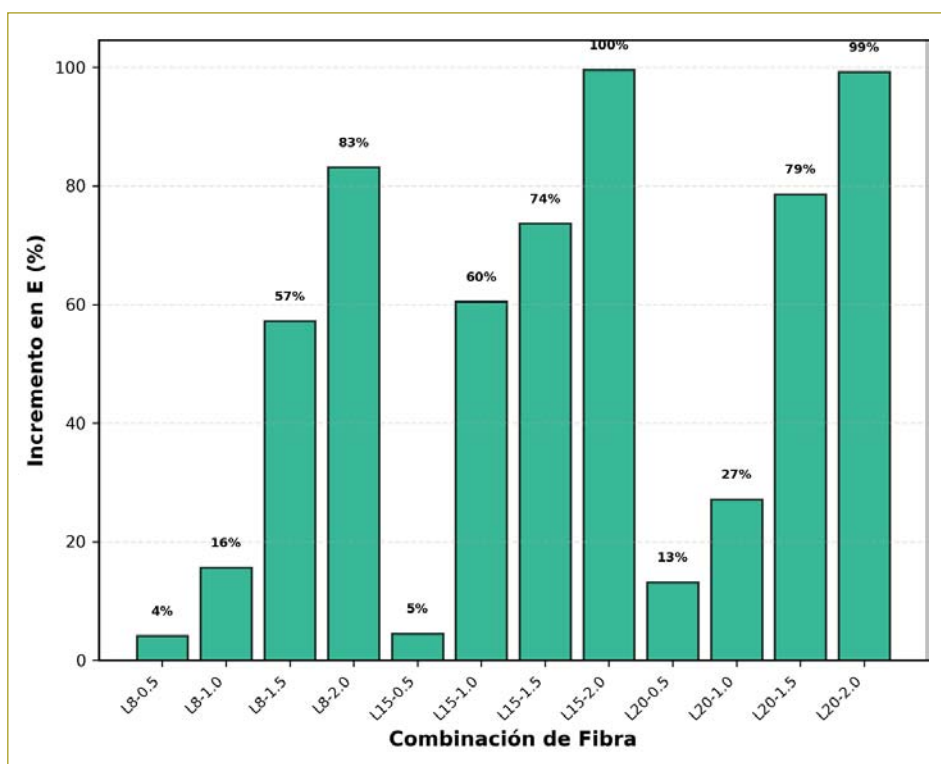


Figura 10. Porcentaje de incremento del módulo de elasticidad para todas las configuraciones.

Para fibras de 8 mm, se observa un incremento con una mejora inicial de 4,1 % para una adición de fibra del 0,5 %, seguida de aumentos graduales de 16 % para el 1,0 % y de 57 % para el 1,5 %, hasta alcanzar un incremento del 83 % con respecto al suelo natural. Este comportamiento progresivo indica que las fibras cortas requieren porcentajes crecientes para desarrollar su efectividad, alcanzando su máximo desempeño en concentraciones elevadas.

Para fibras de 15 mm, este comportamiento presenta dos fases claramente diferenciadas. Se observa un aumento inicial del 5 % para un porcentaje de adición de fibra de coco del 0,5 %, seguido de un salto significativo al incorporar el 1,0 % de fibra, donde el módulo alcanza un 60 %. A partir de este punto, el módulo se incrementa de manera sostenida pero gradual, hasta un valor máximo del 100 %.

Las fibras de 20 mm presentan el comportamiento más uniforme y predecible de las tres longitudes evaluadas. Se observa un incremento inicial del 13 % para incorporaciones de fibra del 0,5 %, seguido de aumentos progresivos hasta alcanzar un incremento del 99 % para adiciones de fibra del 2,0 %. Los valores finales de las fibras de 15 mm y 20 mm son prácticamente equivalentes, lo que indica que ambas longitudes alcanzan un límite superior de efectividad similar en las mismas condiciones de compactación.

El comportamiento progresivo y no lineal observado es consistente con los hallazgos reportados por Tang et al. (2007), quienes investigaron el comportamiento mecánico de suelos arcillosos reforzados con fibras cortas de polipropileno y estabilizados con cemento. Estos autores documentaron incrementos graduales del módulo de elasticidad que alcanzaban valores del 80-100 % con porcentajes de adición de fibra entre 1,5-2,0 %, rango similar al de la presente investigación, donde se obtuvieron incrementos del 83,1 % para fibras de 8 mm y cercanos al 100 % para fibras de 15 mm y 20 mm, para una adición de fibra del 2 %.

Interacción porcentaje-longitud de fibra

El análisis conjunto del efecto de la longitud de fibra y el porcentaje de adición revela patrones de interacción que varían significativamente según el parámetro mecánico evaluado. Para la resistencia al corte no drenada (S_u) se observa una interacción creciente, donde el efecto

de la longitud de fibra se amplifica dramáticamente a medida que aumenta el porcentaje de adición. A porcentajes bajos de fibra de coco (0,5 %), la diferencia en S_u entre fibras de 8 mm y 20 mm es pequeña, lo que indica que la longitud de fibra tiene impacto limitado cuando la concentración es insuficiente para formar una red de refuerzo efectiva. Sin embargo, a porcentajes elevados de incorporación de fibra de coco (2,0 %) esta diferencia se aumenta, evidenciando que las fibras largas desarrollan su capacidad de refuerzo completa solamente cuando existe suficiente densidad de fibras para formar una red.

Por otro lado, el módulo de elasticidad exhibe un patrón de interacción diferente. A porcentajes bajos (0,5 %), las tres longitudes de fibra producen módulos similares con variaciones dentro de un 9 %, convergencia que se intensifica a porcentajes elevados (adición del 2,0 % de fibra), donde los valores del módulo de elasticidad se encuentran en un rango entre 44,5 y 48,5 MPa.

Implicaciones prácticas

Los hallazgos tienen implicaciones prácticas directas y significativas para el contexto colombiano, en el que la producción de coco es alta y las vías terciarias de afirmado son predominantes; la fibra de coco emerge, entonces, como una solución de ingeniería verde, local y económicamente ventajosa. El incremento del 300 % en el S_u se traduce directamente en una mejora sustancial de la capacidad portante y la resistencia a la deformación de la subrasante. Al estabilizar estos suelos, se eleva el módulo de resiliencia del material, lo que permite reducir potencialmente el espesor estructural requerido en las capas de base o subbase, optimizando el diseño del pavimento.

Además de mitigar problemas geotécnicos comunes, como el ahuellamiento y la pérdida de banca por inestabilidad al corte, esta técnica promueve la economía circular al ofrecer un uso de alto valor a un residuo agroindustrial, alineándose con las directrices de infraestructura sostenible del país. En ese orden de ideas, la implementación de la mezcla óptima (20 mm al 2,0 %) representa, por lo tanto, una alternativa robusta y ambientalmente responsable frente a los estabilizadores tradicionales de alto impacto ambiental, como el cemento o la cal.

CONCLUSIONES

La incorporación de fibra de coco en suelos clasificados como A-4 genera mejoras significativas en las propiedades mecánicas, con incrementos en la resistencia al corte no drenada de hasta 300 % y en el módulo de elasticidad de hasta 99,6 % para las configuraciones óptimas (longitud de fibra 20 mm y porcentaje de adición del 1,5 %). Estos resultados demuestran la viabilidad técnica de la fibra de coco como alternativa sostenible a los métodos tradicionales de estabilización química, particularmente en aplicaciones de infraestructura vial donde estos suelos son comunes.

El efecto del porcentaje de adición de fibra de coco es fuertemente dependiente de la longitud de fibra empleada. Las fibras cortas (8 mm) alcanzan su óptimo al 1,5 % de adición, mientras que las fibras largas (15 mm y 20 mm) mantienen incrementos sostenidos hasta el 2,0 %. La configuración que proporcionó el mejor balance entre resistencia y eficiencia de material corresponde a fibras de 20 mm al 1,5 % ($S_u = 1168$ kPa, incremento del 300 %), seguida por fibras de 15 mm al 2,0 % ($S_u = 1127$ kPa, incremento del 286 %).

La interacción entre porcentaje y longitud de fibra presenta patrones diferenciados según el parámetro mecánico evaluado. Para la resistencia al corte no drenada se observa una tendencia creciente, mientras que para el módulo de elasticidad se evidencia convergencia hacia un límite superior, independientemente de la longitud de fibra. Esta diferencia implica que en la optimización del refuerzo se deben considerar los requerimientos específicos de cada aplicación.

Los resultados demuestran la viabilidad técnica y la sostenibilidad de la fibra de coco como una alternativa a los métodos tradicionales de estabilización química (como la cal o el cemento), reduciendo la dependencia de estos estabilizantes. El empleo de este residuo agroindustrial en subrasantes viales no solo optimiza la capacidad portante y la resistencia a la deformación de los suelos A-4, sino que también promueve la economía circular y la construcción de infraestructura verde en regiones con alta disponibilidad de coco.

Para trasladar estos resultados a aplicaciones prácticas de ingeniería con mayor robustez, se recomienda enfocar las futuras líneas de investigación en la evaluación de la respuesta a esfuerzos tridimensionales mediante ensayos triaxiales, la determinación de la durabilidad a largo plazo de los suelos reforzados y el análisis de la

estabilidad volumétrica del material frente a cambios considerables de humedad.

Los resultados obtenidos son consistentes con la bibliografía existente sobre refuerzo de suelos con fibras naturales, particularmente con los incrementos del 80-100 % reportados por Tang et al. (2007) para materiales similares. La presente investigación contribuye al conocimiento existente al proporcionar información específica sobre suelos A-4.

Es fundamental reconocer que la presente investigación se desarrolló con restricciones de tiempo que limitaron el tamaño muestral a solo dos réplicas por cada combinación de fibra y porcentaje. Consecuentemente, la ausencia de un análisis estadístico inferencial robusto impide establecer con certeza si las diferencias cuantificadas en los parámetros mecánicos entre las configuraciones son estadísticamente significativas o meramente atribuibles a la variabilidad experimental inherente; por lo tanto, los resultados obtenidos, si bien son altamente prometedores, se deben interpretar con un carácter exploratorio.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por el apoyo institucional dado para el desarrollo de esta investigación, así como al Laboratorio de Suelos y Pavimentos por el préstamo de insumo y de equipos de laboratorio.

Autoría

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses. Esta sección solo se debe incorporar al texto en su versión definitiva, una vez el artículo haya sido aceptado.

REFERENCIAS

- Ahmad, J., Rughan, N. R., Ibrahim, A., Rosli, M. I. F., y Abdul Rahman, A. S. (2023). Laboratory and numerical analysis on the effect of using coconut fibre as additive towards residual shear strength of soil for slope construction. *ES-TEEM Academic Journal*, 19, 1-9. <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/76035>
- Anggraini, V., Asadi, A., Huat, B. B., y Nahazanan, H. (2015). Effects of coir fibers on tensile and compressive strength of lime treated soft soil. *Measurement*, 59, 372-381. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.09.059>
- Arathi, K. U., Athulya, K. M., Vinaya, V., Pooja, P. V., y Athira, V. V. (2022). Stabilization of black cotton soil using coconut fiber, 10, 1-6. <https://doi.org/10.7770/safer-V10N1-art2547>

- Asha'ari, M. A., Rahman, E. K. A., Ratnayake, U., Tan, S. J., y Shams, S. (2021). Field evaluation of using coconut husk and fibre to control slope erosion. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (vol. 646, N.º 1, p. 012044). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/646/1/012044>
- Ayininuola, G. M., y Oladotun, P. O. (2016). Geotechnical properties of coconut coir fiber soil mixture. *Journal of Civil Engineering Research*, 26(4), 79-85. <https://doi.org/10.5923/j.jce.20160604.01>
- Bhole, C. R., Sunitha, V., y Mathew, S. (2025). Coir geotextile reinforcement for sustainable pavements: an experimental investigation into structural behavior. *Int. J. Pavement Res. Technol.*, 18, 600-613 <https://doi.org/10.1007/s42947-023-00367-y>
- Chauhan, M. S., Mittal, S., y Mohanty, B. (2008). Performance evaluation of silty sand subgrade reinforced with fly ash and fibre. *Geotextiles and Geomembranes*, 26(5), 429-435. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2008.02.001>
- Consoli, N. C., Casagrande, M. D., y Coop, M. R. (2005). Effect of fiber reinforcement on the isotropic compression behavior of a sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(11), 1434-1436. <https://doi.org/10.1061/ASCE1090-02412005131:111434>
- DeepL GmbH (2023). DeepL Translator [software]. <https://www.deepl.com/translator>
- Gomes, F. S., Motta, M. F. B., Bernardes, G. D. P., y Soares, P. V. (2023). Influence of coconut fiber on the microstructural, mechanical and hydraulic behavior of unsaturated compacted soil. *Soils and Rocks*, 46(2), e2023013322. <https://doi.org/10.28927/SR.2023.013322>
- Gray, D. H., y Ohashi, H. (1983). Mechanics of fiber reinforcement in sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 109(3), 335-353. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1983\)109:3\(335\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:3(335))
- Hima Bindu, G., y Mallikarjuna, V. (2022). Improving the geotechnical properties of silty sands by using GGBS and coir fibre. En P. G. Kumar, K. V. L. Subramaniam, S. M. Santhakumar, y N. Satyam (eds.), *Recent Advances in Civil Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering*, 233. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0189-8_24
- Jeludin, M., y Suffri, N. (2017, July). The effects of coir fibre on consolidation behaviour of soft clay. En *Global Civil Engineering Conference* (pp. 1323-1330). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8016-6_94
- Kaushik, D., y Singh, S. K. (2021). Use of coir fiber and analysis of geotechnical properties of soil. *Materials Today: Proceedings*, 47, 4418-4422. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.255>
- Li, H., Yang, J., Yang, D. et al. (2024). Fiber-reinforced polymer waste in the construction industry: a review. *Environ Chem Lett*, 22, 2777-2844. <https://doi.org/10.1007/s10311-024-01769-5>
- Lone, I. A., y Bawa, E. A. (2018). Utilization of Fly-Ash and coir fibre in soil reinforcement: a review. *International Journal of Engineering Development and Research*, 6(1), 488-489. <https://rjwave.org/IJEDR/viewpaperforall?paper=IJE DR1801083>
- Maher, M. H., y Gray, D. H. (1990). Static response of sands reinforced with randomly distributed fibers. *Journal of Geotechnical Engineering*, 116(11), 1661-1677. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1990\)116:11\(1661\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1990)116:11(1661))
- Majid, A. E., Baba, K., y Razzouk, Y. (2023). Assessing the impact of plant fibers on swelling parameters of two varieties of expansive soil. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100408. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100408>
- Medina-Martínez, C. J., Sandoval-Herazo, L. C., Zamora-Castro, S. A., Vivar-Ocampo, R., y Reyes-González, D. (2022). Natural fibers: an alternative for the reinforcement of expansive soils. *Sustainability*, 14(15), 9275. <https://doi.org/10.3390/su14159275>
- OpenAI (2023). ChatGPT (Mar 14 version) [Large language model]. <https://chat.openai.com/>
- Salazar, M. P. S., Martínez, J. D. A., Cardoso, V. R., y Góngora, I. A. M. G. (2023). Evaluación de la resistencia al corte de un suelo con refuerzo de fibra de coco. *Revista Contemporânea*, 3(10), 19018-19040. <https://doi.org/10.56083/RVC3N10-129>
- Sen, T., y Reddy, H. J. (2011). Application of sisal, bamboo, coir and jute natural composites in structural upgradation. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 2(3), 186.
- Shukla, S., Mittal, A., y Kumar, S. (2021). Improvement in soil subgrade using natural fibre (kenaf and coir fibre). In *Proceedings of the Indian Geotechnical Conference 2019: IGC-2019* (vol. III, pp. 211-218). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-33-6444-8_18
- Shukla, S., Shukla, S., Mittal, A., y Singh, T. (2022). A review on use of coir fibre in road construction. *Materials Today: Proceedings*, 65, 1839-1845. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.017>
- Singh, A., y Sharma, R. (2022). A study of black cotton soil by using sisal fibre and coconut fibre. *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, 10(3), 276-279. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.40609>
- Sivakumar Babu, G. L., y Vasudevan, A. K. (2008). Strength and stiffness response of coir fiber-reinforced tropical soil. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(9), 571-577. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2008\)20:9\(571\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:9(571))
- Tang, C., Shi, B., Gao, W., Chen, F., y Cai, Y. (2007). Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 25(3), 194-202. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2006.11.002>
- Vidal, H. (1969). The principle of reinforced earth. *Highway Research Record*, 282. <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrr/1969/282/282-001.pdf>
- Widianti, A., Negara, A. A. B., Elmino, T. S., y Ramadhani, L. (2022). Utilization of coir fibers to improve the bearing capacity and tensile strength of expansive clay. *Geomate Journal*, 23(95), 20-26. <https://doi.org/10.21660/2022.95.16>

Energía nuclear en Colombia: una alternativa hacia la sustitución futura de otras fuentes energéticas

Nuclear energy in Colombia: An alternative towards future replacement of other energy sources

MARÍA CONSTANZA TORRES TAMAYO¹ - DIEGO ALEJANDRO DÍAZ ACOSTA² -
ÁLVARO HERNANDO CHAVES CASTRO³

1. Magíster en Dirección Financiera. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1869-6080>

2. Estudiante del programa de Economía. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

3. Magíster en Ciencias Económicas. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1865-3558>

maria.torres@escuelaing.edu.co - diego.diaz-a@mail.escuelaing.edu.co - alvaro.chaves@escuelaing.edu.co

Recibido: 15/02/2025 Aceptado: 27/03/2025

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En este artículo se explora la viabilidad de incorporar la energía nuclear como alternativa estratégica para diversificar la matriz y fortalecer la seguridad energética del país, ante los crecientes desafíos derivados del cambio climático y la variabilidad climática que afecta la generación hidroeléctrica, que en el año 2024 representó el 64 % de la matriz energética en Colombia.

