

GUARRACUCO



REVISTA CIENTÍFICA SOSTENIBLE

Vol. 2 Núm. 3 (2024)
VILLAVICENCIO, META
ISSN: 2981-3220 (En línea)



UNIMETA

• Fundada en 1985 •





Revista Guarracuco Sostenible

Vol. 2 Núm. 3 (2024)

Publicación de Investigaciones

Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA

Comité Editorial

Nancy Espinel Riveros
Presidenta Sala General

Leonor Mojica Sánchez
Rectora

Luz Elena Malagón Castro
Vicerrectora de Postgrados,
de Investigaciones y Proyección Social

Janeth del Pilar Vaca Devia
Vicerrectora Académica,
de Investigaciones y Proyección Social

Camilo Lesmes Fabian
Director de Investigaciones

Leonor Mojica Sánchez
Sergio Andrés Alfaro Marengo
Editores

Sergio Andrés Alfaro Marengo
Corrección de estilo

Proceditor-proceditor@yahoo.es
Corrección de estilo, diseño gráfico
Editorial y armada electrónica

Comité Científico

Linda Carolina Henao Rodríguez
Fundación Universitaria Konrad Lorenz

Luz Elena Malagón Castro
Corporación Universitaria del Meta

Doris Aguilera Hernández
Ejército Nacional

Jenny Katherine Cubillos Díaz
Corporación Universitaria del Meta

Evaluadores

Miguel Antonio Rosario Cohen, Ana Francisca González Pedraza, Juan Carlos Escalante, Gustavo Adolfo Rodríguez Izquierdo, Oriana Palma Calabokis, Yamid Enrique Núñez De La Rosa, Jesús Alejandro González Rojas, Mitchel Richard Ningo Tiempos, José Luis Farelo Guerra, Jairo Alberto Merlo Pinzón, Hebandreyna González García, Jorge Sánchez Maldonado.

Editorial

Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA
Carrera 32 N.º 34B-26, Campus San Fernando
Villavicencio, Meta (Colombia)
Teléfono: +57 (608) 662 1825 Ext. 130
Fax: 662 1827

Santiago Zuleta Arango
Fotografía de la portada

www.unimeta.edu.co

Copyright©, 2025

Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA

ISSN: 2981-3220 (en línea)

Enero de 2025

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en un sistema recuperable o transmitida en ninguna forma por medios electrónicos, mecánicos, fotocopias, grabaciones u otros, así como su utilización para el entrenamiento o desarrollo de sistemas de inteligencia artificial, sin la previa autorización por escrito de la Editorial Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA y de los autores. Los conceptos expresados en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente corresponden con los de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA, que da cumplimiento al Depósito Legal según lo establecido en la Ley 44 de 1993; los decretos 460 de 1995, el 2150 de 1995, y el 358 de 2000, y la Ley 1379 de 2010.

REVISIÓN

Editorial

El presente número de la Revista Guarracuco Sostenible, Vol. 2, Núm. 3, reúne nueve artículos firmados por veintiocho autores. Los autores están vinculados a la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA, la Universidad Privada Antenor Orrego (Perú), la Universidad del Atlántico y la Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina). La entrega se compone de cuatro artículos de investigación, tres de revisión y dos de carácter divulgativo. Seis de los nueve trabajos cuentan con estudiantes entre sus autores, proporción que confirma el lugar que ocupa la investigación formativa en la vida académica de la institución y en la agenda editorial de la revista. El conjunto aborda la sostenibilidad como un problema que atraviesa el territorio, la infraestructura, la cultura y las instituciones.

La dimensión territorial y ambiental ocupa un lugar central. Díaz-Álvarez, Romero Sanjuán, Sanabria y Zulaica examinan diez capitales departamentales y encuentran que el Índice de Pobreza Multidimensional oscila entre el 8,9 % de Bogotá y el 69,84 % de San José del Guaviare. Las Necesidades Básicas Insatisfechas alcanzan el 73,72 % en Quibdó. Estas cifras evidencian que la concentración de la riqueza urbana convive con la reproducción de la pobreza y con una creciente vulnerabilidad ante el riesgo. Salinas Gamboa y sus coautores analizan cinco casos ocurridos en Perú y Colombia entre 2019 y 2024. Su estudio muestra que la suspensión de obras por afectaciones ambientales refleja una exigencia cada vez mayor de licenciamiento y control. Documenta también alternativas de mitigación viables, como el concreto reciclado o el uso de melaza para el control de polvo, que redujo hasta en un 90 % el consumo de agua en el caso de la Quebrada El León. En la misma línea, Di Filippo Herrera revisa los efectos de los insumos químicos sobre el suelo, el agua y la salud humana. Su trabajo presenta los fertilizantes orgánicos y los bioestimulantes como alternativas para una agricultura orientada a la seguridad alimentaria.

Un segundo grupo de trabajos procede del programa de Ingeniería y se ocupa de la energía y la infraestructura. Aranda, Ladino y Forero caracterizan el prototipo de biodigestor de membrana del Parque Metropolitano María Lucía y proponen un cronograma para su rehabilitación progresiva. Matiz, Silva y Forero formulan el diseño conceptual de un sistema de detección de fallas en el alumbrado público del barrio Villa Bolívar de Villavicencio, concebido para complementar el modelo reactivo de reporte ciudadano. Guzmán Masso, Gutiérrez Rodríguez, Ramírez Ortiz y Forero presentan una plataforma tridimensional para la enseñanza de redes eléctricas de distribución. Los tres artículos declaran con precisión el alcance de sus resultados y dejan planteadas las fases de validación experimental y educativa. Esa transparencia metodológica merece destacarse como un criterio de rigor en la producción académica de estudiantes.

La tercera dimensión del número corresponde a la cultura, la comunicación y la gestión institucional. Coral Rozo y sus coautores aplicaron una encuesta a 87 estudiantes de la Escuela de Ciencias Administrativas sobre el consumo de cine colombiano. Solo el 9,2 % de los encuestados lo ve con mucha frecuencia, y el 72,4 % considera insuficiente el apoyo institucional al sector. Romero Vargas y sus coautores revisan la función del color como lenguaje emocional en las redes sociales y su incidencia en la decisión de compra. Forero Muñoz, por su parte, sistematiza el estado de la internacionalización en la Escuela de Ciencias Administrativas. Su análisis registra siete convenios vigentes, cinco convenios inactivos con universidades españolas y la creación de la Coordinación de Internacionalización en junio de 2023.

Desde la perspectiva del Centro de Investigaciones Socio-jurídicas «Jorge Eliécer Gaitán», estos hallazgos convergen en una cuestión de orden institucional y normativo. Varios de los trabajos reunidos remiten de manera expresa a marcos regulatorios como el licenciamiento ambiental, el RETIE, el RETILAP, la Ley 814 de 2003 y la Ley 1454 de 2011. Esa recurrencia indica que la sostenibilidad depende, en buena medida, de la capacidad del Estado y de las instituciones para aplicar con eficacia las normas que ya existen. El diálogo entre la ingeniería, las ciencias administrativas, la arquitectura y las ciencias sociales que propone este número ofrece insumos valiosos para esa tarea. Ofrece también una invitación a que la investigación socio-jurídica acompañe con mayor cercanía los problemas del territorio.

Agradecemos a los autores por la confianza depositada en la revista y a quienes acompañaron los procesos de evaluación y edición. Expresamos igualmente nuestro reconocimiento al equipo de la Editorial UNIMETA por su labor en la preparación de este número. Invitamos a la comunidad académica regional, nacional e internacional a continuar enriqueciendo, con sus contribuciones, la discusión sobre los caminos hacia un desarrollo sostenible.

Jairo Alberto Merlo Pinzón
 Jefe del Centro de Investigaciones
 Socio-jurídicas «Jorge Eliécer Gaitán»

REVISIÓN

Contenido

2 Editorial

5 **La cara oculta de la construcción: el impacto ambiental que causa la industria constructora peruana y colombiana**

José Germán Salinas Gamboa, Sandra Rocío Forero Muñoz, Ángela Gamboa Mejía, Mauricio Fabricio Negrón, Juan Saldarriaga Yovera, Gabriela Vásquez Hurtado.

- 6 I. Introducción
- 6 II. Metodología
- 6 III. Casos analizados
- 6 IV. Marco teórico
- 6 V. Recomendaciones por caso
- 7 VI. Conclusiones
- 7 Referencias

8 **Cine colombiano: una industria olvidada por su propio público**

Karen Dayanna Coral Roza, Alejandra García Martínez, Karen Julieth Piñeros Orjuela, Angelo Felipe Mora Páez, Aníbal Ángel Soto Bracho.