La investigación se enmarca en los debates contemporáneos sobre transición energética sostenible y seguridad energética, y se articula con teorías de diversificación tecnológica y mitigación de emisiones. Su principal aporte radica en analizar de manera prospectiva el uso de reactores modulares pequeños (SMR, por su sigla en inglés) en el contexto colombiano, una opción poco explorada en la región, lo cual representa una contribución novedosa frente al estado del arte centrado en tecnologías tradicionales o renovables intermitentes.

Metodológicamente, se hace un análisis descriptivo y comparativo que combina revisión documental, análisis del marco normativo actualizado (incluida la Ley Nuclear de 2025) y benchmarking con casos internacionales relevantes (Francia, China y Estados Unidos). Así mismo, se

realiza un ejercicio prospectivo de simulación del valor económico del ahorro en emisiones de carbono mediante energía nuclear. Los hallazgos evidencian que se podría evitar la emisión de entre 5,7 y 9,5 millones de toneladas de CO₂ al año.

Se concluye que la energía nuclear no solo puede complementar otras fuentes bajas en carbono, sino también atraer inversión extranjera, impulsar cadenas productivas nacionales y aportar a una transición energética más resiliente, sostenible y tecnológicamente diversa en Colombia.

Palabras claves: transición energética, energía nuclear, bonos de carbono, reactores modulares pequeños.

Abstract

In light of the growing challenges posed by climate change and the increasing variability of hydroelectric generation—which accounted for 64 % of Colombia's energy matrix in 2024—this article examines the feasibility of incorporating nuclear energy as a strategic alternative to diversify the national energy mix and enhance the country's energy security.

The study is grounded in current debates on sustainable energy transitions and energy security, drawing upon theories of technological diversification and carbon emission mitigation. Its main contribution lies in the prospective analysis of small modular reactors (SMRs) within the Colombian context—an approach scarcely explored in the region—offering a novel perspective compared to the prevailing focus on conventional or intermittent renewable technologies.

Methodologically, the research follows a descriptive and comparative design, combining literature review, analysis of the updated regulatory framework—including the 2025 Nuclear Law—and benchmarking against relevant international experiences (France, China, and the United States). In addition, a prospective simulation exercise estimates the economic value of carbon emission reductions achievable through nuclear deployment. The findings suggest that between 5.7 and 9.5 million tons of CO₂ emissions could be avoided annually.

The study concludes that nuclear energy could not only complement other low-carbon sources, but also attract foreign direct investment, stimulate domestic supply chains, and contribute to a more resilient, sustainable, and technologically diverse energy transition in Colombia.

Keywords: energy transition, nuclear energy, carbon credits, small modular reactors.

INTRODUCCIÓN

El acceso a una energía confiable y sostenible es fundamental para el desarrollo socioeconómico y para el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en particular el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y el ODS 13 (Acción por el clima) (United Nations [UN], 2022). En Colombia, la matriz energética depende en gran medida de la hidroelectricidad, que en 2024 representó el 64 % de la generación total; sin embargo, su alta vulnerabilidad frente a fenómenos climáticos extremos (como las sequías ocasionadas por el fenómeno de El Niño en los periodos 2015-2016 y 2023-2024) plantea riesgos significativos para la seguridad energética nacional (Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2024).

Aun cuando las energías renovables no convencionales, como la solar y la eólica, están en proceso de expansión, su carácter intermitente limita su capacidad para garantizar un suministro continuo. En este contexto, la energía nuclear se presenta como una alternativa de carga base con bajas emisiones, capaz de contribuir a la estabilidad del sistema eléctrico; no obstante, su adopción enfrenta barreras financieras, regulatorias y sociales que se deben considerar.

Colombia cuenta con una experiencia limitada en tecnología nuclear, centrada en la operación del reactor de investigación IAN-R1 desde 1957, lo cual proporcio-

na una base técnica inicial (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2023b). En la recién promulgada Ley Nuclear de 2025 se establece un marco regulatorio alineado con estándares internacionales, lo que abre la puerta a la exploración de generación nuclear con fines comerciales (Ministerio de Minas y Energía de Colombia [MinMinas], 2025).

En este artículo se ofrece un análisis descriptivo y prospectivo de las posibilidades de implementación de la energía nuclear en Colombia, comparándola con otras fuentes energéticas y considerando experiencias internacionales de países líderes, como Francia (65,1 % de generación eléctrica nuclear), China (con una expansión acelerada) y Estados Unidos (con un marco regulatorio robusto) (IAEA, 2023a; Nuclear Energy Agency [NEA], 2023). En la estructura del documento se incluye una descripción técnica de la energía nuclear, sus principales ventajas y desventajas, un análisis económico prospectivo del contexto energético nacional, en el que se derivan algunas implicaciones y recomendaciones de política.

ENERGÍA NUCLEAR: PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR Y CONSIDERACIONES PARA COLOMBIA

La energía nuclear se genera a partir del proceso de fisión nuclear, en el cual los núcleos de átomos de uranio-235 se dividen y liberan una gran cantidad de energía térmica. Esta energía se transforma en electricidad mediante sistemas de generación que utilizan turbinas de vapor (IAEA, 2023b). Una de las principales ventajas de este proceso es que no produce emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI), lo que posiciona la energía nuclear como una fuente de generación eléctrica de bajas emisiones.

En el caso colombiano, el Plan Energético Nacional 2022-2052 proyecta un crecimiento anual de la demanda eléctrica entre el 2 % y el 3 % hasta mediados de siglo, lo que acentúa la necesidad de contar con fuentes de energía estables y confiables (MinMinas, 2022). En este contexto, los reactores modulares pequeños (SMR), con capacidades que oscilan entre 10 y 300 MWe, se presentan como una opción particularmente adecuada para países con infraestructura limitada. Estos reactores ofrecen ventajas en materia de costos, seguridad operativa, escalabilidad y flexibilidad para integrarse a distintas regiones del territorio nacional (IAEA, 2024).

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA NUCLEAR

En el contexto colombiano, comprender las ventajas y limitaciones de la energía nuclear resulta fundamental para valorar su potencial dentro de una matriz energética más diversificada. Más adelante, se presentan de manera sucinta los principales beneficios y desafíos asociados a esta fuente, con base en estudios internacionales y en las condiciones particulares del sistema energético nacional (tabla 1).

Ventajas

- **Bajas emisiones de carbono:** La energía nuclear emite alrededor de 12 gCO₂ por kWh durante su ciclo de vida, cifra comparable con las fuentes renovables y muy inferior al carbón (490 gCO₂/kWh) (IAEA, 2023c).
- **Alta eficiencia energética:** Los reactores nucleares presentan factores de capacidad superiores al 90 %, superando tecnologías renovables intermitentes como la solar o la eólica (NEA, 2023).
- **Estabilidad del suministro:** Al ofrecer una fuente de carga base continua, la nuclear contribuye a reducir la vulnerabilidad del sistema frente a la variabilidad climática, especialmente en un país como Colombia.
- **Impacto económico positivo:** La construcción y la operación de plantas nucleares pueden generar hasta 200.000 empleos directos e indirectos, al tiempo que impulsan cadenas de innovación tecnológica e industrial (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2022).

Desventajas

- **Altos costos iniciales:** La inversión requerida para una planta nuclear convencional se estima entre 5.000 y 8.000 millones de dólares, superando los costos iniciales de tecnologías hidroeléctricas y renovables (International Renewable Energy Agency [Irena], 2023).
- **Gestión de residuos radiactivos:** Estos residuos requieren sistemas de almacenamiento seguros y a largo plazo, regulados por protocolos técnicos internacionales establecidos por el International Atomic Energy Agency (IAEA, 2023c).

- **Riesgos de seguridad:** Aunque la probabilidad de accidentes es extremadamente baja ($<10^{-6}$ por reactor-año), los eventos históricos han generado una percepción pública de riesgo difícil de revertir (NEA, 2023).
- **Desafíos regulatorios:** Su implementación exige marcos normativos sólidos, que apenas se comienzan a consolidar en Colombia con la reciente Ley Nuclear de 2025 (MinMinas, 2025).

Tabla 1
Ventajas y desventajas económicas

Fuente Energética	LCOE Aproximado (USD/MWh, 2023-2025)	Ventajas Económicas	Desventajas Económicas
Nuclear	60-100	Bajo costo operativo, larga vida útil (60+ años), generación de empleo	Alto capital inicial, largos plazos de construcción (5-10 años)
Hidroeléctrica	30-50	Bajo LCOE, almacenamiento natural, madurez tecnológica	Vulnerabilidad climática, impactos en ecosistemas y desplazamientos sociales
Solar	30-50	Costos decrecientes, rápida implementación (1-2 años), escalabilidad	Intermitencia, necesidad de almacenamiento costoso, dependencia de importaciones de paneles
Eólica	40-60	Competitiva en costas, bajo impacto operativo, integración con redes existentes	Intermitencia, altos costos en offshore, conflictos con aves y paisajes

Fuente: Elaboración propia, a partir de International Renewable Energy Agency (Irena) (2023). *Renewable power generation costs in 2023*. Irena y Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2022). *Economic impacts of nuclear energy development*. OECD Publishing.

PANORAMA COMPARATIVO DE COSTOS Y DESEMPEÑO ENERGÉTICO

El costo de instalación de una planta nuclear continúa siendo significativamente superior al de otras fuentes de generación eléctrica, como la hidroeléctrica o la solar. Un reactor nuclear convencional puede requerir una inversión estimada entre 5.000 y 8.000 millones de dólares, mientras que una hidroeléctrica de capacidad

comparable suele situarse entre los 1.000 y 2.000 millones de dólares.

No obstante, al considerar el costo nivelado de electricidad (LCOE, por su sigla en inglés), que refleja el valor real por megavatio-hora generado a lo largo del ciclo de vida del proyecto, la energía nuclear resulta competitiva a largo plazo. Según datos de Irena (2023), el LCOE para la nuclear se ubica entre 60 y 100 USD/MWh en Latinoamérica; en contraste, la energía solar fotovoltaica ha reducido sus costos a un rango de 30-50 USD/MWh, mientras que la eólica se mantiene entre 40 y 60 USD/MWh. En el caso colombiano, la generación hidroeléctrica lidera con un LCOE promedio cercano a los 40 USD/MWh.

En este escenario, la energía nuclear, sobre todo mediante el uso de reactores modulares pequeños (SMR), se podría insertar como una fuente complementaria en la matriz nacional. Con un LCOE proyectado entre 70 y 90 USD/MWh, los SMR podrían aportar estabilidad frente a fenómenos climáticos como las sequías y reducir la dependencia de importaciones de gas natural.

Si bien las fuentes renovables presentan menores costos iniciales, la energía nuclear ofrece beneficios económicos más estables en el tiempo y abre oportunidades estratégicas para el país. En términos macroeconómicos, su incorporación podría contribuir entre un 1 % y 2 % del producto interno bruto (PIB), gracias a la atracción de inversión extranjera directa, el fortalecimiento de cadenas de suministro locales y el desarrollo de sectores complementarios, como la minería de uranio en regiones como el Cesar o Guainía.

El financiamiento de estos proyectos se podría articular mediante alianzas con organismos multilaterales como el Banco Mundial o fondos climáticos internacionales. Un mecanismo clave para amortizar los elevados costos iniciales (5.000-8.000 millones de dólares por planta) radica en los mercados de carbono, que permiten monetizar las reducciones de emisiones inherentes a la nuclear (12 gCO₂/kWh en ciclo de vida).

En Colombia, el marco regulatorio —establecido por la Ley 1931 de 2018 (que crea el Programa Nacional de Cupos Transables de Emisión [PNCTE]) y complementado por el Decreto 926 de 2017 para mercados voluntarios— habilita la generación de créditos de carbono en regímenes obligatorios y voluntarios, alineados con el artículo 6 del Acuerdo de París (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], 2024). Estos

créditos, equivalentes a 1 tCO₂e por unidad, derivan de proyectos que evitan, reducen o captan emisiones, con 208 iniciativas certificadas a junio de 2023 (crecimiento anual del 35 % desde 2018), principalmente en REDD+ y renovables, pero con potencial para energía nuclear con estándares como Verra o Gold Standard (*La República*, 2024c).

El mercado voluntario, impulsado por empresas como Cabify y Postobón para metas de carbononeutralidad, registró un crecimiento del 25 % en 2024, con transacciones superiores a cinco millones de toneladas de CO₂ equivalente a precios promedio de 12.000-14.000 dólares por bono (*Asociación Colombiana de Actores del Mercado de Carbono [Asocarbono]*, 2025). El acuerdo histórico de la COP29 (noviembre de 2024) acelera el comercio global centralizado conforme a las directrices de la ONU, proyectando un mercado de 250.000 millones de dólares anuales para 2030 y compensación de 5.000 millones de toneladas métricas de CO₂ al año, con mecanismos de verificación estricta (registros independientes, intercambio de información) para evitar doble conteo y proyectos fallidos (*La República*, 2024a). Ejemplos locales ilustran la replicabilidad: más de 2.000 caficultores (parte de 15.000 en el programa “Asómbrate”) vendieron bonos por 2.340 millones de pesos en 2024, evitando la emisión de 21.440 toneladas de CO₂ por medio de la siembra de árboles de sombra, certificados vía inteligencia artificial (IA) y satélites de Microsoft (*La República*, 2024b). Aunque persisten controversias —como el *greenwashing* (78 % de proyectos voluntarios globales calificados como “probablemente basura” por *The Guardian*) y la no permanencia de reducciones forestales (Prieto Valderrama, citado en *La República*, 2024c)—, la certificación con estándares del OIEA y metodologías rigurosas (Gold Standard, por ejemplo) garantizaría la integridad de créditos nucleares, posicionando a Colombia como líder regional en financiamiento climático y facilitando la adopción de SMR para descarbonización efectiva.