- 9 I. Introducción
- 9 II. Metodología
- 9 III. El crecimiento del cine colombiano
- 9 IV. Preferencia del público por el cine extranjero
- 9 V. Desconocimiento y falta de promoción
- 9 VI. El círculo vicioso: sin apoyo, no hay crecimiento
- 10 VII. El cine en la región del meta
- 10 VIII. Resultados de la encuesta
- 10 IX. Conclusiones
- 11 Referencias

12 **El poder emocional del color en redes sociales: marketing y psicología del color en la decisión de compra**

Leidy Yurany Romero Vargas, Fran Santiago Matiz Daza, Nazly Dianey Martínez Roza, Karen Vaneza Acosta Trujillo, Dannys Paola Jiménez Perdomo, Aníbal Ángel Soto Bracho.

- 13 I. Introducción
- 13 II. Metodología
- 13 III. Emociones del color en redes sociales
- 13 IV. Conclusiones
- 13 Referencias

14 **Una agricultura sostenible para la alimentación**

Dra. Dania Andrea Di Filippo Herrera

- 15 I. Introducción
- 15 II. Metodología

15	III. Productos agrícolas de nutrición vegetal
16	IV. Sostenibilidad de la agricultura para la alimentación
16	V. Efectos adversos de los insumos químicos
16	VI. Alternativas orgánicas para una agricultura sostenible
17	VII. Conclusión
18	Referencias

19 Ampliando horizontes: desafíos y estrategias en la internacionalización para la Escuela de Negocios de UNIMETA

Sandra Rocío Forero Muñoz

20	I. Introducción
20	II. Desafíos de la internacionalización en américa latina
21	III. Ejes estratégicos de la internacionalización
22	IV. Caso unimeta: diagnóstico y estrategias
22	V. Conclusiones
23	Referencias

24 Estrategias para la Rehabilitación y Optimización del Biodigestor en el Parque Metropolitano María Lucía

David Fernando Aranda, Erlin Eduardo Ladino, Sandra Rocío Forero

25	I. Introducción
26	II. Antecedentes y contexto
27	III. Metodología
28	IV. Resultados
30	V. Conclusión
31	Referencias

32 Diagnóstico de fallas eléctricas en alumbrado público

Andrés Matiz, Daniel Silva y Sandra Rocío Forero

33	I. Introducción
33	II. Marco de referencia
34	III. Metodología
34	IV. Análisis y resultados
35	V. Conclusiones
35	Referencias

36 Desarrollo de una plataforma interactiva para simular y analizar redes eléctricas de distribución

Juan Diego Guzmán Masso, Ronny Steven Gutiérrez Rodríguez, Michael Smith Ramírez Ortiz, Sandra Rocío Forero

37	I. Introducción
37	II. Metodología
37	III. Fundamentación del desarrollo
38	IV. Resultados
39	V. Conclusiones
40	Referencias

41 Realidad crematística de la ciudad colombiana y riesgos de colapso

Cristian-Julián Díaz-Álvarez, Lis Paola Romero Sanjuán, Maribel Sanabri, Laura Zulaica.

42	I. En el filo de la oportunidad y el espejismo del crecimiento
42	II. Las ciudades estudio de caso
43	III. La realidad crematística de las ciudades colombianas
45	IV. Densidad poblacional urbana
47	V. Señales de insostenibilidad urbana
48	VI. Conclusiones
48	Referencias

REVISIÓN

La cara oculta de la construcción: el impacto ambiental que causa la industria constructora peruana y colombiana

José Germán Salinas Gamboa^a, Sandra Rocío Forero Muñoz^b, Ángela Gamboa Mejía^c, Mauricio
Fabricio Negrón^c, Juan Saldarriaga Yovera^c, Gabriela Vásquez Hurtado^c.

^a Docente, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

^b Docente, Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA, Villavicencio, Meta, Colombia.

^c Estudiantes de Ingeniería Civil, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

RESUMEN

La industria de la construcción genera un impacto ambiental considerable a lo largo de todo su ciclo, desde la extracción de materias primas hasta la generación de residuos. El objetivo de este artículo es analizar, mediante el estudio de casos peruanos y colombianos, la relación entre la actividad constructora y el deterioro ambiental, e identificar soluciones innovadoras documentadas. Se realizó una revisión documental de casos ocurridos entre 2019 y 2024 en Perú y Colombia, seleccionados por su relevancia ambiental y su cobertura en fuentes públicas. El análisis muestra que la suspensión de obras por afectaciones ambientales —como el Aeropuerto del Café en Caldas o la Defensa Ribereña en Morales— revela la creciente exigencia de licenciamiento y control, y que existen alternativas de mitigación viables, como el concreto reciclado y el uso de melaza para el control de polvo. Se concluye que la sostenibilidad en la construcción exige la articulación entre el marco normativo, la innovación tecnológica y la vigilancia de las autoridades ambientales de cada territorio.

Palabras clave: impacto ambiental; construcción; estudio de casos; ingeniería civil; sostenibilidad.

The Hidden Side of Construction: The Environmental Impact Caused by the Peruvian and Colombian Construction Industry

ABSTRACT

The construction industry generates considerable environmental impact throughout its entire cycle, from the extraction of raw materials to waste generation. The aim of this article is to analyse, through Peruvian and Colombian case studies, the relationship between construction activity and environmental deterioration, and to identify documented innovative solutions. A documentary review was conducted of cases occurring between 2019 and 2024 in Peru and Colombia, selected for their environmental relevance and their coverage in public sources. The analysis shows that the suspension of works due to environmental impacts —such as the Coffee Airport in Caldas or the Riverbank Defence in Morales— reveals the growing demand for licensing and control, and that viable mitigation alternatives exist, such as recycled concrete and the use of molasses for dust control. It is concluded that sustainability in construction requires the articulation of the regulatory framework, technological innovation and the oversight of each territory's environmental authorities.

Keywords: environmental impact; construction; case study; civil engineering; sustainability.

* Autor de correspondencia.
Correo electrónico:
redgedi2021@gmail.com

I. Introducción

En la industria de la ingeniería civil, numerosos factores ponen en riesgo el entorno ambiental a través de la contaminación. La expansión demográfica sostenida impulsa la ocupación de nuevos territorios y el desmonte de coberturas vegetales para dar paso a futuras ciudades, lo que convierte al sector de la construcción en un motor económico que, al mismo tiempo, ejerce una presión creciente sobre los ecosistemas (Pacheco Bustos *et al.*, 2017). Este artículo analiza esa tensión a partir de casos concretos de Perú y Colombia.

II. Metodología

Este trabajo corresponde a una revisión documental con enfoque de estudio de casos múltiples. Se seleccionaron cinco casos de Perú y Colombia, ocurridos entre 2019 y 2024, a partir de fuentes públicas (notas de prensa, comunicados de autoridades ambientales e informes técnicos) que documentaran la relación entre proyectos de construcción y afectaciones ambientales, o bien soluciones innovadoras de mitigación. Los casos se analizaron en torno a tres dimensiones: el impacto ambiental identificado, la respuesta institucional y las medidas de mitigación propuestas.

III. Casos analizados

A. Perú — Defensa Ribereña en Morales

El proyecto de la Defensa Ribereña quedó al 48 % de su construcción en el distrito de Morales cuando el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) no otorgó el permiso ambiental para la extracción de especies forestales. La comunidad ribereña del puente Cumbaza presentó una acusación por la tala prevista de árboles de renaco y eucalipto de más de sesenta años, con afectación significativa del ecosistema.

B. Colombia — Aeropuerto del Café, Palestina (Caldas)

La construcción del Aeropuerto del Café, en Palestina (Caldas), fue suspendida temporalmente en 2022 por su afectación a los ecosistemas locales y a la geografía de la zona. Se pusieron en riesgo la biodiversidad por erosión del suelo y el daño a la vegetación nativa, y se advirtió riesgo geológico por antecedentes de deslizamientos. La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) supervisó las medidas de mitigación —reforestación y estudios de estabilidad del terreno— y la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS) intervino para proteger los recursos naturales y las cuencas hídricas.

C. Perú — Megapuerto de Chancay

El megapuerto de Chancay, principal motor económico de la zona, conlleva un impacto ambiental sobre las tres categorías fundamentales —agua, aire y suelo— y compromete la conservación del Humedal Santa Rosa. Según el biólogo marino Antony Apeño (ONG CooperAcción), el

dragado necesario para la operación del puerto afecta la flora y la fauna marina, y las playas se han convertido en receptoras de residuos que reducen el aporte de agua al humedal.