CONSIDERACIONES AMBIENTALES EN EL CICLO DE VIDA DE LA ENERGÍA NUCLEAR

Una de las principales ventajas ambientales de la energía nuclear es su bajo nivel de emisiones de dióxido de carbono. A lo largo de su ciclo de vida —que incluye extracción, procesamiento de combustible, construc-

ción, operación y desmantelamiento—, la generación nuclear emite aproximadamente 12 gCO₂ por kWh, una cifra muy inferior a la del carbón (490 gCO₂/kWh) y también menor que la de la energía solar (41 gCO₂/kWh) (IAEA, 2025).

No obstante, uno de los desafíos centrales es la gestión de residuos radiactivos, los cuales se clasifican en residuos de baja, media y alta actividad. Los residuos de alta actividad requieren almacenamientos geológicos profundos, diseñados para asegurar su aislamiento por periodos que pueden ir desde décadas hasta miles de años, de acuerdo con los estándares técnicos del OIEA.

En Latinoamérica, países como Argentina han implementado sistemas de gestión avanzados que han demostrado ser efectivos y seguros. Estas experiencias indican que, con tecnología adecuada y gobernanza técnica, los riesgos ambientales se pueden controlar en forma responsable.

Otro aspecto relevante es el uso de agua para procesos de refrigeración. Las plantas nucleares requieren entre 2.000 y 3.000 litros por MWh generado, una cantidad similar a la utilizada por centrales térmicas de carbón. También existen posibles efectos en ecosistemas locales, aun cuando estos son, en general, inferiores a los asociados a fuentes como las grandes represas hidroeléctricas, que implican alteraciones significativas en cuencas y biodiversidad fluvial.

La adopción de reactores modulares pequeños (SMR) contribuye a mitigar algunos de estos impactos. Los SMR requieren hasta diez veces menos terreno que una planta nuclear convencional y presentan demandas hídricas reducidas. Estas características los hacen especialmente adecuados para su instalación en regiones ambientalmente sensibles, como algunas zonas de Colombia.

En conjunto, el ciclo de vida de la energía nuclear deja una huella ambiental considerablemente baja, lo que la convierte en una herramienta útil para el cumplimiento de las metas climáticas del país. En consonancia con el Acuerdo de París, Colombia se ha comprometido a reducir sus emisiones en un 51 % para 2030, y la inclusión de fuentes de bajas emisiones como la nuclear puede ser un componente estratégico para alcanzar dicho objetivo.

CONSIDERACIONES AMBIENTALES EN EL CICLO DE VIDA DE LA ENERGÍA NUCLEAR

Para analizar las posibilidades de implementación de energía nuclear en Colombia, resulta clave revisar las experiencias de países que han consolidado esta tecnología como parte de sus estrategias energéticas (tabla 2). En el ámbito global, en junio de 2025 se contabilizaron 416 reactores nucleares operativos, con una capacidad neta de 376.261 MWe, distribuidos en más de 30 países. Cuatro naciones concentran cerca del 70 % de esta capacidad: Estados Unidos (94 reactores), China (58), Francia (57) y Rusia (36) (IAEA, 2025).

En Latinoamérica, aun cuando el desarrollo nuclear es más limitado, existen casos relevantes. Argentina opera tres reactores, mientras que Brasil y México cuentan con dos cada uno. Estas experiencias regionales ofrecen ejemplos de cómo la energía nuclear se puede integrar en matrices diversificadas y coexistir con fuentes renovables y convencionales.

Cada uno de los líderes mundiales ha seguido rutas distintas con lecciones valiosas. Francia apostó desde los años setenta por una estrategia de seguridad energética basada en la nuclear, lo que le permitió minimizar la dependencia de combustibles fósiles e incluso estabilizar los precios de la electricidad a largo plazo. China, por su parte, ha demostrado una notable capacidad de ejecución al construir nuevos reactores en plazos de cuatro a cinco años gracias a un modelo de inversión pública sólido y cadenas de suministro locales, lo que ha permitido reducir costos significativamente. Estados Unidos, a su vez, ha enfocado sus políticas en seguridad, especialmente después del accidente de Three Mile Island; ha desarrollado un sistema regulatorio riguroso y ha otorgado licencias de operación extendidas hasta 80 años para algunas de sus plantas.

Para Colombia, estas experiencias internacionales ofrecen lecciones estratégicas. Una hoja de ruta realista podría contemplar alianzas bilaterales con Francia o China para procesos de transferencia tecnológica, así como la adopción gradual de reactores modulares pequeños (SMR) como vía de entrada al desarrollo nuclear. Estos modelos, por su menor escala y costos reducidos, le permitirían al país minimizar riesgos financieros y sociales en las etapas iniciales de implementación.

Tabla 2
Comparativo internacional

País	Número de Reactores Operativos (2025)	Capacidad Instalada (GWe)	Porcentaje de Electricidad Nuclear	Lecciones para Colombia
Estados Unidos	94	~95	~20%	Enfoque en regulación estricta y extensión de vida útil de reactores; genera empleo masivo pero enfrenta costos altos en nuevas construcciones.
Francia	57	~63	~70%	Dependencia alta para estabilidad energética; éxito en estandarización de diseños, reduciendo costos operativos.
China	58	~55	~5% (creciendo)	Expansión rápida con costos bajos (hasta 30% menos que en Occidente); énfasis en innovación y SMR para exportación.
Rusia	36	~30	~20%	Integración con exportaciones de tecnología; resiliencia en climas extremos.
Argentina	3	~1.8	~7%	Cooperación regional; gestión de residuos efectiva en contextos similares a Colombia.

Fuente: Elaboración propia, a partir de International Renewable Energy Agency (Irena) (2023). *Renewable power generation costs in 2023*. Irena y Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2022). *Economic impacts of nuclear energy development*. OECD Publishing.

ANÁLISIS DEL MERCADO ENERGÉTICO COLOMBIANO

La matriz energética colombiana se caracteriza por una fuerte dependencia de la generación hidroeléctrica, que representa cerca del 70 % de la producción total de electricidad en la actualidad, seguida por un 20 % de fuentes térmicas (gas y carbón, en especial) y un 10 % de energías renovables no convencionales, como la solar y la eólica. Esta estructura, aunque históricamente ha permitido una generación relativamente limpia, ha demostrado ser vulnerable a condiciones climáticas extremas.

Eventos como las sequías registradas en 2024 — que redujeron en un 30 % la capacidad de generación hidroeléctrica— evidencian los riesgos de contar con una matriz tan concentrada en fuentes sensibles a variaciones hidrológicas. En este contexto, la incorporación de la energía nuclear se plantea como una opción estratégica para fortalecer la resiliencia del sistema eléctrico colombiano mediante la diversificación tecnológica.

El marco regulatorio establecido por la Ley Nuclear de 2025 representa un paso importante en esta dirección. Dicha normativa creó la Autoridad Nacional de Seguridad Nuclear (ANSN), encargada de supervisar el uso pacífico de la energía nuclear en el país y de garantizar el cumplimiento de compromisos internacionales, como el Tratado de No Proliferación Nuclear (TNP).

Las experiencias regionales respaldan esta posibilidad. En México, por ejemplo, los dos reactores operativos de la central nuclear Laguna Verde aportan alrededor del 10 % de la electricidad del país, sin generar interrupciones significativas en la red y con capacidad incluso para exportar excedentes.

En el caso colombiano, proyecciones iniciales indican que un reactor modular pequeño (SMR) de 300 MWe podría ser viable siempre que logre comercializar energía a un precio cercano a 70 USD/MWh. En estas condiciones, se estima que el proyecto podría atraer hasta 2000 millones de dólares en inversión internacional, especialmente si se apalanca en esquemas de financiamiento verde y alianzas multilaterales.

Además, este tipo de iniciativas se alinea con los compromisos adquiridos por Colombia en el marco de la COP29, donde se acordó el objetivo global de triplicar la capacidad nuclear instalada para 2050. En este contexto, la energía nuclear no solo contribuiría a la seguridad energética, sino también al posicionamiento internacional del país como actor comprometido con la transición energética y la mitigación del cambio climático.

Desde una perspectiva social, uno de los principales desafíos será la aceptación pública del desarrollo nuclear. En este sentido, resultará clave implementar campañas de educación y comunicación pública, como las desarrolladas en Francia, que han demostrado eficacia para reducir percepciones negativas, aumentar el conocimiento técnico y generar confianza ciudadana.

SIMULACIÓN DEL VALOR ECONÓMICO DEL AHORRO EN EMISIONES DE CARBONO MEDIANTE ENERGÍA NUCLEAR (2024-2045)

Como parte de las actividades desarrolladas en el semillero “Herramientas computacionales para el análisis económico”, se hizo un ejercicio de simulación prospectiva en R Studio para estimar el beneficio económico derivado del ahorro en emisiones de CO₂ al sustituir

generación térmica a base de carbón por un reactor modular pequeño (SMR) de 300 megavatios eléctricos (MWe)¹.

Metodología

Este análisis, en el que se utilizan precios internacionales del carbono, sirve como insumo técnico para adoptar decisiones de política energética y climática en Colombia.

En el presente ejercicio de simulación, en el que se toma como año base el 2024, se utilizaron los siguientes supuestos técnicos y de precios:

- Capacidad instalada: 300 MWe
- Factor de capacidad: 90 %
- Energía generada al año:

$$E_{\text{anual}} = 300 * 0,9 * \frac{8760}{1000} = 2365,2 \text{ GWh / año}$$

- Factores de emisión:
- Carbón: 820
- Nuclear: 12

$$\Delta \text{CO}_2 = 1,939 * 10^6 - 0,028 * 10^6 \approx 1,91 \text{ millones de toneladas}$$

En relación con el precio del carbono², se utilizaron los siguientes escenarios:

- Escenario bajo: 30 USD/ton
- Escenario medio: 50 USD/ton
- Escenario alto: 70 USD/ton

En la figura siguiente (figura 1) se muestra la evolución del precio del carbono para la Unión Europea (UE)

1. Un megavatio equivale a un millón de vatios. Así, un MWe indica la *potencia eléctrica generada, no térmica* y se usa en contextos de generación de energía, especialmente en centrales nucleares, para distinguir entre la potencia eléctrica neta que se entrega a la red (MWe) y la potencia térmica generada por el reactor (MWt), antes de las pérdidas por conversión.
2. No se debe confundir el *precio del carbono* (USD/ton CO₂), que representa el valor asignado a las emisiones de dióxido de carbono en mercados de carbono o impuestos ambientales, con el *precio del carbón* (USD/ton), que corresponde al valor comercial del combustible fósil utilizado para generación térmica. Ambos términos son distintos en significado, unidad y propósito.

durante el periodo 2010-2025. Se destaca el incremento sostenido del precio a partir del año 2016, debido a la reforma estructural del European Union Emissions Trading System (EU ETS), en el que la Unión Europea implementó reformas profundas en el diseño del mercado; esto incluyó:

- Reserva de estabilidad del mercado para retirar el exceso de permisos que había deprimido los precios y redujo significativamente la oferta en el mercado, lo que incrementó el precio por tonelada de CO₂.
- Disminución del tope anual de emisiones, lo que permitió reducir el número total de permisos disponibles a un ritmo más acelerado; esto creó escasez relativa y generó subidas adicionales en los precios.

La subida en los precios del carbono también se explica por el incremento en la ambición climática en la UE, donde se anunciaron objetivos más exigentes en la reducción de emisiones para el 2030 y la meta de carbononeutralidad en 2050 hizo que los agentes del mercado anticiparan mayores precios futuros, lo cual trajo consigo una mayor demanda de permisos y otra elevación de precios. De igual manera, el mayor interés de los inversionistas por considerar como activos financieros los derechos de emisión atrajo la atención de los fondos de inversión y *traders*, que inyectaron liquidez y presión alcista al mercado.

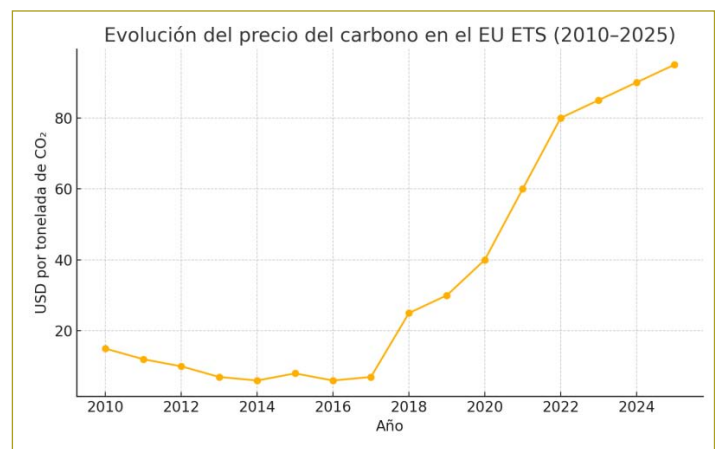


Figura 1. Dinámica del precio del carbono en la Unión Europea.

Fuente: Elaboración propia, a partir del Sistema de Transacción de Emisiones de la Unión Europea (European Union Emissions Trading System, EU ETS).

A continuación, se revela la comparación internacional de precios del carbono en el año 2024 para un conjunto seleccionado de países, en el que se encuentra Colombia (figura 2).

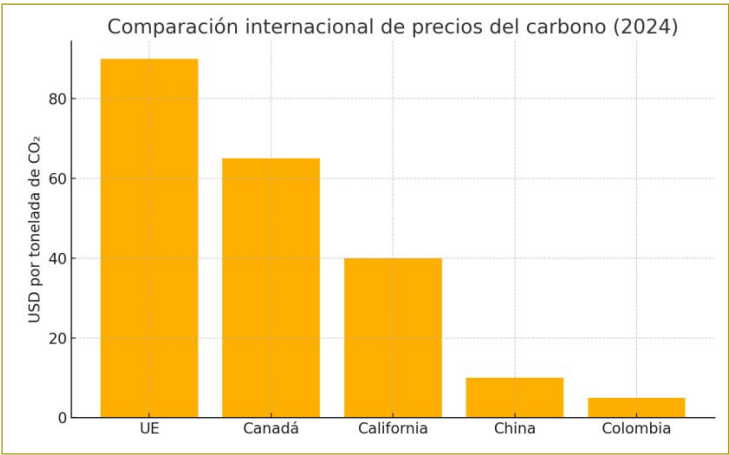


Figura 2. Cotización internacional del carbono (2024).
Fuente: Elaboración propia, a partir del Sistema de Transacción de Emisiones de la Unión Europea (European Union Emissions Trading System, EU ETS).

En la figura se puede apreciar una clara disparidad en los precios del carbono entre diferentes regiones en el año 2024. La Unión Europea (UE) encabeza la lista con más de 85 USD/ton CO₂, seguida por Canadá (~70 USD) y California (~40 USD), esta última considerada individualmente debido a su robusto mercado estatal de emisiones, independiente del sistema federal estadounidense. En contraste, China y Colombia presentan precios significativamente más bajos, inferiores a los 10 USD/ton, que reflejando mercados aún en desarrollo.

En el caso colombiano, esta baja valorización limita el atractivo financiero para tecnologías bajas en carbono, como los reactores modulares pequeños (SMR). Sin embargo, también representa una ventana de oportunidad: si el país fortalece su sistema de precios —ya sea mediante expansión del impuesto al carbono o participación en mercados voluntarios—, se podría aumentar la competitividad de tecnologías limpias y atraer financiamiento internacional.

En ese contexto, alinear el precio del carbono con estándares globales se podría convertir en una herramienta clave de política energética y climática. Esto no solo generaría incentivos económicos para nuevas tecnologías, sino que también facilitaría el cumplimiento de los compromisos de reducción de emisiones adquiridos por Colombia en el marco del Acuerdo de París y otras iniciativas multilaterales.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los supuestos y los parámetros utilizados, los resultados de la simulación realizados en R Studio se presentan a continuación (tablas 3 y 4):

Tabla 3
Resultados de simulación

Escenario precio	Emisiones Evitadas (ton)	Valor monetario anual (USD)
Bajo	1,91 millones	57.300
Medio	1,91 millones	95.550
Alto	1,91 millones	133.775

Fuente: Cálculos propios, a partir de Banco Mundial, ICAP, EEX, IEA y OECD Nuclear Energy Agency.