D. Perú — Concreto reciclado (Universidad Nacional de Trujillo)

Estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Trujillo desarrollaron un proyecto de concreto reciclado que reemplaza hasta un 60 % de la materia prima con residuos triturados de construcción. Las probetas, diseñadas para una resistencia de 210 kg/cm², superaron el mínimo en el ensayo de compresión (Elías Silupu *et al.*, 2020). Dado que Trujillo genera unas 350 toneladas diarias de material reciclable, el proyecto reduciría tanto los residuos de obra como el consumo de agua asociado a la fabricación de concreto.

E. Perú — Uso de melaza en la Quebrada El León

En el proyecto de diques de la Quebrada El León (La Libertad), el consorcio a cargo aplicó melaza para el control del polvo, reduciendo hasta en un 90 % el consumo de agua en el riego de vías y superficies. La medida se enmarca en contratos de modelo Gobierno a Gobierno (G2G) entre Perú y el Reino Unido, orientados a incorporar enfoques innovadores de bajo impacto ambiental.

IV. Marco teórico

El impacto ambiental de la construcción se manifiesta en cuatro frentes. Primero, el consumo de recursos naturales: la fabricación de materiales y la propia obra demandan piedra, arena, asfalto, cal, cemento y minerales no metálicos (Pacheco Bustos *et al.*, 2017). Segundo, la expansión urbana descontrolada: se proyecta que para 2050 la población urbana mundial alcanzará el 65 % del total (Naciones Unidas, 2019). Tercero, la explotación de recursos, que extrae y procesa materia prima con efectos sobre el entorno. Cuarto, la generación de residuos de construcción y demolición (RCD), que constituyen un componente de deterioro ambiental y paisajístico y cuya disposición está regulada por las autoridades ambientales (Castaño *et al.*, 2013).

V. Recomendaciones por caso

Del análisis de los casos se derivan recomendaciones específicas. Para la Defensa Ribereña de Morales, garantizar la aprobación del estudio de impacto ambiental antes de iniciar la obra y su inclusión en las especificaciones técnicas. Para el Aeropuerto del Café, fortalecer las medidas de mitigación mediante construcción modular por fases y tecnología de bajo impacto (torre de control digital). Para el megapuerto de Chancay, diseñar un plan de manejo ambiental robusto y establecer una franja marina protegida. Para el concreto reciclado, promover la reutilización de escombros y la participación estudiantil en investigación aplicada. Para el uso de melaza, extender esta solución a proyectos futuros por su reducción del consumo de agua y de la contaminación por polvo.

VI. Conclusiones

El impacto ambiental de la construcción abarca múltiples dimensiones a lo largo de todo el ciclo de la obra. Las técnicas de construcción sostenible —reducción de emisiones, eficiencia en el uso de recursos— y la integración del reciclaje y la reutilización de materiales contribuyen a mitigarlo e impulsan la economía circular (Mendoza-Rangel & Díaz-Aguilera, 2023).

La comparación entre Perú y Colombia muestra un patrón común: la suspensión de proyectos por afectaciones ambientales refleja la creciente exigencia de sostenibilidad en el desarrollo de infraestructura, y la eficacia de las medidas depende de la vigilancia de las autoridades ambientales competentes en cada territorio. Como línea de trabajo futura, se sugiere ampliar el análisis a un conjunto sistemático de casos, con criterios de selección explícitos, que permita comparar los marcos regulatorios de ambos países.

Tipo de artículo

Artículo de revisión (estudio de casos múltiples).

Referencias

- Castaño, J. O., Misle Rodríguez, R., Lasso, L. A., Gómez Cabrera, A., & Ocampo, M. S. (2013). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes. *Tecnura*, 17(38), 121–129.
- Elías Silupu, J. W., Flores Franco, J. E., Barrera Gutiérrez, R. E., & Reyna Pary, C. A. (2020). Efecto de la utilización de agregados de concreto reciclado sobre el ambiente y la construcción de viviendas en la ciudad de Huamachuco. *Puriq*, 2(1), 16–27.
- Mendoza-Rangel, J. M., & Díaz-Aguilera, J. H. (2023). Economía circular en la industria latinoamericana del cemento y el concreto: una solución sustentable de diseño, durabilidad, materiales y procesos. *Revista ALCONPAT*, 13(3), 328–348.
- Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. (2019). *World urbanization prospects: The 2018 revision*. ONU.
- Pacheco Bustos, C. A., Fuentes Pumarejo, L. G., Sánchez Cotte, É. H., & Rondón Quintana, H. A. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de Barranquilla desde su modelo de gestión. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(2), 533–555.

REVISIÓN

Cine colombiano: una industria olvidada por su propio público

Karen Dayanna Coral Roza^a, Alejandra García Martínez^b, Karen Julieth Piñeros Orjuela^c,
Angelo Felipe Mora Páez^d, Aníbal Ángel Soto Bracho^e.

^a *Tecnóloga en Comunicación Gráfica, estudiante de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.* 

^b *Técnica en elaboración de audiovisuales, estudiante de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.* 

^c *Estudiante de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.* 

^d *Técnico en Comercio Internacional, estudiante de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.* 

^e *Docente, Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.* 

RESUMEN

Desde comienzos del siglo XX, el cine colombiano ha superado obstáculos como los presupuestos escasos, la censura y la competencia extranjera. La creación de Cine Colombia y el apoyo institucional de los años noventa y dos mil impulsaron su consolidación, con películas como *El abrazo de la serpiente*, galardonada internacionalmente. Sin embargo, la preferencia del público por el cine extranjero persiste. El objetivo de esta investigación es examinar las razones de la falta de apoyo del público colombiano a su propio cine e identificar acciones para revertir la situación. Se empleó un enfoque mixto: una revisión documental sobre la historia y la situación de la industria, y una encuesta a 87 estudiantes de primer semestre de la Escuela de Ciencias Administrativas de la UNIMETA. Los resultados muestran un consumo bajo de cine nacional (solo el 9,2 % lo ve muy frecuentemente), un conocimiento limitado (47,1 % declara conocerlo poco) y una percepción de escaso apoyo institucional (72,4 %). Se concluye que la industria enfrenta un círculo vicioso —sin apoyo no hay crecimiento— que requiere una acción conjunta del Estado, las plataformas de difusión y el público.

Palabras clave: cine colombiano; industria cinematográfica; consumo cultural; distribución de cine; público colombiano.

Colombian Cinema: An Industry Forgotten by Its Own Public

ABSTRACT

Since the early twentieth century, Colombian cinema has overcome obstacles such as scarce budgets, censorship and foreign competition. The creation of Cine Colombia and the institutional support of the 1990s and 2000s drove its consolidation, with films such as *Embrace of the Serpent* gaining international recognition. However, the public's preference for foreign cinema persists. The aim of this research is to examine the reasons for the Colombian public's lack of support for its own cinema and to identify actions to reverse the situation. A mixed approach was used: a documentary review of the history and situation of the industry, and a survey of 87 first-semester students of the School of Administrative Sciences at UNIMETA. The results show low consumption of national cinema (only

* Autor de correspondencia.
Correo electrónico:
anibal.soto@unimeta.edu.co

9.2 % watch it very frequently), limited knowledge (47.1 % report knowing little about it) and a perception of scarce institutional support (72.4 %). It is concluded that the industry faces a vicious circle —without support there is no growth— that requires joint action by the State, distribution platforms and the public.

Keywords: Colombian cinema; film industry; cultural consumption; film distribution; Colombian audience.

I. Introducción

En los últimos años, la industria del cine colombiano ha registrado un crecimiento significativo, tanto en el número de producciones como en su reconocimiento internacional. Películas como *Los reyes del mundo* y *La jauría* han destacado en festivales globales. No obstante, muchas de estas producciones resultan desconocidas para el público colombiano, lo que evidencia la distancia entre el reconocimiento internacional y la aceptación local (Cárdenas, 2023). Esta evolución se ha apoyado en políticas como la Ley 814 de 2003, base normativa para el fomento de la actividad cinematográfica en Colombia.

Pese al crecimiento en el número de producciones, se observa una falta de valoración por parte del público, que sigue prefiriendo el cine extranjero. Paradójicamente, muchas películas colombianas han sido reconocidas en el exterior antes de ser vistas en el país (De Luque, 2017). Como señala Sierra (2013), existe una relación entre los valores representados en el cine y los esquemas de valor del espectador, lo que hace necesario diseñar estrategias de formación de públicos para consolidar la industria. Festivales como el Bogotá International Film Festival (BIFF) dan visibilidad a nuevas propuestas (Calderón, 2020), pero no logran traducirla en mayor afluencia a las salas.

Este artículo indaga las razones de la falta de apoyo del público colombiano a su propio cine e identifica acciones necesarias para revertir la situación. La investigación se organiza en torno a cinco ejes —el crecimiento del cine nacional, la preferencia por el cine extranjero, el desconocimiento y la falta de promoción, el círculo vicioso de la falta de apoyo, y el caso de la región del Meta— y culmina con los resultados de una encuesta aplicada a estudiantes universitarios.

II. Metodología

Se empleó un enfoque mixto que combinó el análisis documental y la recolección de datos cuantitativos. En una primera fase se revisaron fuentes sobre la historia de la industria cinematográfica colombiana, la percepción del público y la comparación con el cine extranjero. En una segunda fase se aplicó una encuesta a estudiantes de primer semestre de la Escuela de Ciencias Administrativas de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA (Administración de Empresas, Contaduría Pública, y Mercadeo y Publicidad), durante el segundo período de 2023. El instrumento constó de diez preguntas orientadas a determinar el nivel de conocimiento, el consumo y la percepción del cine colombiano. Se obtuvieron 87 respuestas.

III. El crecimiento del cine colombiano

El cine colombiano ha crecido desde sus primeras producciones a inicios del siglo XX, superando el escaso

presupuesto, la censura y la competencia del cine extranjero. La creación de Cine Colombia en la década de 1930 marcó un punto de inflexión, pero fue en los años noventa y dos mil cuando alcanzó mayor consolidación, gracias al apoyo institucional y a festivales como los de Cartagena y Bogotá (Arango, 2024). Obras como *El abrazo de la serpiente*, de Ciro Guerra, y *María, llena eres de gracia*, de Joshua Marston, se convirtieron en referentes internacionales, aunque no siempre lograron el mismo impacto local. La Ley de Cine de 2003 (Ministerio de Cultura, 2023) y la llegada de las plataformas de streaming ampliaron el acceso a las producciones nacionales (Correa, 2018).

IV. Preferencia del público por el cine extranjero

La preferencia por el cine extranjero, en especial el de Hollywood, se atribuye a su superioridad en efectos especiales, calidad de imagen, sonido y producción. Según Sierra (2013), la baja demanda de cine nacional obedece a una falta de apropiación de los valores culturales propios. La escasa promoción en redes sociales limita el interés entre los jóvenes, y la ausencia de estrategias de marketing digital reduce el alcance de las producciones. Los canales nacionales —Caracol y RCN— podrían impulsar la oferta y la demanda del sector si promovieran las producciones colombianas en lugar de concentrarse en telenovelas y entretenimiento.

V. Desconocimiento y falta de promoción

Asistir al cine fue durante mucho tiempo una de las actividades culturales de mayor arraigo en Colombia (Espinal *et al.*, 2019). Entre 2016 y 2019, la asistencia rondó los 73 millones de espectadores anuales, de los cuales solo 2,5 millones acudieron a ver cine nacional en 2019 (Proimágenes Colombia, 2019). Para 2020 existían cerca de 1248 salas comerciales, concentradas en Cine Colombia, Royal Films y Cinemark (Arias, 2020). La pandemia cerró cerca de dos tercios de las salas y redujo la asistencia a unos 12 millones (Proimágenes Colombia, 2020). En 2022 la asistencia superó los 50 millones, pero el cine nacional captó apenas el 1,2 % de la boletería vendida (Proimágenes Colombia, 2022b). Moreno *et al.* (2022) atribuyen este desinterés a la modesta oferta nacional frente a la extranjera, a la escasa campaña de mercadeo y a la desvinculación entre el cine y la televisión.

VI. El círculo vicioso: sin apoyo, no hay crecimiento

Las leyes de fomento han permitido avances. En 2021, aún durante la pandemia, se estrenaron 30 películas colombianas —el 14 % de los estrenos del año—, pero solo el 1,7 % de los espectadores eligió cine nacional (Proimágenes Colombia, 2021). El cine colombiano enfrenta el desafío de captar el interés local: aunque cuenta con historias

valiosas, la promoción es insuficiente (Gaviria, 2022). Los cineastas afrontan dos obstáculos centrales: conseguir financiación y lograr una distribución efectiva en salas, plataformas y televisión. Sin un cambio en estas condiciones, la industria permanece atrapada en un círculo vicioso.

VII. El cine en la región del meta

Villavicencio y el Meta ofrecen una diversidad geográfica —llanuras, ríos, montañas y selvas— que los hace un escenario versátil para el rodaje (Gobernación del Meta, 2021). La región ha desarrollado gradualmente infraestructura y servicios logísticos para producciones audiovisuales (Comisión Fílmica del Meta, 2022), pero la inversión en infraestructura sigue siendo insuficiente (Proimágenes Colombia, 2022a) y persisten dificultades de acceso a redes de distribución y promoción. La Ley 814 de 2003 y el Fondo para el Desarrollo Cinematográfico ofrecen apoyo, pero es necesario que incrementen su respaldo a las zonas menos favorecidas (Ministerio de Cultura, 2023). El caso de Canal Trece —de la Gobernación del Meta, pero con la mayoría de sus producciones realizadas en Bogotá— ilustra la centralización que desvincula a la región de una plataforma que debería promover su cultura (Canal Trece, 2023).

VIII. Resultados de la encuesta

La encuesta se aplicó a 87 estudiantes de primer semestre de la Escuela de Ciencias Administrativas de la Corporación

Universitaria del Meta - UNIMETA. La muestra estuvo compuesta mayoritariamente por mujeres (62,1 %), y el grupo de edad más numeroso fue el de 21 a 27 años (32,2 %), seguido por el de 28 a 36 años (28,7 %).

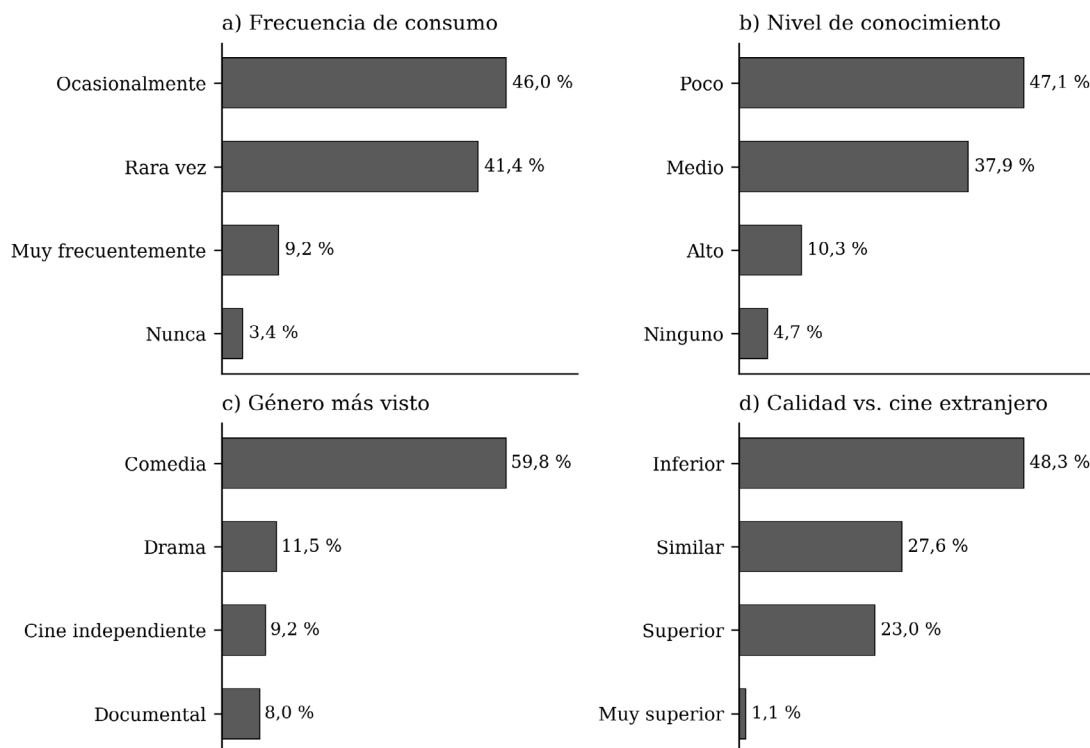
Los hábitos de consumo (Fig. 1a) muestran que el 46 % ve cine colombiano ocasionalmente y el 41,4 % rara vez; solo el 9,2 % lo hace muy frecuentemente. El nivel de conocimiento es limitado (Fig. 1b): el 47,1 % lo considera poco y solo el 10,3 % alto. El género más visto es la comedia (59,8 %, Fig. 1c), muy por encima del drama (11,5 %), el cine independiente (9,2 %) y el documental (8 %). En cuanto a la calidad frente al cine extranjero (Fig. 1d), el 48,3 % la considera inferior y solo el 1,1 % muy superior.