El análisis computacional demuestra que, incluso con una sola planta, el valor ambiental del ahorro en emisiones es tangible (hasta 134.000 USD/año en 2024). Hacia 2045, una expansión moderada a 3-5 SMR podría generar entre 500.000 y 1,4 millones de dólares anuales solo por concepto de bonos de carbono. Esta “renta ambiental” se debe considerar dentro de estrategias de financiamiento climático, instrumentos de mercado y políticas energéticas que premien la descarbonización efectiva y sostenible.

Por otro lado, se hizo un ejercicio adicional de prospectiva para el año 2045 con escenarios de expansión nuclear en Colombia, los cuales se muestran a renglón seguido (tabla 4).

Tabla 4
Proyección prospectiva al 2025

Reactores SMR	Precio (USD/ton)	Emisión evitada (Mt CO ₂)	Valor anual (USD)
3	100	5.73	573.000
5	150	9.55	1.432.500

Fuente: Cálculos propios, a partir de Banco Mundial, ICAP, EEX, IEA y OECD Nuclear Energy Agency.

En razón del interés nacional por la diversificación energética y los compromisos de reducción de emisiones, se proyectó un escenario moderado en el que Colombia incorpora entre tres y cinco reactores

SMR hacia 2045, sumando una capacidad de entre 900 y 1500 MWe. Así mismo, se supuso un precio del carbono en 2045 entre 100-150 USD/ton, que refleja un escenario climático agresivo (ver Banco Mundial e IEA), se supuso un número de reactores entre 3 y 5 y, finalmente, un ahorro de emisiones por cada SMR de 1,91 Mt CO₂/año.

El ejercicio de proyección muestra que, con precios internacionales del carbono entre 100 y 150 dólares por tonelada, un conjunto de entre tres y cinco reactores SMR en operación podría evitar entre 5,7 y 9,5 millones de toneladas de CO₂ al año. Esto se traduce en un valor potencial de entre 573.000 y 1,43 millones de dólares anuales en créditos de carbono, dependiendo del escenario. Aunque estas cifras no cubren por completo los costos operativos de una planta nuclear, sí representan una fuente complementaria de ingresos que podría ser significativa en esquemas de financiamiento verde o acuerdos multilaterales de descarbonización.

CONCLUSIONES

A lo largo de este artículo se analizó, desde una perspectiva descriptiva y prospectiva, el papel potencial de la energía nuclear como alternativa dentro de una matriz energética colombiana en transformación. A partir del análisis de tendencias globales, características técnicas de los reactores modulares pequeños (SMR) y un ejercicio de simulación económica basado en bonos de carbono, se identificaron oportunidades y desafíos para su futura implementación.

La energía nuclear, aunque todavía marginal en Colombia, representa una opción viable de diversificación, especialmente ante los riesgos de desabastecimiento que enfrenta el país por su alta dependencia hidroeléctrica. El avance normativo reciente —en particular, la Ley Nuclear de 2025— crea condiciones iniciales favorables para explorar esta fuente en forma responsable. Experiencias internacionales como las de Francia, China y Argentina demuestran que la adopción de SMR puede reducir barreras financieras y sociales, así como ofrecer mayor flexibilidad, menores requisitos territoriales y mejor adaptabilidad a sistemas eléctricos en expansión.

El ejercicio de simulación realizado, tomando como base un reactor de 300 MWe con un factor de planta del 90 % y precios internacionales del carbono en torno a los 50 dólares por tonelada, proyectó la posibilidad de

generar más de 95.000 dólares anuales en ingresos por bonos de carbono. Si bien estas cifras no son determinantes por sí solas, ilustran cómo la valorización de las emisiones evitadas puede contribuir a amortiguar parte de los costos operativos o servir como instrumento de atracción de inversión internacional mediante mecanismos verdes. En un escenario en el que Colombia avance en mercados voluntarios o regulados de carbono, estos ingresos podrían escalar, particularmente si se amplía la participación nuclear en la matriz.

Las implicaciones de política apuntan hacia una estrategia gradual que combine pilotos regionales de SMR, alianzas internacionales para transferencia tecnológica, esquemas de financiación híbrida y una estrategia comunicativa orientada a mejorar la percepción social. Así mismo, será clave continuar avanzando en investigación aplicada, simulación de escenarios energéticos y evaluación de impactos en el ámbito local, que permita integrar esta fuente dentro de un sistema energético más resiliente, sostenible y alineado con los compromisos climáticos nacionales al 2030 y al 2050.

REFERENCIAS

- Asocarbono (2025). *Informe del estado actual del mercado de carbono*. <https://asocarbono.org/wp-content/uploads/2025/09/Informe-del-Estado-Actual-del-Mercado-de-Carbono-...>
- DeepL GmbH (2023). DeepL Translator [Software]. <https://www.deepl.com/translator>
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2023a). *Nuclear power and the clean energy transition*. IAEA.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2023b). *Nuclear Technology Review 2023*. IAEA.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2023c). *Life cycle assessment of electricity generation systems*. IAEA.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2024). *Advances in small modular reactor technology developments*. IAEA.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2025). *Power Reactor Information System (PRIS) Database*. IAEA.
- La República (2024a). COP29 llega a un acuerdo para ejecutar el comercio mundial de créditos de carbono. <https://www.larepublica.co/globoeconomia/cop29-llega-a-un-acuerdo-para-ejecutar-el-comercio-mundial-de-creditos-de-carbono-4005723>
- La República (2024b). Más de 2000 productores de café venden bonos de carbono. <https://www.larepublica.co/empresas/mas-de-2-000-productores-de-cafe-venden-bonos-de-carbono-3716079>
- La República (2024c). Bonos de carbono: solución y controversia. <https://www.larepublica.co/especiales/bonos-sostenibles/bonos-de-carbono-solucion-y-controversia-3722164>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente) (2024). *Contexto de mercados de carbono*. <https://www.>

- minambiente.gov.co/mercados-de-carbono/contexto-mercados-de-carbono/
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia (2022). *Plan Energético Nacional 2022-2052*. Gobierno de Colombia.
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia (2025). *Ley Nuclear: marco regulatorio para el uso pacífico de tecnologías nucleares*. Gobierno de Colombia.
- Nuclear Energy Agency (NEA) (2023). *The costs of decarbonisation: system costs with high shares of nuclear and renewables*. OECD Publishing.
- OpenAI (2023). ChatGPT (Mar 14 version) [Large language model]. <https://chat.openai.com/>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2022). *Economic impacts of nuclear energy development*. OECD Publishing.
- International Renewable Energy Agency (Irena) (2023). *Renewable power generation costs in 2023*. Irena.
- Organización Latinoamericana de Energía (Olade) & International Atomic Energy Agency (IAEA) (2024). *Perspectivas para la energía nuclear en América Latina y el Caribe*. Olade.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2024). *Informe Anual del Sector Eléctrico Colombiano 2024*. Gobierno de Colombia.
- United Nations (UN) (2022). *Sustainable Development Goals Report 2022*. UN.
- xAI (2025). Grok (versión 4) [Inteligencia artificial generativa]. <https://grok.x.ai>

La estrategia de sostenibilidad soportada en datos maestros en el desempeño ESG¹ del sistema financiero colombiano

Sustainability strategy supported by master data from ESG performance of the Colombian financial system

ANDRÉS FELIPE CAÑÓN MORENO¹ - FABIOLA DEL TORO OSORIO²

1. Magíster en gestión de la información. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Candidata a Doctorado en Ciencias Informáticas. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5526-878X>

andres.canon@mail.escuelaing.edu.co - fabiola.deltoro@escuelaing.edu.co -

Recibido: 31/01/2025 Aceptado: 01/03/2025

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

La necesidad de aportar a la transformación del sistema financiero ha requerido desarrollar nuevas perspectivas y combinarlas con el empleo de nuevas tecnologías. En este sentido, es importante reconocer cómo el uso de los datos se puede combinar con un nuevo motivador de cambio como la sostenibilidad para extender el impacto de la banca a la sociedad.

Por esta razón, se decidió construir la Guía de gestión de los datos maestros ESG, orientada a la inteligencia de negocios para bancos del sistema financiero colombiano, mediante un enfoque práctico de aplicación de los conceptos de inteligencia de negocios y los fundamentos del DAMA. Esto permite identificar los puntos focales de transformación y aplicación de prácticas líderes del mercado para mejorar la toma de decisiones en materia de sostenibilidad, uno de los ejes claves en la transformación del sector, no solo con una perspectiva de estrategia de negocio sino también como un elemento fundamental en la operación. A lo largo del artículo se exponen los factores que han motivado a los bancos a incorporar criterios de sostenibilidad en toda su cadena

de valor, se describen los principales desafíos que enfrenta el sector al adoptar estándares de reporte, y se definen la extracción y consolidación de datos relacionados con la estrategia de sostenibilidad. Finalmente, se presenta el análisis hecho sobre la muestra de bancos, en el que se destaca cómo la información reportada, basada en datos maestros, refleja los esfuerzos estratégicos en torno a la sostenibilidad, para cerrar con algunos aspectos generales de las necesidades del sector y los usos focalizados para lograr la transformación ESG.

La principal contribución del artículo es la elaboración de una guía para el uso de datos maestros en el sistema financiero, con el fin de promover el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) vinculados a la sostenibilidad.

Palabras claves: MDM, ESG, gestión de datos, sostenibilidad.

Abstract

The need to contribute to the transformation of the financial system requires new perspectives to be developed and combined with modern technologies. In this regard, it is important to recognize how data can be used alongside a new driver of change, such as sustainability, to increase the societal impact of banking.

1. *Environmental, social and governance* (ESG).

The ESG master data management guide for business intelligence in Colombian banks was developed through a practical approach to applying business intelligence concepts and DAMA fundamentals. This enables the identification of focal points for transformation and the implementation of market-leading practices to enhance decision-making in one of the sector's key areas of transformation: sustainability. This is important not only from a business strategy perspective, but also as a fundamental operational element.

The article outlines the factors that have motivated banks to incorporate sustainability criteria throughout their value chains. It describes the main challenges that the sector faces in adopting reporting standards and in extracting and consolidating sustainability strategy-related data. Finally, it presents an analysis of a sample of banks, highlighting how information based on master data reflects strategic sustainability efforts. It concludes with some general aspects of the sector's needs and targeted uses to achieve ESG transformation.

The article's main contribution is the development of a guide for using master data in financial systems to promote compliance with sustainability-related sustainable development goals (SDGs).

Keywords: MDM, ESG, data management, sustainability.

INTRODUCCIÓN

La preocupación por el cambio climático tiene sus orígenes en el año 2005, cuando la Organización de las Naciones Unidas (ONU) crea el programa sobre el medio ambiente; posteriormente, han ido surgiendo esfuerzos adicionales para enfocar a los países en la transición a economías sostenibles y amigables con el medio ambiente.

De Vivero de Porras (2022) resalta en 2006 el programa PRI (Principios de Inversión Responsable), en 2008 el GRI (Global Reporting Investment) para establecer estándares en la forma de reportar información a los inversionistas y, por último, en 2015 la firma del Acuerdo de París, que definió la Agenda 2030 para el cambio climático y fijó los 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) que deben perseguir las naciones.

Uno de los sectores de los cuales se espera un apoyo importante en la transición de las economías es sin duda el sistema financiero, como eje de la economía y fuerte aliado de los gobiernos en la consecución de los objetivos de crecimiento económico; con el fortalecimiento de los departamentos de sostenibilidad, se ha buscado dar un nuevo enfoque al papel que desempeña la banca en torno a la construcción social.

En los últimos años, el desarrollo de las finanzas sostenibles le ha dado un nuevo protagonismo al sector financiero, impulso que ha generado transformaciones significativas tanto en los bancos centrales como en los organismos reguladores de la industria. Según González

y Núñez (2019), se han hecho grandes esfuerzos en la formulación de marcos normativos y estándares orientados a incentivar la participación de la banca privada en iniciativas sostenibles; no obstante, dichos esfuerzos han trascendido la mera creación de regulaciones, incorporando herramientas complementarias como las pruebas de escenarios de estrés, la definición de taxonomías para la clasificación de activos verdes y la implementación de incentivos tributarios que promuevan la integración de criterios de sostenibilidad, pero siempre encuentran restricciones en torno a fuentes y usos adecuados de información.

Colombia, como país firmante de estos acuerdos, ha buscado fomentar mayor protagonismo desde el sector financiero en la promoción y adopción de los estándares de sostenibilidad, como expone la Superintendencia Financiera de Colombia (2021), que en su papel como ente regulador ha expedido decretos y circulares (como la Circular Externa 031 de 2021) en los que se exige a las compañías de este sector adoptar estándares de divulgación de la información financiera en materia de sostenibilidad, y se da mayor protagonismo a reportes alineados con estándares como TCFD², el SASB³ e incluso el Saras⁴, que pretenden mostrar los esfuerzos por mitigar el cambio climático desde la perspectiva de iniciativas aisladas, como el desarrollo de iniciativas de voluntariado y no como un elemento incorporado a la transformación del negocio.

De acuerdo con González y Núñez (2019), desde la perspectiva de las entidades financieras las iniciativas se han centrado en la incorporación de los riesgos físicos y de transición como parte de la evaluación de impactos financieros; sin embargo, se ha dejado de lado la posibilidad de aprovechar los datos como un elemento de cambio que permita habilitar las bondades de la transformación frente a un negocio más eficiente y amigable con la sociedad y el medio ambiente.

Es aquí donde cobra relevancia la incorporación de los datos como un elemento diferencial a la hora de

2. Task Force on Climate-Related Financial Disclosures (TCFD). Grupo de tareas financieras por el cambio climático en la promoción de información no financiera.
3. Sustainability Accounting Standards Board (SASB). Estándares contables para el reporte de información financiera asociada a la sostenibilidad.
4. Sistema de Administración de Riesgos Ambientales y Sociales (Saras).

tomar decisiones, pues según Gimeno y Sols (2020), los principales desafíos vienen a la hora de cuantificar con una perspectiva financiera los impactos positivos que la sostenibilidad genera tanto a los activos financieros como a las compañías relacionadas con actividades de inversión y gestión de fondos. Este elemento abre la puerta al desarrollo de estudios como el que se presenta a continuación, que permite a la banca identificar necesidades y hacer tangibles sus resultados desde la medición de sus impactos, empleando habilitadores transversales como los datos y las herramientas de inteligencia de negocios para tomar decisiones informadas y en tiempo real.

En el artículo se persigue la síntesis de las prácticas líderes del mercado en gestión de datos para facilitar la administración y el uso de los datos con fines de toma de decisiones para operacionalizar los objetivos estratégicos de sostenibilidad, se presenta la conjunción de la importancia de la definición de los objetivos estratégicos como sector y como entidad, al igual que la aplicación de los lineamientos del DAMA como elemento clave para la gestión efectiva de los datos, y de esta manera ofrecer una orientación en torno a la combinación de los habilitadores digitales como un principio clave para la transformación del negocio.

ANTECEDENTES

Según exponen Ballesteros, Díaz-Noriega, Elola y Ramos (2021), el enfoque tradicional de reporte que se ha adoptado es difuso en la implementación de la estrategia, ya que se centra especialmente en el resultado. En su tesis, ellos destacan los elementos principales de los marcos de referencia adoptados por las empresas, como TCFD⁵ o SASB⁶, que exhortan a desarrollar reportes de los factores ESG, más que una estrategia holística de adopción de impactos ESG.

De este enfoque, los autores resaltan estadísticas como la siguiente: "Solo el 22 % de los consejeros de las grandes empresas financieras de España consideran que la junta directiva les presta la adecuada atención a las

variables ESG que soportan la definición de la estrategia corporativa". Esto genera un llamado a la acción para repensar la adopción de la sostenibilidad en el negocio y la forma como se transmite la necesidad estratégica de los factores ESG.