Respecto al apoyo institucional (Fig. 2), el 72,4 % considera que el cine colombiano no recibe suficiente apoyo ni promoción. Entre los factores que afectan su crecimiento, los encuestados señalaron los problemas de financiación, el desinterés del público local y la competencia del cine extranjero. Finalmente, la mayoría se mostró dispuesta a pagar un valor adicional por la entrada a una película colombiana, siempre que ese excedente se destinara a fortalecer la industria.

IX. Conclusiones

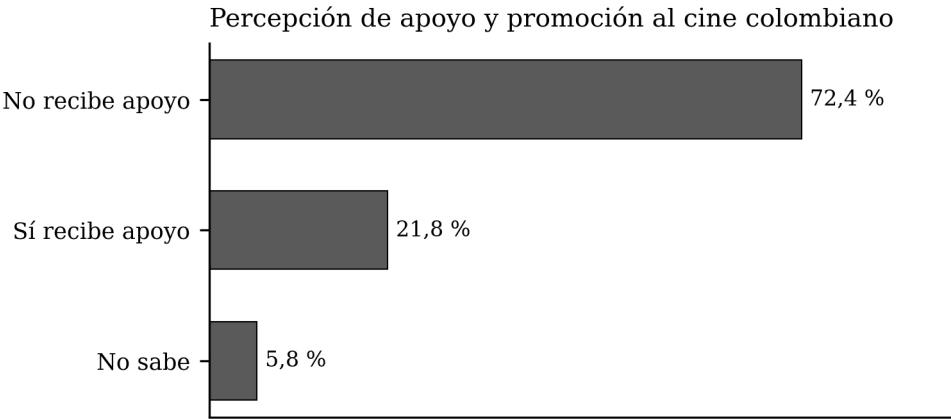
El cine colombiano ha progresado de forma notable, pero aún enfrenta desafíos para consolidarse en el mercado local. La falta de promoción efectiva, el desinterés del público y la competencia del cine extranjero siguen siendo barreras clave (Consejo Nacional de las Artes y la Cultura en Cinematografía, 2023). Revertir esta situación exige un

Figura 1. Consumo, conocimiento, género preferido y percepción de calidad del cine colombiano entre los estudiantes encuestados (n = 87).



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Percepción del apoyo y la promoción al cine colombiano (n = 87).



Fuente: elaboración propia.

esfuerzo conjunto del gobierno, las plataformas de difusión y el público, con mayor apoyo a las producciones locales y una mejora en la calidad y la promoción.

Los resultados de la encuesta confirman que, aunque existe cierto interés, este no se traduce en consumo regular ni en conocimiento profundo de la industria (Bogotá Audiovisual Market, 2023). Los estudiantes perciben desafíos importantes de calidad, apoyo y promoción, pero también manifiestan un apoyo potencial —como la disposición a pagar un valor adicional— que abre una oportunidad para fortalecer el sector (Proimágenes Colombia, 2023). Como línea de trabajo futura, se sugiere ampliar la encuesta a una muestra representativa de la población del Meta y comparar la percepción entre distintos grupos de edad y formación.

Tipo de artículo

Artículo de investigación.

Procedencia

Producto de investigación.

Financiación

Sin financiación externa.

Referencias

Arango, C. (2024). *Películas en Colombia: un viaje a través de su historia y producciones*. Colombia Tours. <https://colombiatours.travel/peliculas-en-colombia-un-viaje-a-traves/>

Arias. (2020). *Salas de cine y exhibición en Colombia*. Bogotá Audiovisual Market. (2023). *Memorias del encuentro*.

Calderón, C. (2020). Gestión de festivales de cine en Bogotá: más allá de la formación de públicos. *Comunicación y Medios*, (42), 108–119.

Canal Trece. (2023). *Informe de producción regional*.

Cárdenas, J. (2023). *¿Qué cabe esperar del cine colombiano en 2023?* Voces de la Academia. <https://blogs.eltiempo.com/vocesdelaacademiapoli/2023/02/10/>

Comisión Fílmica del Meta. (2022). *Servicios para producciones audiovisuales*.

Consejo Nacional de las Artes y la Cultura en Cinematografía. (2023). *Programas de fomento regional*.

Correa, J. (2018). El cine latinoamericano: un panorama en transformación. *Cinemas d'Amérique Latine*.

De Luque, J. (2017). *Análisis comparativo de las nuevas tendencias del cine colombiano desde la implementación de la Ley del Cine de 2003* [Tesis de maestría, Universidad del Norte].

Espinal et al. (2019). *Consumo cultural y asistencia al cine en Colombia*.

Gaviria. (2022). *Los desafíos del cine colombiano* [Entrada de blog]. Gobernación del Meta. (2021). *Diversidad geográfica del departamento del Meta*.

Ley 814 de 2003. Por la cual se dictan normas para el fomento de la actividad cinematográfica en Colombia. 3 de julio de 2003. Diario Oficial n.º 45.237.

Ministerio de Cultura. (2023). *Ley 814 de 2003 y sus incentivos para el desarrollo cinematográfico en regiones apartadas*. <https://www.mincultura.gov.co>

Moreno et al. (2022). *Desinterés del público por el cine nacional colombiano*.

Proimágenes Colombia. (2019). *Cine en cifras*.

Proimágenes Colombia. (2020). *Cine en cifras — informe pandemia*.

Proimágenes Colombia. (2021). *Cine en cifras*, (22).

Proimágenes Colombia. (2022a). *Cine en cifras — inversión regional*.

Proimágenes Colombia. (2022b). *Estadísticas de asistencia 2022*.

Proimágenes Colombia. (2023). *Formación de públicos para el cine nacional*.

Radio Nacional de Colombia. (2023). *Cine colombiano 2023: películas estrenadas*. <https://www.radionacional.co/cultura/cine/>

Sierra, E. (2013). Cine e industria en Colombia, hacia un estado de la cuestión. *Revista Ciencias Sociales y Educación*, 2(4), 93–111.

REVISIÓN

El poder emocional del color en redes sociales: marketing y psicología del color en la decisión de compra

Leidy Yurany Romero Vargas^a, Fran Santiago Matiz Daza^a, Nazly Dianey Martínez Rozo^a, Karen Vaneza Acosta Trujillo^a, Dannys Paola Jiménez Perdomo^a, Aníbal Ángel Soto Bracho^b.

^a Estudiantes de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.

^b Docente investigador de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. 

RESUMEN

En el marketing, cada color despierta emociones distintas por efecto de experiencias previas y de la psicología del color. El objetivo de este artículo es analizar, a partir de la literatura, cómo el color influye en las decisiones de compra de los consumidores en las redes sociales y cómo, usado con estrategia, deja de ser un recurso decorativo para convertirse en una herramienta de comunicación e identidad de marca. Se realizó una revisión bibliográfica de artículos, tesis, libros y notas publicados principalmente en los últimos cinco años. La literatura muestra que el color actúa como lenguaje emocional que guía la atención del usuario, refuerza la identidad de marca y varía en significado según la cultura, y que su uso debe atender también a criterios de accesibilidad. Se concluye que una gama cromática coherente es una herramienta poderosa para construir identidad y fidelización en el entorno digital.

Palabras clave: marketing digital; psicología del color; redes sociales; identidad de marca; neuromarketing.

The Emotional Power of Color on Social Media: Marketing and Color Psychology in Purchasing Decisions

ABSTRACT

In marketing, each color awakens different emotions through previous experiences and color psychology. This article aims to analyse, from the literature, how color influences consumers' purchasing decisions on social media and how, used strategically, it ceases to be a decorative resource and becomes a tool for communication and brand identity. A bibliographic review of articles, theses, books and news items published mainly in the last five years was carried out. The literature shows that color acts as an emotional language that guides the user's attention, reinforces brand identity and varies in meaning across cultures, and that its use must also address accessibility criteria. It is concluded that a coherent color range is a powerful tool for building identity and loyalty in the digital environment.

Keywords: digital marketing; color psychology; social media; brand identity; neuromarketing.

* Autor de correspondencia.
Correo electrónico:
anibal.soto@unimeta.edu.co

I. Introducción

Las empresas actuales deben conocer su entorno para que la gerencia y los tomadores de decisiones alcancen los objetivos organizacionales. En el ámbito de las redes sociales, Instagram es la más utilizada (91,4 %) y la percibida con mayor publicidad (69 %) (Membreño, 2019). En ese entorno, el color actúa como una herramienta persuasiva y emocional que influye en cómo los usuarios procesan la información visual: capta la atención, destaca elementos de una publicidad y guía la mirada hacia un mensaje o un producto (Pitre *et al.*, 2021). El color es, además, un elemento clave de la identidad de una marca (Pol, 2017), y una gama cromática coherente refuerza su reconocimiento y fideliza a los clientes (Cavero, 2021). Este artículo analiza el papel emocional del color en las redes sociales y su influencia en la decisión de compra.

II. Metodología

Se realizó una revisión bibliográfica sobre el poder emocional del color en las redes sociales. Se consultaron las bases de datos Scielo, Redalyc, ResearchGate y Dialnet, y se revisaron artículos de revistas, tesis, libros y notas, priorizando los publicados en los últimos cinco años que abordaran la relación entre el color y su influencia en el consumo digital.

III. Emociones del color en redes sociales

Las redes sociales ocupan un lugar central en la vida cotidiana —una persona pasa en promedio seis horas y cuarenta minutos diarios en internet (Membreño *et al.*, 2020)—, y el color es uno de los estímulos que más inciden en el consumo de contenido digital. Los colores brillantes y vibrantes (rojo, naranja, amarillo) atraen rápidamente la atención y transmiten energía; marcas como McDonald's los emplean por su capacidad de despertar emociones. Los tonos pastel (rosa claro, azul celeste, verde menta) transmiten calma y cercanía (Heller, 2012), mientras que los oscuros (negro, gris, azul oscuro) comunican seriedad y profesionalismo, y construyen un branding sólido de credibilidad.

A. Marcas que han utilizado el color de manera efectiva

Diversas marcas usan el color estratégicamente para construir identidad y generar reconocimiento. El azul, por ejemplo, representa confianza y fidelidad (Álvarez, 2011). Álvarez (2011) sostiene que el color influye en las decisiones de consumo porque los objetivos mercadológicos se anclan en asociaciones emocionales previas. La coherencia cromática —el blanco y el negro que transmiten simplicidad y elegancia, o los patrones llamativos que atraen al público joven— fortalece la imagen y el valor diferenciador de la marca.

B. Consideraciones culturales y de accesibilidad

El significado del color varía entre culturas: el amarillo, con connotaciones negativas en Europa, tiene una

lectura opuesta en Asia y América del Sur (Pastoureau, 2006). Por ello, las marcas que distribuyen a escala internacional deben adaptar su paleta al contexto. A la dimensión cultural se suma la de accesibilidad: siguiendo las normas de la Iniciativa para la Accesibilidad Web (WAI) del W3C, con sus tres niveles de conformidad (A, AA, AAA), el diseño con color debe garantizar una experiencia completa también a las personas con discapacidad visual (Venegas & Mansilla, 2005).

IV. Conclusiones

El color es un instrumento que, en las redes sociales, puede determinar el éxito o el fracaso de una marca: transmite emociones y valores, y le permite destacar. Establecer una conexión emocional con el público objetivo va más allá de lo estético, pues facilita transmitir mensajes con mayor claridad y construir fidelización.

El color no se percibe igual en todas partes: su significado varía según la cultura y el contexto, de modo que las marcas de alcance internacional deben ajustar su uso cromático a cada mercado. Como línea de trabajo futura, se sugiere complementar esta revisión con un estudio empírico que mida, en una muestra de usuarios, la respuesta emocional a distintas paletas de color en anuncios digitales.

Tipo de artículo

Artículo de revisión.

Procedencia

Producto de investigación formativa.

Financiación

Sin financiación externa.

Referencias

- Álvarez, O. (2011). Influencia del color en las preferencias de los consumidores. *Observatorio Calasanz*, 2(4), 228–246.
- Cavero, M. (2021). Marketing digital en redes sociales y su contribución a la identidad de marca en alojamientos turísticos familiares. *Global Business Administration Journal*, 5(2), 51–62.
- Heller, E. (2012). *Psicología del color: cómo actúan los colores sobre los sentimientos y la razón* (1.ª ed.). Gustavo Gili.
- Membreño, I. (2019). Neurociencia y mercadeo: influencia del color en la predisposición de compra en usuarios de redes sociales. *Revista Investigación y Pensamiento Crítico*, 7(1), 40–51.
- Membreño, I., Rodríguez, B., González, L., Castillero, E., & Cattafi, R. (2020). Neurociencia y mercadeo: influencia del color en la predisposición de compra en usuarios de redes sociales. *Revista de Iniciación Científica*, 6(1), 53–64.
- Pastoureau, M. (2006). *Breve historia de los colores* (1.ª ed.). Paidós Ibérica.
- Pitre, R., Builes, S., & Hernández, H. (2021). Impacto del marketing digital en las empresas colombianas emergentes. *Universidad & Empresa*, 23(40), 1–20.
- Pol, A. (2017). Branding y personalidad de la marca visual. *Zincografía*, 1(1), 5–20.
- Venegas, C., & Mansilla, G. (2005). Accesibilidad web para personas con discapacidad visual. *Síntesis Tecnológica*, 2(1), 1–10.

REVISIÓN

Una agricultura sostenible para la alimentación

Dra. Dania Andrea Di Filippo Herrera^a

^a *Docente investigadora Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.* 

RESUMEN

La evolución hacia la agricultura moderna ha planteado serios problemas para los suelos, el medio ambiente y la salud humana. Desde la década de 1960 se ha advertido sobre los efectos nocivos de los productos químicos empleados en la agricultura, como los pesticidas y los fertilizantes de síntesis, que han dañado el entorno y alterado la flora y la fauna silvestres. Diversos estudios documentan los impactos negativos en el suelo, el agua, la biodiversidad, las economías locales y el bienestar humano. Este trabajo examina las causas y consecuencias de dichas prácticas, así como las soluciones orientadas a reformar el manejo agrícola y avanzar hacia un futuro más sostenible. Se destaca el uso de productos orgánicos —fertilizantes y bioestimulantes— como alternativas viables para promover la sostenibilidad, con énfasis en su composición química y en las bioactividades que ejercen sobre las plantas y los cultivos.

Palabras clave: agricultura sostenible; fertilizantes orgánicos; bioestimulantes; agroecología; impacto ambiental.

A Sustainable Agriculture for Food

ABSTRACT

The evolution toward modern agriculture has posed serious problems for soils, the environment, and human health. Since the 1960s, warnings have been raised about the harmful effects of the chemical products used in agriculture, such as pesticides and synthetic fertilizers, which have damaged the environment and altered wild flora and fauna. Several studies document the negative impacts on soil, water, biodiversity, local economies, and human well-being. This work examines the causes and consequences of these practices, as well as the solutions aimed at reforming agricultural management and moving toward a more sustainable future. The use of organic products —fertilizers and biostimulants— is highlighted as a viable alternative to promote sustainability, with emphasis on their chemical composition and the bioactivities they exert on plants and crops.

Keywords: sustainable agriculture; organic fertilizers; biostimulants; agroecology; environmental impact.

* Autor de correspondencia.
Correo electrónico:
dania.difilippo@unimeta.edu.co

I. Introducción

El desarrollo de la agricultura comenzó cuando el ser humano comprendió que podía fomentar la producción de alimentos de forma continuada. Ello fue posible gracias a la observación directa del estado de la tierra y del crecimiento de las plantas —en especial tras las crecidas de los ríos que abonaban el suelo—, y a la comparación con suelos no influenciados por esos aportes naturales (Rahman, 2003). Este conocimiento, sumado a la selección de los mejores especímenes de cultivo y, más recientemente, a las modificaciones moleculares y genéticas que mejoran características físicas y químicas de los productos, dio origen a lo que hoy conocemos como agricultura moderna o industrial (Adeolu-Adedibu, 2023).

Sin embargo, aunque desde los años sesenta comenzaron a observarse las consecuencias de estas prácticas sobre los ecosistemas y la salud humana, aún persiste el uso de productos químicos dañinos. Pese a los efectos adversos evidentes, se siguen empleando prácticas como el cultivo intensivo y extensivo, que contribuyen al agotamiento de los suelos y a la pérdida de biodiversidad (Naciones Unidas, 2018).