Así mismo, con el fin de ofrecer un punto de vista alternativo y una solución al vacío que tienen los estándares actuales, sugieren adoptar un enfoque diferente sobre la estrategia de sostenibilidad de las compañías del sector financiero, establecido por niveles de madurez de la siguiente manera:

- **Nivel 1:** Identificar los posibles factores de riesgo asociado a los factores ESG, adaptando sus políticas y mecanismos de gestión de riesgo (riesgos físicos⁷ y de transición⁸).
- **Nivel 2:** Promover la optimización de los procesos productivos a través de la optimización de recursos naturales.
- **Nivel 3:** Promover la innovación con enfoque sostenible y generar espacios de desarrollo de productos que impacten los objetivos estratégicos (generación de valor y eficiencia operativa).

Este nuevo enfoque, que debe ser tangible para el público, sugiere que se vea reflejado en sus informes de sostenibilidad, que es el mecanismo por el cual se comunica a los actores sociales los esfuerzos que se hacen.

En esta investigación también se indica que es necesario abordar los siguientes aspectos para alcanzar tales niveles de madurez:

- **Gestión estratégica:** Incorporar los temas sociales y ambientales como un factor importante en las decisiones de negocio y no como un factor adicional.
- **Medición del desempeño:** Existe una dificultad colectiva, específicamente para el sector financiero, en la cuantificación económica de los efectos socioambientales y su impacto en el resultado financiero.
- **Cambio cultural:** Transmitir la necesidad de cambio implica alinear las necesidades de la organización con las necesidades individuales de las personas.

5. TCFD: Estándar de divulgación de información diseñado por naciones unidas como parte del apoyo a la mitigación del cambio climático.

6. SASB: Estándar de divulgación de información financiera relacionada con el medio ambiente.

7. Riesgos físicos: Efectos directos ocasionados por el cambio climático que perciben las entidades.

8. Riesgos de transición: Riesgos reputacionales ocasionados por la transición a actividades amigables con la sociedad y el medio ambiente.

- **Formación del talento:** Encontrar el talento adecuado y capacitado para tomar decisiones, así como transmitir este conocimiento.
- **Homogeneidad:** Lograr estandarización en la industria para construir prácticas líderes y sinergias gremiales.

Una vez que las entidades incorporan dichos factores internos, es relevante capturar tales efectos indirectos que generan estas nuevas acciones, lo que supone un nuevo reto en la captura y consolidación de información ESG. Para este fin, Visalli et al. (2023) proponen dos grandes grupos de fuentes de información para capturar datos ESG, lo que denominan fuentes primarias. Un grupo son los documentos y bases de datos que proveen las empresas mismas, y el otro grupo lo constituyen los organismos gubernamentales, que resultan ser de acceso público pero con estructuras diversas. Por otro lado, las fuentes secundarias son datos estructurados y generalmente procesados por algún proveedor que implican un costo.

Visalli et al. (2023) se refieren también a otro gran problema al que se enfrentan los inversionistas y acreedores durante el desarrollo de sus análisis del desempeño ESG: consolidar la información de manera simple y en el momento adecuado, manteniendo un equilibrio en los costos y esfuerzos relacionados con la captura de información en tiempo real con la dinámica que presenta el mercado.

En este sentido, es relevante repensar los usos que se plantean sobre los datos para alimentar estos modelos de datos con alto grado de sofisticación. Para este fin, Del Toro Osorio, Ospina Becerra y Estévez (2022) presentan la forma en la que se construye la estrategia de datos para las organizaciones, buscando incorporar elementos como los descritos en las ciudades y territorios inteligentes; en su modelo, sugieren la incorporación de nuevos elementos durante las fases de conocimiento y planeación para facilitar la gestión de los datos, los cuales proponen identificar en la fase de conocimiento de necesidades centrado en los ciudadanos.

Adicionalmente, se requiere el empleo de nuevas herramientas tecnológicas para la captura y el uso de estos datos, como los sensores IoT, que permiten nuevas formas de capturar diferentes tipos de datos; no obstante, es clave continuar evaluando los riesgos en la adopción de nuevas técnicas para la explotación de estos datos con los métodos de las ciudades inteligentes.

Con base en estos desafíos y métodos en torno a la gestión de los datos, las inversiones hechas por los bancos estarán enfocadas en generar, extraer, consolidar y aprovechar los datos para la toma de decisiones, buscando desarrollar ventajas competitivas; sin embargo, no es suficiente con apostar por estas nuevas tendencias, ya que esto debe verse reflejado en los resultados.

Hasta el momento, se han identificado grandes preguntas que generalmente se resuelven por medio de las soluciones de inteligencia de negocios; por ejemplo, ¿cómo se evidencia el valor generado con las acciones de transformación ESG?, o ¿cómo se monetizan los esfuerzos en reducción de emisiones y optimización de recursos? Un factor clave para dar respuesta a estas preguntas es considerar una infraestructura de datos a la vanguardia, pero no solo desde el punto de vista de elementos tecnológicos para la captura de los datos, ya que esto también implica que cada miembro en la organización pueda aportar a la gestión adecuada de los datos, que son el insumo fundamental para desarrollar estos sofisticados apoyos en la toma de decisiones.

Colombia no es ajena a este nuevo fenómeno, en el que las industrias han buscado modernizar sus sistemas con el fin de adoptar la vanguardia tecnológica necesaria para la gestión de sus operaciones; no obstante, no basta solamente con incorporar las herramientas, se requiere desarrollar los marcos para la gestión de los datos, que permitan extraer lo mayor posible del dato y, sobre todo, trasladar su valor a la toma de decisiones y la transformación del negocio, pasando de una colección de enormes informes que se quedan en el papel y no generan realmente un valor social y económico a las entidades.

METODOLOGÍA

Para cubrir las fases de una solución de inteligencia de negocios hay que recorrer tres grandes etapas (figura 1). La primera tiene que ver con identificar las necesidades para alinear los objetivos de negocio, determinar las brechas en materia de madurez y priorizar los objetivos de desarrollo sostenible que hay que trabajar. La segunda consiste en descubrir los datos, lo que permite seleccionar y reconocer específicamente los datos requeridos, que se condensarán en el catálogo de datos maestros ESG, y la tercera está relacionada con la gestión de los datos maestros, que presenta los elementos diferencia-

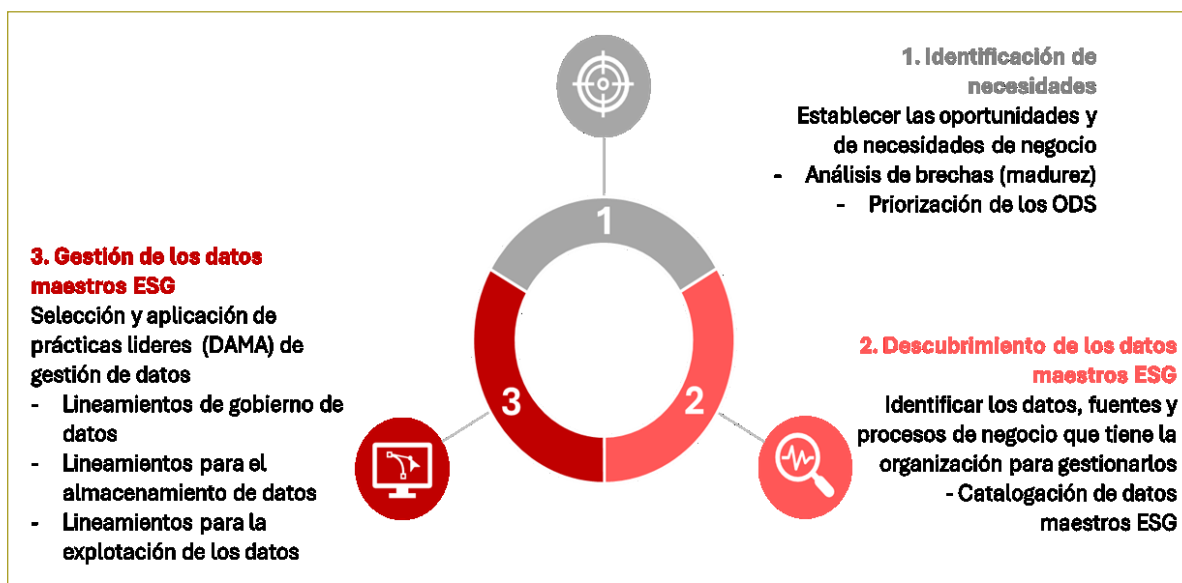


Figura 1. Metodología.

Fuente: Elaboración propia.

les establecidos por el DAMA para la gestión del dato durante el ciclo de vida (gobierno, almacenamiento y explotación).

Para iniciar las aproximaciones a las aplicaciones de inteligencia de negocios, utilizando los datos maestros en sostenibilidad en el sistema financiero, es relevante comprender las necesidades del sector en materia de sostenibilidad, que permiten establecer el foco sobre los datos maestros requeridos y comprender cómo se genera valor mediante la inteligencia de negocios apalancada en estos datos y su auge en el sistema financiero. Para este fin, se emplea un modelo de madurez para identificar brechas en torno a los estándares de reporte, y además se usa la exploración de los datos para identificar elementos de cara a la gestión de los datos; finalmente, se aplican las áreas de conocimiento priorizadas de la metodología del DAMA para el componente de gestión de los datos maestros, con el objetivo de fortalecer los ejercicios de inteligencia de negocios.

SOLUCIÓN DESARROLLADA

Para identificar las necesidades en términos de datos e información que tiene el sistema financiero colombiano, es necesario analizar cómo algunos de los jugadores de este sistema presentan sus enfoques estratégicos en sostenibilidad soportados en datos; para esto, se definió

el uso de los modelos de madurez, que según la Escuela de Administración, Liderazgo, Dirección y Emprendimiento (Ealde, 2020) es el nivel de alineación en el que se encuentra una organización con respecto a las mejores prácticas en el mercado en un tema específico, lo que permite establecer las necesidades de transformación en sostenibilidad para el sector financiero colombiano.

Estas brechas identificadas giran en torno a tres necesidades claras:

- Reporte de información y desempeño (TCFD y SASB).
- Creación de productos verdes.
- Gestión de riesgos ambientales y climáticos (Saras).

Se toma una muestra de siete bancos (Bancolombia, Banco de Bogotá, Scotiabank Colpatria, Banco Caja Social, Banco AV Villas, Banco Itaú y Banco Pichincha) de los veintiocho existentes en el sistema financiero colombiano, con el propósito de entender varias perspectivas y abordajes en torno a la sostenibilidad. La muestra se definió en función de los siguientes criterios:

- Valor de la cartera total del banco según reporte del ente regulador.
- Relación con casa matriz en el extranjero (para evaluar el nivel de desarrollo del reporte local).
- Reconocimientos por sus esfuerzos en materia de sostenibilidad.

Para construir el modelo de madurez, se han definido cuatro niveles alineados con la evolución en la adopción de los estándares TCFD, SASB y Saras, que permiten categorizar a las entidades financieras y asignar su grado de evolución sobre la divulgación de información de la estrategia ESG soportada en datos.

Para cada una de las entidades mencionadas se aplicaron tres dimensiones, desagregadas en catorce preguntas que se validaron por medio de la información divulgada en los informes de gestión o sostenibilidad que presentan en síntesis los resultados financieros, así como los esfuerzos en sostenibilidad y transformación de la oferta de valor a los clientes y a los inversionistas; con base en esta información, la escala de medición se definió de la siguiente manera:

- **No iniciado:** No considera ningún apartado o no relaciona información sobre la pregunta a lo largo del informe de sostenibilidad.
- **Básico:** Menciona en un apartado algún párrafo relacionado con la pregunta, pero no se desarrolla en profundidad (no incluye datos que soporten la información relacionada).

- **Integrado:** Hay presencia de información relacionada con la pregunta e incluye información parcial que otorga soporte sobre el tema; sin embargo, no se alinea completamente con las mejores prácticas o tiene potencial para entregar mayor detalle.
- **Líder:** Hay presencia de información relacionada con la pregunta, así como relevancia en los datos entregados, que se soporta en el uso de datos. Dicha información está alineada con las mejores prácticas de divulgación de la información no financiera (TCFD, GRI, SASB y manuales de Saras).

A continuación, se presenta el resultado del análisis hecho para las entidades. El color verde representa un mayor nivel de madurez, el amarillo un rango medio de madurez y el rojo un bajo nivel de madurez (tabla 1).

Los resultados generales de la evaluación para la muestra presentan diferentes retos para los bancos. No obstante, produce gran esperanza ver avances en torno al diseño de la estrategia de sostenibilidad de algunos jugadores del mercado, que ya los están incorporando en sus informes; adicionalmente, hay un alto grado de alineación hacia objetivos de desarrollo sostenible

Tabla 1

Análisis de madurez para los bancos de referencia del sistema financiero colombiano.

Principio de interés	Pregunta	Bancolombia	Banco de Bogotá	Scotiabank Colombia	Faja Social	Aviación	Itaú	Michels
Gestión de riesgos	¿La organización define y evalúa periódicamente los tipos de riesgos en materia ESG y el nivel de riesgo adoptados dentro de su planificación empresarial?	Integrado	Integrado	Integrado	No iniciado	Integrado	Líder	No iniciado
	¿La metodología empleada por la organización considera una taxonomía adecuada de los riesgos ESG y de cambio climático permitiendo realizar una gestión efectiva de los impactos?	Integrado	Integrado	Integrado	No iniciado	Básico	Líder	No iniciado
	¿La organización establece y ejecuta procesos de monitoreo para los riesgos ESG y cambio climático en función de realizar seguimiento a los niveles de riesgo, la materialidad de los riesgos, efectividad de controles y aplicación de los planes de acción?	Integrado	Integrado	Básico	No iniciado	Básico	Líder	No iniciado
	¿La organización emplea ejercicios de escenarios de estrés y sensibilidad para estimar los impactos generados por los riesgos climáticos?	Básico	Integrado	No iniciado	No iniciado	Básico	Básico	No iniciado
Creación de productos	¿La organización cuenta dentro de su oferta de valor al cliente y accionistas con productos ESG actualizados?	Líder	Líder	No iniciado	Básico	No iniciado	No iniciado	No iniciado
	¿La organización considera los efectos en descarbonización de la cartera que se generan por la creación de productos verdes?	Líder	Líder	Básico	Básico	No iniciado	Básico	No iniciado
	¿La organización identifica y reporta las oportunidades de uso de fondos y/o desarrollo de productos que apoyan la estrategia ESG?	Líder	Líder	Integrado	No iniciado	Integrado	Básico	No iniciado
Divulgación del desempeño	¿La organización divulga información sobre el desempeño de los recursos materiales a los grupos de interés de forma periódica bajo estándares y principios reconocidos internacionalmente?	Líder	Líder	Básico	No iniciado	Integrado	Integrado	No iniciado
	¿La organización reporta métricas y riesgos ESG (en especial los relacionados con el cambio climático), publica datos históricos y describe las metodologías usadas para hacer cálculos y estimaciones?	Líder	Integrado	Básico	Básico	Básico	Básico	No iniciado
	¿La organización considera lineamientos y políticas que orienten la toma de decisiones (operativas y estratégicas) para alcanzar los objetivos ESG definidos?	Líder	Líder	Integrado	Básico	Integrado	Integrado	No iniciado
	¿La organización evalúa y gestiona los impactos que genera su modelo operativo en relación con la estrategia ESG?	Líder	Integrado	Básico	Básico	Integrado	Integrado	No iniciado
	¿La organización cuenta con reconocimientos internacionales y nacionales por los esfuerzos relacionados con alcanzar sus metas ESG?	Líder	Líder	Integrado	No iniciado	Básico	Básico	No iniciado
	¿La organización ha incorporado instrumentos financieros (bonos sostenibles) para desarrollar su estrategia ESG?	Integrado	Integrado	No iniciado	No iniciado	No iniciado	No iniciado	No iniciado
	¿La organización reporta los usos del capital (inversiones y/o proyectos) que realiza para aportar a su estrategia ESG?	Líder	Líder	Integrado	No iniciado	Integrado	Básico	No iniciado

Fuente: Elaboración propia.