Este artículo analiza el estado actual de las prácticas agrícolas y los cambios implementados para lograr una agricultura sostenible que minimice el impacto negativo sobre los ecosistemas, el medio ambiente y la salud humana. Se organiza en cuatro ejes: los productos de nutrición vegetal, la sostenibilidad de la agricultura y su vínculo con los ODS, los efectos adversos de los insumos químicos, y las alternativas orgánicas.

II. Metodología

Este trabajo corresponde a una revisión documental de carácter divulgativo. Se consultó literatura científica reciente —artículos, informes de organismos internacionales (FAO, ONU) y publicaciones especializadas— sobre agricultura sostenible, fertilizantes y bioestimulantes, priorizando las fuentes de la última década. La información se organizó de manera temática en torno a los productos de nutrición vegetal, los efectos ambientales y sanitarios de los insumos químicos, y las alternativas orgánicas.

III. Productos agrícolas de nutrición vegetal

El desarrollo de la agricultura surgió de la necesidad de satisfacer la demanda alimentaria de poblaciones crecientes. No fue hasta la década de 1960 cuando se produjo

una transformación profunda: selección de semillas de alta calidad, modificación genética de especies, optimización de métodos de cultivo, producción de nutrientes para el suelo y las plantas, y formulación de plaguicidas para aumentar la producción y proteger las cosechas.

A. Fertilizantes

Los fertilizantes son productos esenciales para los cultivos, ya que las plantas necesitan un suministro adecuado de nutrientes para un desarrollo óptimo (McHugh, 2002). La FAO define como fertilizante cualquier material de origen natural o mineral que contenga al menos un 5 % de uno o más de los tres nutrientes primarios: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (McHugh, 2002). Como las actividades agrícolas agotan los nutrientes del suelo, los agricultores emplean estrategias como la rotación de cultivos, el descanso de los suelos y el uso de fertilizantes o abonos (Giraud-Billoud & Lascano, 2020).

Los fertilizantes se clasifican en tres categorías. Los químicos son fabricados por el ser humano y suelen ser de origen mineral, animal, vegetal o sintético; contienen los tres nutrientes esenciales (N, P, K). Los orgánicos tienen poca o nula intervención humana en su preparación y pueden ser de origen mineral, vegetal, animal o mixto. Los inorgánicos se derivan de rocas y minerales y se aplican para aumentar la fertilidad (Giraud-Billoud & Lascano, 2020).

B. Bioestimulantes de crecimiento vegetal

Un bioestimulante vegetal es cualquier sustancia o microorganismo que, aplicado a las plantas, mejora la eficiencia en la nutrición, la tolerancia al estrés abiótico o las características de calidad de los cultivos, con independencia de su contenido de nutrientes; el término abarca también los productos comerciales que combinan estas sustancias o microorganismos (du Jardin, 2015; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023). Los bioestimulantes se clasifican en siete categorías, sintetizadas en la Fig. 1: proteínas hidrolizadas, quitosano y otros polímeros, hongos beneficiosos, bacterias benéficas, extractos de algas y plantas, elementos inorgánicos, y humus (du Jardin, 2015; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023).

Las proteínas hidrolizadas facilitan la disponibilidad de aminoácidos que actúan como bioestimulantes y sirven de materia prima para la síntesis de nuevas proteínas (du Jardin, 2015; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023). El

Figura 1. Categorías de bioestimulantes de crecimiento vegetal.



Fuente: elaboración propia a partir de (Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023)

quitosano y otros biopolímeros, biodegradables, activan los mecanismos de defensa de las plantas y mejoran su respuesta al estrés por salinidad, sequía o temperaturas extremas (Baltazar *et al.*, 2021; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023). Los hongos micorrícicos se asocian a las raíces en una simbiosis que mejora la defensa frente al estrés, la disponibilidad de nutrientes y el control de plagas (Cristofano *et al.*, 2021; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023). Las bacterias benéficas estimulan promotores del crecimiento y mejoran la eficiencia en el uso de nutrientes (Ma *et al.*, 2022; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023). Las algas y plantas aportan fitohormonas y polisacáridos con actividad hormonal (Cristofano *et al.*, 2021; Gómez-Merino *et al.*, 2021; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023). Los elementos inorgánicos —aluminio, cerio, cobalto, yodo, lantano, sodio, selenio, silicio, titanio y vanadio—, aunque no son nutrientes, promueven el desarrollo vegetal (Jindo *et al.*, 2020; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023). Por último, el humus, derivado de la degradación de materia orgánica, libera nutrientes de forma gradual y favorece el crecimiento radicular (FAO, 2016; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023).

IV. Sostenibilidad de la agricultura para la alimentación

Desde hace más de tres décadas, la FAO ha promovido la sostenibilidad mediante proyectos educativos y programas de financiamiento orientados a una producción de alimentos más respetuosa con el medio ambiente. Como la producción de alimentos es esencial para la supervivencia humana y de los ecosistemas, resulta fundamental transformar las prácticas agrícolas que hoy contaminan la biota, reducen la biodiversidad y afectan el agua y la atmósfera (Dudley & Alexander, 2017; FAO, 2018; FAO *et al.*, 2024).

A. Agenda 2030, ODS y agricultura

En 2015, la ONU estableció la Agenda 2030, con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) orientados a reducir el impacto negativo de las actividades productivas (Naciones Unidas, 2018). En 2018, la FAO publicó veinte acciones interconectadas para transformar la alimentación y la agricultura en función de los ODS (FAO, 2018). Estas acciones se apoyan en cinco principios que equilibran las dimensiones social, económica y ambiental (Fig. 2).

Figura 2. Cinco principios de la FAO para una alimentación y una agricultura sostenibles.

- 1 Aumentar la productividad, el empleo y el valor añadido en los sistemas de alimentación
- 2 Proteger e impulsar los recursos naturales
- 3 Mejorar los medios de subsistencia y fomentar el crecimiento económico inclusivo
- 4 Potenciar la resiliencia de las personas, las comunidades y los ecosistemas
- 5 Adaptar la gobernanza a los nuevos retos

Fuente: elaboración propia a partir de (FAO, 2018).

V. Efectos adversos de los insumos químicos

La adición de nutrientes a los suelos y cultivos es indispensable para la producción mundial de alimentos (Muñoz-Morales *et al.*, 2024). Sumada al crecimiento demográfico —8000 millones de personas en 2022, con una proyección de 9700 millones para 2050 y 10 400 millones hacia 2080—, esta necesidad presiona hacia la agricultura intensiva. Sin embargo, el uso indiscriminado de fertilizantes contamina el agua, la atmósfera y el suelo (del Puerto-Rodríguez *et al.*, 2014).

El exceso de fertilizantes nitrogenados y fosfatados provoca la eutrofización del agua, reduce el oxígeno disuelto y altera la flora y la fauna locales (del Puerto-Rodríguez *et al.*, 2014; Wimalawansa, 2014). Algunos fertilizantes nitrogenados liberan óxido nitroso (N₂O), un potente gas de efecto invernadero (del Puerto-Rodríguez *et al.*, 2014). El uso continuo y no controlado acidifica el suelo y provoca la pérdida de su biodiversidad y fertilidad a largo plazo (del Puerto-Rodríguez *et al.*, 2014; Wimalawansa, 2014).

Los pesticidas, por su parte, controlan plagas, enfermedades y malezas, pero su uso excesivo o incorrecto causa daños ambientales graves (Kumar *et al.*, 2013; Wimalawansa, 2014). Son arrastrados por la lluvia o el riego hasta ríos, lagunas y acuíferos, contaminan fuentes de agua potable y resultan tóxicos para organismos acuáticos (Dasgupta *et al.*, 2007; Kumar *et al.*, 2013; Wimalawansa, 2014). Su uso continuo genera resistencia en las plagas, lo que eleva las concentraciones aplicadas y la búsqueda de productos más tóxicos (Dasgupta *et al.*, 2007). Además, degradan el suelo al alterar su microbiota y su fertilidad, y algunos persisten durante largos períodos (Borges Araujo Frota & Siqueira, 2021; Kumar *et al.*, 2013; Wimalawansa, 2014).