(ODS) y enfoques de transición hacia la ecoeficiencia y la medición de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Posteriormente, para abordar el descubrimiento de los datos hay que seguir la metodología sugerida por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (2023) para descubrir los datos maestros en sostenibilidad y asociar a estos los indicadores claves relacionados, los procesos de negocio y los responsables de proveer estos datos, en consonancia con los niveles de madurez de cada entidad.

Este enfoque sugiere identificar las necesidades de medición surgidas desde la estrategia e ir recorriendo operativamente los procesos para identificar las interacciones y los responsables de facilitar los procesos de calidad y gestión de los datos más adelante; esto se ha traducido en la construcción del catálogo de datos que ayudó a identificar 128 datos maestros en sostenibilidad, alineados con 8 objetivos estratégicos de sostenibilidad; así mismo, partiendo del marco de referencia de APQC (2020), se identificaron 9 macroprocesos que se ven atados a 16 cargos sugeridos en las instituciones financieras, los cuales permitirán abordar las diferentes aristas en el camino de la transformación hacia la sostenibilidad.

Con miras a complementar las necesidades de gestión de los datos, se requiere involucrar las áreas de conocimiento que mayor incidencia tienen en el sector financiero, alineadas con la metodología propuesta por el DAMA (2017). El primer paso consiste en establecer el gobierno de estos datos, para lo cual se han identificado ocho roles sugeridos, entre los cuales sobresalen los siguientes:

- **Dueño del dato:** Responsable de las definiciones de negocio de los datos que gestiona, es decir, gestiona la calidad y generación de los datos.
- **Custodio del dato:** Responsable de implementar y hacer seguimiento a las políticas de calidad y gestión de los datos.
- **Arquitecto de datos:** Responsable de diseñar y definir las estructuras de almacenamiento e interconexión de las bases de datos para optimizar las interacciones de los datos a lo largo de los procesos de negocio.
- **Oficial de cumplimiento:** Responsable de definir y garantizar el cumplimiento de las regulaciones en torno a la gestión y privacidad de los datos, haciendo

especial énfasis en las actualizaciones normativas y de los procedimientos asociados.

Adicionalmente, se han identificado cinco lineamientos y cinco procedimientos para gestionar de manera más eficiente el dato a lo largo de su ciclo de vida. Estas definiciones giran en torno a mejorar la calidad, seguridad, privacidad e integración, que resultan ser factores claves en la construcción del gobierno de los datos. Estos roles, en conjunto con la definición de políticas y procedimientos, permitirán desarrollar de un modo más idóneo la estrategia de datos que tenga la entidad, habilitando el valor que genera la gestión de los datos.

Siguiendo la línea metodológica propuesta por el DAMA (2017), es necesario habilitar el almacenamiento de los datos como uno de los factores claves para la gestión de datos, para lo cual es relevante identificar los tipos de sistemas fuentes con los que cuenta la organización. De acuerdo con Sinergia e Inteligencia de Negocios S.L. (2024), hay tres grandes tipos de sistemas fuentes a nivel interno de las entidades financieras analizadas, a saber:

- **Transaccional:** Comprende todos los sistemas que emplea la compañía para gestionar y almacenar las transacciones del negocio, así como otros tipos de transacciones que no son propias del negocio pero que se requieren para la operación, como los procesos de compras y pago de nómina.
- **Operacionales:** Esta clasificación comprende los sistemas que almacenan la información de los clientes, al igual que el soporte de las operaciones internas del banco, apoyando procesos como los mantenimientos de clientes, la gestión de activos y los procesos contables.
- **Legados:** Los sistemas legados son aquellos con tecnología rezagada que se mantienen con fines de almacenamiento, como los repositorios documentales, sistemas migrados que se mantienen debido a la complejidad que presentan para migrar.

La identificación de los tipos de sistemas fuente permitirá a las organizaciones determinar las clases de conexiones y las limitaciones técnicas que tienen los sistemas para interconectar los datos, ya que los sistemas con mayor antigüedad generan complicaciones en lo que corresponde a la migración a la nube y la aplicación de las nuevas tecnologías.

Finalmente, para construir mecanismos que permitan asegurar la extracción de los datos de las fuentes, su transformación y carga en bodegas de datos (ETL), así como para asegurar las sinergias en este entorno, se requiere conocer los datos disponibles y necesarios, al igual que entender el estándar de arquitectura de las bases de datos para conocer la forma en la que se están almacenando los datos y la manera como el mecanismo debe interpretar los datos para efectuar las transformaciones requeridas; esto permitirá, además, transformar los estándares actuales para optimizar las conexiones, identificando el orden de los campos requeridos, así como los lenguajes de programación que deben adaptarse para la réplica en el mecanismo centralizado de almacenamiento y, por último, desarrollar los ejercicios de inteligencia de negocios.

Este proceso permitirá reajustar las políticas de calidad de los datos y ajustar de manera más eficiente las visualizaciones requeridas para la toma de decisiones; adicionalmente, en la medida en que incremente el nivel de madurez de la organización, podrá interconectar más bases de datos para generar un impacto más profundo de la sostenibilidad a lo largo de la cadena de valor.

La guía está compuesta por cuatro grandes capítulos, en los que se detalla lo expuesto en este artículo en función de apoyar a las entidades en el camino al uso intensivo de los datos para fines de sostenibilidad e impacto positivo en el medio ambiente. El primero de ellos trata sobre la construcción del catálogo de datos que está relacionado con el descubrimiento de los datos que las entidades financieras deben hacer para comprender los activos que poseen para sus fines de sostenibilidad. El segundo, asociado al gobierno y a la calidad de los datos, refleja las buenas prácticas respecto a la estructura de gobernanza que se requiere para la adecuada gestión del dato a lo largo de su ciclo de vida. El tercero, destinado al almacenamiento, refleja la orientación técnica que debe realizarse para identificar eficiencias y optimizaciones en el flujo de los datos, con miras a usarlos en procesos posteriores. Finalmente, el cuarto capítulo corresponde a buenas prácticas para lograr impacto en la visualización de los datos y facilitar la construcción de los tableros para la toma de decisiones.

CONCLUSIONES

Esta guía les permite a las entidades financieras operacionalizar las decisiones que están tomando en torno a la relevancia de la sostenibilidad, así como también impartir instrucciones a los diferentes niveles para abordar efectivamente la sostenibilidad desde una perspectiva de uso intensivo de los datos.

La guía tiene limitaciones en lo relacionado con la captura del valor de los datos, ya que está pensada para orientar a las entidades en la implementación de la estructura operativa del dato; sin embargo, será menester de cada entidad definir y priorizar sus objetivos, y sobre esta base lograr la captura de valor de estos. En esta línea, será la base para trabajos futuros en los que se aborde la perspectiva de la captura de valor y cómo hacer tangibles los beneficios asociados a la sostenibilidad.

En términos generales, en materia de los usos descritos hay bastante camino por transitar en torno a llegar a las mejores prácticas de la industria; indudablemente, uno de los primeros focos de atención está en las necesidades sobre la gestión de los datos para facilitar la información reportada (eficiencia energética, nivel de aporte a las métricas de desarrollo sostenible, apoyo al financiamiento verde, entre otros); esto les permitirá a las compañías financieras reducir los esfuerzos en el monitoreo y desarrollo de productos verdes, con el fin de construir nuevos vehículos para apoyar la sostenibilidad y alcanzar las metas que se tienen establecidas como país, dejando de limitarse a la medición de emisiones y a la gestión eficiente de recursos naturales, y apoyando directamente la financiación de proyectos para incrementar el impacto positivo en la transición a una economía ambientalmente sostenible.

El sector financiero colombiano continúa teniendo retos importantes en la gestión del conocimiento ESG para facilitar los objetivos del país en la transformación de la economía y el cumplimiento de los ODS, pues a pesar de los esfuerzos del ente regulador en emitir normas se siguen viendo rezagos por parte de los supervisados en la adopción de la sostenibilidad, ya que muchos se han quedado en la definición de una estrategia con grandes oportunidades de repotenciar sus negocios.

En este aspecto, es necesario priorizar los datos sobre los cuales los bancos del sistema financiero colombiano deben empezar a hacer la medición respectiva, con el objeto de permitirles incrementar paulatinamente

su nivel de madurez en relación con la información de sostenibilidad que se divulga en los informes y evolucionar los procesos de toma de decisiones apalancándose en los datos.

Para este fin, la propuesta está por identificar el nivel de madurez en el que se encuentra cada una de las entidades; para aquellas que tienen un menor nivel se sugiere impactar en principio los objetivos de igualdad de género, acción por el clima y reducción de las desigualdades, debido a que son objetivos que tienen mayor relación con los procesos de transformación interna de las entidades y permiten mayores facultades de medición.

En este aspecto, las métricas recomendadas para comenzar la medición están asociadas a los procesos de gestión del talento y a la medición del impacto de las emisiones de carbono (alcances I y II); esto, descompuesto en indicadores, está orientado al número de mujeres por cargo, la inclusión de personal con condiciones especiales, la alineación del talento con respecto a los objetivos de sostenibilidad planteados por la entidad, la cantidad de mujeres en cargos directivos, el impacto de cada uno de los procesos en las emisiones de carbono, el número de viajes realizados por los directivos, el consumo del agua y el consumo de energía, entre otros.

A los bancos con niveles más avanzados de madurez, es decir, aquellos que atienden con mayor rigor los elementos de la sostenibilidad, bien sea por tener un mejor desempeño en el reporte, se les recomienda abordar los objetivos más complejos para ampliar el impacto positivo que tienen en la sociedad y el medio ambiente. En este orden de ideas, se sugiere tratar los indicadores relacionados con los procesos de gestión de recursos financieros, los procesos de innovación y creación de productos y las relaciones con grupos externos; al traducir estos macroprocesos en indicadores, se aconseja revisar todos los indicadores correspondientes al gasto asociado a la creación de productos sostenibles, al igual que el impacto de los riesgos ASG dentro de la estrategia corporativa (pérdidas esperadas, número de procesos intervenidos por controles de riesgo climático, entre otros).

En el capítulo sobre innovación estarían los tiempos de salida al mercado de estos nuevos productos verdes que contemplan los pasos de desarrollo, puesta en marcha y captura de beneficios; adicionalmente, para la relación con terceros están los impactos generados a las

comunidades por los programas de beneficio social y el alcance de las emisiones de carbono. Con estos datos priorizados, los bancos con mayor nivel de madurez podrán complementar su información no financiera divulgada al público.

En Colombia aún queda un largo camino por transitar en materia de transformación, por lo que se requiere revisar el impacto que la estrategia tiene dentro de la transformación del negocio para lograr nuevos niveles de madurez en torno a la adopción de los factores ESG, y en ese sentido será clave el reconocimiento que los bancos le den al uso de los datos como factor diferencial del cambio. Este nuevo paradigma de tomar decisiones con información seguramente les permitirá a los bancos habilitar ventajas competitivas y reformular la oferta de valor a los clientes, combinando la rentabilidad con el impacto positivo sobre las comunidades.

Por esa razón, es de suma importancia que desde la banca se haga el cambio de visión, con el propósito de acelerar la difusión de las metas en términos de sostenibilidad a más sectores y estar cada vez más cerca de las metas propuestas tras el Acuerdo de París.

REFERENCIAS

- APQC (2020). *Banking process classification framework v7.2.1*. Houston: APQC and IBM. <https://www.apqc.org/process-frameworks>
- Ballesteros, C., Díaz-Noriega, S., Elola, J. M., y Ramos, D. (2021). *Principios ESG y cadena de valor: del reporting al impacto social*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/55617>
- Banco AV Villas (2024, 23 de febrero). *Acerca de AV Villas*. <https://www.avvillas.com.co/productos-en-oficina/acerca-de-avvillas/#mision-vision>
- Banco Caja Social (2024). *Informe de impacto social 2023*. Bogotá, D.C. https://bancocajasocial.com/portalservidor/content/atom/ed3567c4-64a3-462a-93a4-7c6466ef50e8/content/07-FOOTER/1-Informacion-Corporativa/1-Acerca-de-Nosotros/2-Gestion/2-Informe-de-Gestion/Informes-de-Gestion-PDF/Informe_de_Gestion_2023.pdf?id=123360af-2b5b
- Banco de Bogotá (2024). *Informe de gestión y sostenibilidad 2023*. Bogotá, D.C. <https://www.bancodebogota.com/wps/themes/html/banco-de-bogota/pdf/relacion-con-el-inversionista/agenda-y-comunicados/asamblea-de-accionistas/2024/informe-de-gestion-y-sostenibilidad-2023-jd-21-febrero-2024-vf-v2.pdf>
- Banco Itaú Colombia (2024). *Informe de gestión y sostenibilidad 2023*. Bogotá, D.C. <https://banco.itau.co/web/personas/sostenibilidad/home>
- Banco Pichincha Colombia (2023). *Informe de gestión del presidente y de la junta directiva 2022*. Bogotá, D.C. <https://www.bancopichincha.com.co/web/corporativo/sostenibilidad>

- Cartillier-Braly, I., Muñoz Gavilanez, J., Calvo, R., y Cottle, V. (2021). *Guía para el diseño de un Sistema de Administración de Riesgos Ambientales y Sociales (Saras) para instituciones financieras en América Latina y el Caribe*. Washington, D.C: Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/es/guia-para-el-diseno-de-un-sistema-de-administracion-de-riesgos-ambientales-y-sociales-saras-para>
- DAMA International (2017). *Data Management Body of Knowledge* (2.ª ed.). Nueva Jersey: Technics Publications.
- De Vivero de Porras, C. (2022). Gobernanza y sostenibilidad en las finanzas. *eXtoikos*, 25, 1-29. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8941791>
- Ealde (2020, 13 de abril). *Qué es un modelo de madurez en la gestión de riesgos*. <https://www.ealde.es/modelo-madurez-gestion-riesgos/>
- Gimeno, R., y Sols, F. (2020). La incorporación de factores de sostenibilidad en la gestión de carteras. *Revista de Estabilidad Financiera*, 39, 181-203. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7889759>
- González, C., y Núñez, S. (2019). *Mercados, entidades financieras y bancos centrales ante el cambio climático: retos y oportunidades*. Madrid: Banco de España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7038510>
- Grupo Bancolombia (2024). *Informe de gestión 2023*. Medellín. <https://www.grupobancolombia.com/corporativo/informe-gestion>
- Grupo Davivienda (2022). *Informe de sostenibilidad 2022*. https://s3.amazonaws.com/lacabinadavivienda.com/projects/informe-anual-davivienda-2022/pdf/Informe_Anuar_Davivienda_2022.pdf
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (2023). *Diseño conceptual del modelo para la gestión de datos maestros en Colombia (versión 4)*. Bogotá, D.C.: Departamento Nacional de Planeación. <https://infraestructuradatos.gov.co/798/w3-propertyvalue-573407.html>
- Osorio del Toro, F., Ospina Becerra, V. E., y Estévez, E. (s.f.). *Designing a data strategy for organizations and its adaptation to smart cities*. Argentina: Universidad Nacional del Sur. https://doi.org/10.1007/978-3-031-40942-4_11
- Rossi, C., Byrne, J., y Christiaen, C. (2024). Breaking the ESG rating divergence: an open geospatial framework for environmental scores. *Journal of Environmental Management*, 349. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119477>
- Scotiabank Colpatria (2024). *Informe de gestión 2023*. Bogotá, D.C. <https://www.scotiabankcolpatria.com/acerca-de/inversionistas/gobierno/informe-sostenibilidad>
- Sinergia e Inteligencia de Negocios S.L. (2024, 24 de noviembre). *Arquitectura de una solución de inteligencia de negocios*. https://www.sinnexus.com/business_intelligence/arquitectura.aspx
- Superintendencia Financiera de Colombia (2021). *Divulgación de información de sostenibilidad o ESG en Colombia*. Bogotá, D.C. <https://www.superfinanciera.gov.co/publicaciones/10106782/industrias-supervisadasfinanzas-sostenibles-documentos-tecnicos-guias-y-normativadivulgacion-de-informacion-de-sostenibilidad-o-esg-en-colombia-10106782/>
- Sustainability Accounting Standards Board (2018, octubre). *Materiality finder: bancos comerciales*. https://d3flraxduht3gu.cloudfront.net/latest_standards/commercial-banks-standard_es-es.pdf
- Sustainability Accounting Standards Board (2018, octubre). *Materiality finder: financiación al consumo*. https://d3flraxduht3gu.cloudfront.net/latest_standards/consumer-finance-standard_es-es.pdf
- TCFD (2021). *Metrics and target: implementing guidance*. <https://www.tcfhub.org/wp-content/uploads/2022/04/Table-A2.1.pdf>
- Visalli, F., Patrizio, A., Lanza, A., Papaleo, P., Nautiyal, A., Pupo, M., et al. (2023). ESG data collection with adaptive AI. *25th International Conference on Enterprise Information Systems*, 1, 468-475. <https://doi.org/10.5220/0011844500003467>

Funes The Memorious, Aura and House Taken Over- a critical glimpse into our technologically oriented present through the lenses of Latin American literature

JOSÉ CAMILO VÁSQUEZ CARO

Magister en Estudios Culturales y en Historia. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6383-0062>

jose.vasquez@escuelaing.edu.co

Recibido: 31/01/2025 Aceptado: 22/02/2025

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

INTRODUCTION

In this brief text I will explore and connect three elements that seem to have no relation with the dynamic and information technologically oriented world we live in today. I believe that these apparent irrelevant and disengaged elements are essential in the formation and education of present-day digital humans and learners. There is no real age limit to how these elements contribute to the formation of these individuals but my reading will focus mostly on higher level education students.

These elements contribute to the development of critical thinking skills, the establishment of basic relations with information and the construction of self-knowledge and relations to the world. They are connected to how we, as contemporary digital humans, have acted and have interacted and will continue doing so. They are essential to how we judge and understand what we believe is right and is wrong in given contexts and how we thus act.

I will be exploring three concepts memory, history and awareness of being. These concepts will be boarded and interpreted through a reading of Funes The Memorious by Jorge Luis Borges, Aura by Carlos Fuentes and House Taken Over by Julio Cortazar. I will also connect the concepts and the interpretations to how students today relate to, learn and process information. In a digital and overwhelming environment, students need certain tools and criteria to process and analyze what they absorb and what they are bombarded with. This is text is a call for us to pay attention to and to think these three elements critically in order to act in the present.

In this sense this paper has two different levels. On a first level it weaves together literature and reality, providing a connection and interpretation that is not necessarily obvious. My focus as a scholar here is to point out the relevance of these texts and invite readers to look at their present with the insights and perspectives provided by the texts. These texts from the 20th century not only echo in the 21st, they enrich our analysis of

our current context. On a second level is my personal stance. I write as a gesture of protest because I believe as a collective we have given into the dynamics of digital culture and the speeds of information technology. Metaphorically speaking in one hand, I am holding up a sign calling for us to look at ourselves critically and in the other I hold a mirror. In these three texts our characters will be drowned in data, devoured by time or become refugees due to unknown forces, and I cannot help but think of our contemporary world.

METHODOLOGY

It is important to point out how this text came together. The three texts mentioned above and selected are not random. I have worked them for over 15 years with different groups of undergraduate and graduate students at Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería. This is a reflective essay in the sense that I establish a dialogue with the texts I read but at the same time I do not limit myself to my own reading experience. My insights also come from how my students and I have reacted to the texts as we have read them collectively and the dialogues we have had in the classroom over the years. This text is not the result of a controlled experiment and it does not pretend to aim at having an objective reading of reality. What I bring forth here is my shared reading experience and how it has allowed me to question my place in higher education and society. In this sense the text itself reflects what it proposes readers do after reading this paper. It is an exercise from my standing point and experience that allows me to present a critical reading of my present. In a way it is also a rebellious stance towards objectivity and universality. This reflective practice is also a call to question what is around us, our world, and what we believe is and is not. For this reason, it is key that I present myself as a part of the

process, a subject that shares with readers in hopes of raising more questions than answers.

I was born at the end of the 20th century and so I grew up in real time with evolving information technology. I am perhaps an early or incipient digital native. My first personal computer was put together in my house in 1986 by an engineer, a serious man who smoked as he worked and who came over for about a week and would click away on the keyboard, there was no mouse for that pc back then. As a five year-old I was marveled by the work, the precision of the commands through text and of course by my first video game which the engineer showed me how to play.

From then on information technology has been a part of my life, in spite of my resistance to let it invade all of my spaces. Nearly 40 years later, as an educator, I have been dazzled and overwhelmed with the information and resources my students- and perhaps all of us- have at hand instantly. Each semester there is something new and a new dynamic in the access and relationship with information. The constant novelty also worries me profoundly. Each change is a change in how my students and in general people interact and use said resources.

I write here today from my place and role, as a professor in his midlife stage, reflecting on and exploring how our relationship with information and our grasp of knowledge have changed in the past few years. It is essential that the reader grasps and understands where I am coming from. My reading of the current situation does not pretend to be universal, it is more an invitation to look at what we are living with critical eyes. There is no intention here to point out universals or perhaps even answers. Nonetheless, the reader can deduce that perhaps the first connection this text has with our digital and highly technological world is the subject writing, mine is a tale of resistance to and marvel with technology at the same time.

Memory: how too much information can overwhelm and paralyze our thought process and our capacity to act

Irineo Funes is a fictional character, created by the Argentine writer Jorge Luis Borges. After a riding accident Funes is left bedridden and with an exceptional memory. Although he has lost his physical ability to move Funes is not heart broken or sad. On the contrary, Funes explains to the narrator- who calls himself Borges- that he has never felt so free or capable of seeing the world fully. Funes acquired the ability to see the past and everything that has occurred in each object he sees or interacts with. His sight goes beyond his capacity to imagine or think, he vividly experiences memory. Like in the *Aleph*, another short story by Borges, everything coincides in one place and one moment, the instant is the totality. In our context, we launch a question or a prompt and receive information instantly. Our electronic devices and the information technology highway have given us powers comparable to those of Funes and his memory.

For Funes his exceptional perception allows him to see the all of something, a totality of a unit, but not to act beyond his sight and narration. All he can do is narrate what he witnesses to himself or to those he speaks to. His mind becomes an enormous hard drive with memory and space beyond our grasp. Our condition of digital suffers in the digital world turns us all into potential Funes like characters, overwhelmed with information and stories but also stuck behind the screen of a digital device. Perhaps one of greatest actions now is resending or sharing information with someone via the electronic device. The irony of Funes' existence and ours is there. We can see but perhaps not act upon.

Our memory is no longer exclusively in our brain but in the technological extension of the devices which allow to click away and save in a cloud what we believe to be memorable. The paradox is we are not creating with our own memories from experience but instead we are creating a memory with what we consume. Like Funes our action parts with what we see through the device, our magical mirror into the world. Where is our power to act on this plain when our world has become an interaction and an amazement with the digitally created? I will not even venture on the question of what is true or false, real or fake, in our context.

If I were to have the unique and exceptional ability to see memory and past, as Funes did, as I sit here writing on my laptop, with a cup of coffee on my right, I would be able to see in the coffee the story of each particular bean that grew under rain and sun and then was dried and grounded up and brought together with others to blend in with the hot water to become my black coffee. I could see where the water flowed from and how it had formed over and over again in clouds and springs. I should also see the earth and mud that came together to make my mug and so on. But I can't, I see the black beverage in the mug and I can only imagine the process that it required to get here.



What I have just described is a conscious effort from my behalf to think about and to imagine the historical process of any item. It is not automatically fed to me and so I don't see the "code" behind the object in front of me. My thought process is the "code" which I create and use in what I described above. Each particular situation of my coffee in the mug does not exist in my memory nor can I see it in a flash like Funes. In my particular case, memory is the result of a conscient and even distorted action, that of recalling and remembering different elements of information recollect before hand. My memory is thus a thinking and selective process of what is stored. Digital memory perhaps is a little less creative not making the jumps of our imagination and creation; for now. Perhaps our current digital learners need to become more aware that memory is a selective thought process.

Funes on the other hand is swamped with stories and multiple pasts that coincide in one specific moment, the moment when he lays his sight on something and it sinks into his brain, his material memory. Such is the bombardment of information that he is unable to decipher it all and let alone make abstract generalizations. For Funes each memory opens a unit, a specific moment which I like to think as an atom, a unit in itself which conducts to another unit and so forth eternally. He can see the basic building blocks that are contained in the space of memory and time and at the same time he is launched into an endless loop. He sees the basic universal blocks but can't act upon them. This is where I see our current world reflected in this story. We too are bombarded and become passive recipients for stories and memories —fictional or not— that overwhelm us.

Since he is overwhelmed, he cannot generalize or make concepts. He can tell what he sees and he can describe it, but everything is unique in his mind and cannot be connected abstractly to something more general. For that reason, the basic platonic concept of dog cannot exist in his mind for, as Borges beautifully puts it, the dog seen from side at 3:14 is not the same as the dog seen from the front at 3:15. Each dog in each moment is a different dog, each dog is unique always. There is no concept or thought process in Funes' visualization of universal memory.

Martin Heidegger mentions in his letter on humanism that language is the house of our being and that our greatest action possible is thought. In a philosophical triad Heidegger brings together memory, language and thought under one roof in this poetic house. For us to have thought we must have language and memory. Without language we cannot build concepts for we cannot express them to ourselves or others. The concept constructed is the materialization of our thought process. Memory is the cornerstone that allows us to poses a language system that brings together symbols and ideas. Hence with no recollection from memory the system cannot be. But memory is not passive in this interpretation by Heidegger, it is intertwined with the thought process and requires generalizations.

Funes has an exceptional memory and has a language system that allows him to express what he sees to himself or to others. However, he doesn't have the possibility to generalize from those specifics to concepts, in other words he cannot reach abstract reason because he is submerged in the atoms of the past that are perhaps never ending. Irineo Funes cannot think and let alone be critical of a situation or a context because he is unable to build a general concept of any kind. Under this logic he is unable to act doubly because he is unable to think and is also bedridden. Like Funes we too are trapped behind our devices when we are in consumer mode.

This brings me to my first concern and the first connection to my world as an educator. I stand here being a 44 year old university professor who tries to understand how and for what reason students are trying to learn something. Perhaps as a collective global society our relationship with information technology has given us the opportunity to see many things, just as Funes did, perhaps too many things. Our students are bombarded with an excess of information, be it real, genuine, fictional or even fake. They catch bites and pieces and build upon it as if using LEGOS. However, the question is can they question, reason and have critical thinking or are they contributing to the bulk of noise our systems have created. In this sense the excess of information is perhaps more overwhelming than it is potentially constructive.

My point with Funes is that in spite of having bushels of information at our grasp, information is useless and dangerous if we cannot reason, think or be critical. I will always recommend learning certain things with memory because facts and data are our building blocks that we select and organize to build with our language system thought. We can't depend exclusively on what's online to feed our structures. I for one consider that our structures as individuals and collectives are built upon the architecture of thought and reason. I think it essential to be aware of the triad of memory, language and thought. Without memory, inner memory in our minds and collective memory as a society, we are vulnerable. Information will be manipulated and played with and we will have no frame work to hold onto and decide what is and what is not.

History: a balance between what was and what is, a coexistence of times and processes in our own time

Now I would like to present a cultural cliché and in doing so open the door to the relationship we have with the past beyond the act of remembering or establishing memory about something. We have often heard that those who do not know the past are condemned to repeat it. If too much memory can clutter our thought process, not having enough historical consciousness can make us fragile and the feed for manipulation. History could be seen as everything that has happened but as humans we can't board it all. History in this context is our awareness, reading and threading of the past, through memory and fact to construct a narrative. I don't believe we all need to be historians and to center our present around the past, although I personally find the past fascinating and love to connect dots of then with the present we all live. What is the amount of historical awareness we need to operate in our present without being highly manipulated by the mass cultural media and collective narratives? Undoubtedly to engage with history we need memory of some data and the capacity to think.

In his short novel *Aura*, the Mexican writer, Carlos Fuentes narrates the story of a young historian who is asked by an old widow to sort out and complete the memoirs of her late husband, General Llorente. The young historian is Mexican, he works as a teacher in a local school, and despite his studies in France, has not found a job that would let him focus on the historical topics that fascinate him. Unlike Funes, this story is not about memory but about history and digging up the past to give some meaning

to a present. For the Llorente widow, finishing and organizing her husband's memoirs and giving him a voice in the narrative of history, is extremely significant.

In this case the past gives the present sense. The notion of future is also present in the present and is part of the motivation of what is done thinking of what will come. The present is thus a convergent point of senses given by the past and the hopes of a possible future. Both the young historian and the widow look at the past in relation to their specific presents but both also strive for what they believe the exercise of the memoirs will bring in the future. For the young man he will be rewarded with a pay that will allow him to pursue his academic interest and the widow will have the peace of leaving the memoirs complete. What must be pointed out here is that past, present and the horizon of future come together in this novel and we can see that time and history are not necessarily lineal and excluding. The past has present in the present and actions in the present are shaped with the expectations of a future horizon.

The plot unravels in an old colonial palace in the historical center of Mexico City. The papers that Felipe Montero, the young historian, sorts through are from the XIX century, dating back decades because his present, the story takes place in the 1960s. The old house appears to have been frozen in time and also past upon by the dynamics of the growing and vivid city. Around the old building the city has incorporated houses and buildings into commercial activities or the older structures have been torn down to give way to newer, bigger and higher structures. The city is alive and the tension between old and new, use and disuse, and change and conservation is evident. In the Llorente household the furniture, the decoration and the inhabitants all seem to be from different times. Montero enters the house and notices the outside the world moves at a different speed, while this house has been left in darkness and dampness, making it moldy and musky. Symbolically the sun does not shine or reach the old colonial palace. But the place exists and coexists with the changing dynamics even if the city dwellers are not aware of existence or place in the present.

Unlike many, Felipe Montero is a connoisseur of the past and understands some of the codes and demands of the widow. The rest of the world has appeared to simply have ignored her presence in the world, she is insignificant in present and in the narrative of the past her story has not yet been heard. Like in our world, in Montero's world not many are aware that the past coexists with the present. Most just simply go about their business without realizing their fitting into a historical structure which is profoundly complex. In this sense, I identify with Montero as I observe people around me who are not concerned about things that have



occurred and somehow impact their present. The question of historical awareness is essential here, and for our present a minimum of historical literacy, a mix of facts and processes could be very useful for our society.

Historical literacy implies a construction based on memory and that memory has levels and conditions. Since we are not eternal and timeless beings, we exist in certain contexts and some of our notions of the past are built on the testimonies and memories consciously or unconsciously built by others. We rely on thought processes of others and thus must be critical and aware of the building blocks we are using to create our versions and narratives. In this sense, the historian has a significant role in the building of a collective memory and a narrative that gives sense, meaning and direction to the present. The widow Llorente was aware of this and thus searched for the young historian to finish the memoirs and in doing so she also opened the possibility of their times and stories coinciding. In this novel the levels of time and history come together in one single moment. It is necessary to bring up, Borges' Aleph one more time in this text because again we see how in one spot everything seems to coincide.

Being a little mystical, the story suggests that the past can haunt the present. Montero moves into the old palace; it was a condition given by the widow. As time goes by, he experiences different situations which lead him to question his grip on reality. Yet, the supernatural is part of the narrative and it is only when he becomes fully aware of the presence of the past in his present life that Montero can begin to understand his true role in the story. Our being aware or not of the presence of the past in our present brings forth consequence.

In the classroom we have often done an exercise with my students where we make our family tree. The students have to research and ask around so they can go back at least 4 or 5 generations. With this information they then select a relative from their family tree that has called their attention. The only condition is that the relative must have been born before 1950. Looking into the history of their family and the story of the selected gives the students the chance to reflect upon and think about their own connection to said person. When they look back they start to question how the past connects with their own personal story and present.

As mentioned above Aura has an interesting reading of the notion of time and its progress. While in our everyday life we tend to think that history progresses in a given direction, generally we think it goes forward, the story takes place on different plains. On a superficial level the story takes place in a dynamic and growing city full of inhabitants living their lives. On a deeper level the narrative suggests that elements from the present are tied to elements from the past and thus in specific places, contexts, conditions and moments the past can be repeated in the present. This phenomenon breaks with a linear reading of history and time and gives us as readers a much larger plain to work with. Time and history can have multiple plains and directions and in one said point diverse moments and stories can come together making multiple times coincide. Even if we were to limit ourselves to a linear notion of progress, in this narrative there can be parts of the past that can be part of the present; they are there simultaneously like are the existence of Aura and the Widow Llorente. There is a suggestion of a circular or spiral movement of history in Aura that coexists with the present of the narrative. At the same time the past can be thought

of as a changing force in the present, depending on how it is read and how it is interpreted and used. This brings me to my third and final topic, awareness of being because even if we have memory and history we must exist here and now.

Awareness of being: our present is a complex construction which we need to be aware of

In his short story “House Taken Over”, Argentine writer Julio Cortázar explores the story and the history of two siblings who are the last of an ending bloodline, residing in their families’ old colonial house in Buenos Aires. Like *Aura* this story is urban and is set amidst a changing city where the new and the old coexist and have tensions. I can’t help but think once again about the *Aleph* by Borges and how the changing city is part of a narrative of the everchanging present. So far I have focused on the need to think, have a language system, a structured notion of the past and its relationship to our present, and on our use memory critically. I don’t want the reader to think this text is an apology for the past but it does gravitate around our notions and uses of memory and history in the present. Thus in this final part of the essay I make an open call for critical thinking and analysis of the present. Awareness of being is essential for this purpose. I understand awareness of being as our consciousness of our presences in a present that in itself is also a historical construction based on our memory and language. What allows us to create concepts, judgments and act upon then inhabits that house pointed out by Heidegger where memory, language and thought come together. For this reason my final story gravitates around a house taken over and the metaphorical house given to us by Heidegger in his Letter on Humanism.

The siblings in *House Taken Over* live a very comfortable life. They are clearly wealthy and receive an income from the production of their rural properties. Their lives can appear a little empty and excessively rutinary. Their schedule resides around their meals and keeping the house tidy. They each have a hobby or a routine to fill their hours. She knits while he reads or looks at his stamp collection. Similar to the context of the household in *Aura* the siblings seem to live like aliens of their own time, the urban world outside of the house moves at different speeds. Although the brother goes out he finds very few things of interest. He buys yarn for Irene and wanders the bookshops but since the war has found nothing interesting.

Family and tradition uphold their household and reason for existing. Their history and collective memory are present in their present. The siblings are not atemporal beings that do not know their place in time. They know their



past and try to preserve what they can. Ironically, the brother is aware that any effort is futile for they are the end of the line, that when they pass distant cousins will come and knock down the house and give way to a modern building. Their branch of the family and the old house dies with them. Yet, they must exist and go about their lives. The paradox of being the last and yet being aware of the future and will come after the end is all too human. No matter how much we try to leave a mark after us time devours all.

Yet what is interesting in this story is the tension between present and future. The past resides in history and memory but the siblings are struggling with an undefinable force in the house that slowly starts taking over spaces. The dispute is twofold, one for the house and the other for survival. At first, they heard noises, ignored small changes, moved objects and missing things but as time passed the force became stronger and started taking entire rooms in the house. Their house is no longer just their house, but they don't leave it. The large wooden door protects them, a part of the house, perhaps the older part has been lost. We can think they have given up on owning their memory and history and so the siblings reduce their vital spaces and continue inhabiting what is left to them. One day or perhaps night the force surpasses the wooden door and in instinct they flee. Like refugees they are forced out of their home and are left on the street, leaving the house taken over locked up. Ignoring their awareness of being the siblings lose themselves and their identity for everything is left behind in the house that is no longer there's.

Many have associated this story with the political situation in Argentina during Cortazar's life. However, this interpretation is not the focus of this reading. What I see is a parallel with the overwhelming presence of information technology and how it has invaded our lives. Like the undefinable force in the story, information technology and social media have become silent yet absolutely visible force that have taken over our house and reduced all our spaces, and perhaps like in the story will one day own it all, including our being. We, like the siblings, ignore the little signs of the force that is coming and some of us have even closed the great big wooden door and left parts of our existence to the force. Our house is perhaps less tangible than the siblings' house but we all have one, our house is our time, where we spend our existence. Do we recognize and are aware of our being? Or have we let the artificial memory, the elaborated historical narrative that is not necessarily ours and silent force run our existence?

The call here is for us to be aware that we are and that we can exist at different rhythms and in different contexts to those dictated by the intangible but profound system that has spread over the globe like wild fire. Awareness of being is presence in the moment, but not just filtered through the lens of and interaction with technology. It is not mindfulness, it is a critical and analytical posture that deconstructs the present with us in it in order to make our own sense. The siblings decided to ignore what was there, the undefinable force that swooped them out. Perhaps our new relation with the excess of information is also swooping us out of our home, in brief our moment and mind in the present.

BRINGING IT HOME FOR NOW

The three texts play with time and space and our relationship to them. They also question our capacity to think and understand a context and a present in a given moment. Our take on the present is run through with our notions of memory, history and awareness of being. How deep or superficial these notions are set in us will undoubtedly change our experience in the present. We as a collective are living a unique moment in our relationships with ourselves and the world as it is mediated by an excess of information, speed and technology. There is more and more for us to grasp and at the same time our attention is each day growing shorter. I see it all around me, from brief moment to brief moment we are all victims of the haziness of endless scroll on the screen that becomes nothing at the end of the day. And in the morning, we are not sure what we remember, how to organize it to give meaning or how it shapes our present. Never before have I felt us so stranded and adrift as a collective. Like the spherical object, the aleph, under the stairs leading to the cellar in

the house in the already mention short story the Aleph by Borges, we find the universe at our finger tips and then it slips away.

This is a battle within ourselves for our metaphorical house and our poetic existence as human beings. Memory, historical literacy, awareness of being, complex language and our own thoughts are needed to resist the overwhelming force of the intangible and fascinating world of information technology that we as a collective have produced and now inhabit. Be aware of where you stand in relation to your own present and your own existence.

BIBLIOGRAPHY

- Borges, J. (2005). El Aleph in *Narraciones*. Cátedra.
 Borges, J. (2009). Funes el Memorioso in *Ficciones* (2009). Alianza Editorial.
 Cortázar, J. (2009). Casa tomada in *Casa tomada y otros cuentos*. Bogotá: Alfaguara.
 Fuentes, C. (2019). *Aura*. Norma.
 Heidegger, M. (2006). *Carta sobre el humanismo*. Alianza Editorial.

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Alcance y política

La *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* tiene como propósito principal ser un canal de divulgación del conocimiento técnico y científico que contribuya al desarrollo del país. Buscamos publicar trabajos de alta calidad editorial y rigor académico, que aporten a la discusión y avance de todas las áreas de la ingeniería, con un enfoque crítico, propositivo e interdisciplinario.

En nuestra publicación se priorizan tres tipos de contribuciones que fortalecen su visibilidad y proyección en comunidades científicas nacionales e internacionales:

- **Artículo de investigación científica y tecnológica.** En esta clase de manuscritos se presentan, en forma detallada, resultados originales, derivados de proyectos de investigación. Se estructura habitualmente en cuatro secciones: introducción, metodología, resultados y conclusiones. En la introducción se plantea el problema, se contextualiza su importancia, se formulan los objetivos y se incluye una revisión del estado del arte. En la metodología se exponen el diseño del estudio, las técnicas empleadas y los criterios de validez. Los resultados muestran los hallazgos de manera clara, apoyados con frecuencia en tablas o figuras. Finalmente, en las conclusiones se interpretan los datos obtenidos y se discute su impacto, además de que se pueden incluir recomendaciones para futuras investigaciones. El contenido de estos artículos debe fundamentarse en información verificable, respetar principios éticos y estar correctamente referenciado. Su extensión aproximada va de 5.000 a 8.000 palabras.
- **Artículo de reflexión.** Es un documento que surge de un proceso investigativo o académico, en el cual el autor desarrolla un análisis crítico, interpretativo o propositivo sobre un tema en particular. Por medio de una postura argumentada, sustentada en fuentes teóricas y experiencias, se construye una visión personal pero rigurosa sobre el objeto de estudio. La estructura del artículo incluye una introducción clara, un desarrollo temático con enfoque reflexivo y una conclusión que sintetiza los aportes, reafirma la posición del autor y plantea posibles líneas de indagación. Su extensión sugerida está entre 3.000 y 6.000 palabras.
- **Artículo de revisión.** En este tipo de artículos se analizan sistemáticamente los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, con el propósito de identificar avances, debates, tendencias y vacíos en un campo particular de la ciencia o la tecnología. No se trata de una simple recopilación de fuentes, sino de una integración crítica que permita proponer nuevas perspectivas o rutas investigativas. Su estructura incluye introducción, criterios y métodos de búsqueda, análisis temático, discusión y conclusiones. Se exige una revisión bibliográfica exhaustiva y bien documentada, con una extensión entre 6.000 y 10.000 palabras.

Además de estas tres tipologías principales, la revista contempla otras formas de contribución académica, tales como las siguientes:

- **Artículo corto.** Comunica resultados preliminares o parciales de investigaciones en curso que, por su relevancia o novedad, requieren una difusión temprana. Es un documento breve (entre 2.000 y 3.000 palabras), de redacción precisa y estructura básica: introducción, metodología resumida, resultados y conclusiones iniciales.

- **Reporte de caso.** Presenta el análisis detallado de una situación, experiencia técnica o intervención metodológica particular, con el fin de compartir lecciones aprendidas y reflexiones aplicables a contextos similares. Es común en áreas aplicadas, como la ingeniería, la salud, la educación o la gestión pública. Incluye descripción del caso, análisis crítico y discusión de sus implicaciones.
- **Revisión de tema.** A diferencia de un artículo de revisión sistemática, en esta clase de textos se ofrece una mirada crítica y estructurada sobre un tema específico, sin pretender abarcar toda la bibliografía disponible. Se busca ordenar el conocimiento existente, resaltar perspectivas relevantes, identificar puntos de controversia y señalar rutas posibles de desarrollo. Se recomienda una estructura que incluya introducción, desarrollo temático y conclusiones.

La revista enfoca su labor editorial en la publicación de artículos de investigación, reflexión y revisión, por considerarlos los más relevantes para fortalecer el conocimiento en el campo de la ingeniería. Es una publicación de acceso abierto, con periodicidad cuatrimestral, y solo recibe manuscritos originales e inéditos.

Todos los textos enviados pasan por una evaluación rigurosa, hecha por pares académicos y por el Comité Editorial, con el objetivo de garantizar su calidad, pertinencia y contribución al desarrollo científico y tecnológico. Los artículos se deben ajustar a las normas de citación y referencias del *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association (APA)* (7ª ed.).

En el marco de esta nueva etapa editorial, los artículos se deben enviar exclusivamente a través de la plataforma Open Journal Systems (OJS), a la cual se puede acceder desde el sitio web oficial de la revista:

<https://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Para completar el proceso de envío, el autor o autora debe:

- Registrarse como usuario en la plataforma OJS.
- Diligenciar la información completa del manuscrito y los autores.
- Adjuntar el archivo del artículo en formato editable, conforme a las normas de presentación de la revista.
- Aceptar la declaración de originalidad y cesión de derechos.
- Verificar que todas las secciones del envío estén completas antes de finalizar el proceso.

Así mismo, el manuscrito debe tener las siguientes normas de presentación:

- Un máximo de 20 páginas, en formato Word, escrito a una columna, interlineado de 1.5, con fuente Georgia de 11 puntos.
- Las citas y referencias deben seguir las normas y lineamientos que aparecen en el *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association (APA)* (7ª ed.).
- Las gráficas y tablas deben ser editables. Se recomienda anexar los archivos originales y nombrarlos de manera clara (por ejemplo: Figura_1.xlsx, Tabla_2.docx), indicando el número correspondiente en el texto.

Para más información o consultas editoriales, se puede comunicar al correo monica.suarez@escuelaing.edu.co.

Scope and Policies

The main goal of *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* is to be a means to divulge technical and scientific knowledge which contributes to the development of the country. We seek to publish high-quality rigorous works which help discuss and advance in different fields of engineering with a critical, proactive, and interdisciplinary approach.

Our journal prioritizes three types of contributions to strengthen its visibility and projection in national and international scientific communities:

- **Scientific and technological research article.** This type of paper shows, in detail, original results derived from research projects. It is usually structured in four sections: introduction, methodology, results, and conclusions. The introduction states the problem, justifies its importance, sets up the objectives, and includes a literature review. The methodology shows the study design, the tools and techniques used, and validity criteria. The results show their findings in a straightforward way, usually supported tables, charts, and figures. Finally, the conclusions interpret the data obtained, discuss their impact, and may include suggestions for future research. This type of article must be grounded on verifiable information, respect ethical principles, and be appropriately cited and quoted. Their length oscillates between 5,000 and 8,000 words.
- **Reflection article.** This is a document resulting from a research or academic process in which the author develops a critical, interpretive, or propositional analysis on a particular topic. Through an argued stance, supported by theoretical sources and experiences, the author constructs a personal yet rigorous perspective on the subject. The article's structure includes a clear introduction, a thematic development with a reflective approach, and a conclusion that synthesizes key contributions, reaffirms the author's position, and suggests potential lines of inquiry. The suggested length is between 3,000 and 6,000 words.
- **Review article.** This type systematically compiles and analyzes published or unpublished research findings to identify advances, debates, trends, and gaps in a specific field of science or technology. It is not merely a compilation of sources but a critical integration that proposes new perspectives or research directions. Its structure includes an introduction, search criteria and methods, thematic analysis, discussion, and conclusions. A thorough and well-documented literature review is required, with a length between 6,000 and 10,000 words.

In addition to these three main types, the journal considers other forms of academic contributions, such as:

- **Short article.** Presents preliminary or partial results from ongoing research that, due to their relevance or novelty, require early dissemination. It is a concise document (2,000–3,000 words) with

precise writing and a basic structure: introduction, summarized methodology, results, and initial conclusions.

- **Case report.** It provides a detailed analysis of a specific situation, technical experience, or methodological intervention to share lessons learned and reflections applicable to similar contexts. Common in applied fields such as engineering, health, education, or public management. It includes a case description, critical analysis, and discussion of implications.
- **Topic review.** Unlike a systematic review article, this type offers a critical and structured examination of a specific topic without attempting to cover all available literature. It aims to organize existing knowledge, highlight relevant perspectives, identify points of controversy, and suggest development paths. The recommended structure includes an introduction, thematic development, and conclusions.

The journal focuses its editorial efforts on publishing research, reflection, and review articles, as they are considered the most relevant for advancing knowledge in the field of engineering. It is an open-access publication with a quarterly frequency and only accepts original, unpublished manuscripts.

All submitted texts undergo a rigorous peer-review process by academic peers and the Editorial Committee to ensure quality, relevance, and contribution to scientific and technological development. All articles must adhere to the citation and reference guidelines of APA style (7th edition).

As part of this new editorial phase, article submissions must be made exclusively through the Open Journal Systems (OJS) platform, accessible via the journal's official website:

<https://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

To complete the submission process, authors must:

- Register as a user on the OJS platform.
- Complete all manuscript and author information.
- Attach the article file in an editable format, following the journal's submission guidelines.
- Accept the originality statement and copyright transfer.
- Verify that all submission sections are complete before finalizing the process.

Manuscript formatting guidelines:

- The document must not exceed 20 pages, in Word format, single-column, 1.5 line spacing, with 11-point Georgia font.
- Citations and references must follow APA style (7th edition).
- Graphs and tables must be editable. Original files should be attached and clearly labeled (e.g., Figure_1.xlsx, Table_2.docx), with corresponding numbering in the text.
- For further information or editorial inquiries, please contact: monica.suarez@escuelaing.edu.co