A. Impacto de los pesticidas en la salud humana

Los riesgos para la salud dependen del tipo de pesticida, la cantidad, el nivel de exposición y la vulnerabilidad de la persona (Lima-Moncayo & Zambrano-Gavilanes, 2023; Wimalawansa, 2014). Los trabajadores agrícolas son los más expuestos y pueden sufrir efectos agudos —irritación, dolores de cabeza, mareos, náuseas e intoxicación— y crónicos, como enfermedades del sistema nervioso asociadas a organofosforados. El glifosato, uno de los pesticidas más usados, ha sido clasificado por la OMS como posible carcinógeno, aunque la evidencia sigue en debate. Algunos pesticidas alteran el sistema endocrino y afectan el desarrollo sexual, la fertilidad y el desarrollo fetal (Lima-Moncayo & Zambrano-Gavilanes, 2023). A ello se suma la exposición crónica a residuos en los alimentos, vinculada en algunos estudios con enfermedades autoinmunes y problemas de fertilidad (Chew *et al.*, 2019).

VI. Alternativas orgánicas para una agricultura sostenible

Para mitigar los impactos sobre el medio ambiente y la salud es necesario investigar, producir y utilizar productos amigables con el entorno, y transformar la

forma de hacer agricultura. La FAO y la ONU apuestan por una agricultura sostenible a través de la educación, los proyectos de desarrollo sostenible y normativas más exigentes (FAO, 2018; FAO *et al.*, 2024). Desde hace más de cincuenta años, investigadores y productores desarrollan productos agrícolas orgánicos (Garrido *et al.*, 2019), y el mercado de fertilizantes y bioestimulantes ofrece cada vez más alternativas de bajo impacto.

A. Fertilizantes orgánicos

Los fertilizantes orgánicos enriquecen el suelo y aportan nutrientes a partir de fuentes naturales —restos de animales, plantas y microorganismos—, sin sustancias sintéticas (Iqbal *et al.*, 2021). Se descomponen lentamente, liberando nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes, y mejoran la estructura del suelo, la actividad microbiana y la retención de agua (Iqbal *et al.*, 2021). Entre los más comunes están el estiércol (Prasad *et al.*, 2017), el compost y el humus de lombriz (Tahat *et al.*, 2020), y los biofertilizantes derivados de microorganismos (Tahat *et al.*, 2020). Sus beneficios incluyen la mejora de la salud del suelo (Rajabi-Hamedani *et al.*, 2020), la reducción de la contaminación, la sostenibilidad por reutilización de desechos, el aumento de la fertilidad a largo plazo, la mejora de la biodiversidad y la resiliencia (Rouphael & Colla, 2020), y la protección de la salud humana (Iqbal *et al.*, 2021).

B. Bioestimulantes orgánicos

Los bioestimulantes son sustancias naturales o microorganismos que promueven el crecimiento, mejoran la resistencia al estrés y optimizan el uso de nutrientes; aunque no aportan nutrientes directamente, mejoran la eficiencia de los procesos biológicos (Sylvester *et al.*, 2020). Mejoran el rendimiento y la resistencia de las plantas en condiciones de estrés (Sylvester *et al.*, 2020), optimizan el uso de nutrientes del suelo (du Jardin, 2015), reducen la dependencia de productos químicos al fortalecer las defensas naturales (Gómez-Merino *et al.*, 2021) y mejoran la calidad del suelo (Sylvester *et al.*, 2020). Su gestión adecuada, acompañada de investigación y de capacitación a los agricultores, impulsa la agricultura sostenible (Gómez-Merino *et al.*, 2021).

La Tabla I sintetiza la comparación entre los insumos químicos y los orgánicos en las principales dimensiones de la sostenibilidad.

No obstante, el uso de insumos orgánicos también tiene limitaciones que deben reconocerse: la liberación más lenta de nutrientes puede resultar insuficiente ante demandas altas y puntuales del cultivo; su composición es más variable y difícil de estandarizar; y su eficacia depende de una gestión y una capacitación adecuadas. Por ello, tanto los fertilizantes como los bioestimulantes deben gestionarse cuidadosamente para maximizar sus beneficios y minimizar los impactos negativos.

Como alternativas complementarias se recomiendan los pesticidas orgánicos o biológicos, menos tóxicos, y las prácticas agrícolas integradas —como el manejo integrado de plagas y el control biológico—, que reducen la dependencia de los pesticidas químicos.

VII. Conclusión

Aunque existen cada vez más fertilizantes y bioestimulantes orgánicos, y un mayor número de agricultores y gobiernos comprometidos con la sostenibilidad, todavía se emplean insumos dañinos para la salud humana y el medio ambiente. La agricultura actual sigue generando pérdida de fertilidad de los suelos, pérdida de flora y fauna, y contaminación del agua y la atmósfera. Frente a ello, tres líneas resultan decisivas: la educación ambiental de estudiantes, población general y, en especial, propietarios de tierras y agricultores; la disponibilidad de productos orgánicos que suplan las necesidades nutricionales del suelo y las plantas y fortalezcan sus defensas; y la adopción de prácticas de cultivo que reduzcan la presión de plagas. Avanzar en estas líneas es la vía para transformar la forma de sembrar y mantener los cultivos, y alcanzar una verdadera sostenibilidad alimentaria.

Tipo de artículo

Artículo de divulgación.

Procedencia

Producto de divulgación científica.

Financiación

Sin financiación externa.

TABLA I. Comparación entre insumos químicos y orgánicos

Dimensión	Insumos químicos	Insumos orgánicos
Aporte de nutrientes	Rápido y de alta concentración	Gradual y sostenido
Efecto sobre el suelo	Acidificación y pérdida de fertilidad a largo plazo	Mejora de estructura, microbiota y retención de agua
Contaminación de agua	Eutrofización; residuos en acuíferos	Baja; sin residuos tóxicos
Emisiones	Óxido nitroso (N ₂ O) por nitrogenados	Reducidas
Salud humana	Riesgo por residuos y exposición	Menor riesgo de exposición
Sostenibilidad	Limitada; dependencia creciente	Alta; reutiliza desechos orgánicos

Nota. Elaboración propia a partir de las fuentes citadas.

Declaración de conflicto de intereses:

La autora declara no tener ningún conflicto de interés que pueda haber influido en los resultados o la interpretación de este trabajo.

Referencias

- Adeolu-Adedibu, P. (2023). Ecological problems of agriculture: Impacts and sustainable solutions. *ScienceOpen Preprints*.
- Baltazar, M., et al. (2021). Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: An overview. *Biomolecules*, 11, Artículo 1096.
- Borges Araújo Frota, M. T., & Siqueira, C. E. (2021). Pesticidas: los venenos ocultos en nuestra mesa. *Cadernos de Saúde Pública*, 37(2), e00004321.
- Chew, K. W., et al. (2019). Transformation of biomass waste into sustainable organic fertilizers. *Sustainability*, 11, 1–20.
- Cristofano, F., El-Nakhel, C., & Rouphael, Y. (2021). Biostimulant substances for sustainable agriculture: Origin, operating mechanisms and effects. *Biomolecules*, 11, Artículo 1103.
- Dasgupta, S., et al. (2007). Pesticide poisoning of farm workers: Implications of blood test results from Vietnam. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 210(2), 121–132.
- del Puerto-Rodríguez, A. M., Suárez-Tamayo, S., & Palacio-Estrada, D. E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372–387.
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14.
- Dudley, R. C., & Alexander, S. (2017). *Impactos ambientales del uso de fertilizantes*.
- FAO, FIDA, UNICEF, PMA, & OMS. (2024). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2024*. FAO.
- FAO. (2016). *Agricultura sostenible. Una herramienta para fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2018). *Transformar la alimentación y la agricultura para alcanzar los ODS. 20 acciones interconectadas para guiar a los encargados de adoptar decisiones*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Garrido, E. C., Rocha, Â. M., Santos, D. A., & Gomila, J. M. V. (2019). Tecnologías para a produção de biofertilizantes: tendências e oportunidades. *Cadernos de Prospecção*, 12, 665–679.
- Giraud-Billoud, M. A., & Lascano, M. L. (2020). *Fertilizantes orgánicos: un fortalecimiento de la agroecología*.
- Gómez-Merino, F. C., et al. (2021). Los bioestimulantes: una potente alternativa para mejorar la producción de caña de azúcar. *ATAM*, 34(3), 6–9.
- Iqbal, A., et al. (2021). Co-incorporation of manure and inorganic fertilizer improves leaf physiological traits, rice production and soil functionality. *Scientific Reports*, 11, 1–16.
- Jindo, K., et al. (2020). From lab to field: Role of humic substances under open-field and greenhouse conditions as biostimulant and biocontrol agent. *Frontiers in Plant Science*, 11, Artículo 426.
- Kumar, S., Sharma, A. K., Rawat, S. S., Jain, D. K., & Ghosh, S. (2013). Use of pesticides in agriculture and livestock animals and its impact on environment of India. *Asian Journal of Environmental Science*, 8(1), 51–57.
- Lima-Moncayo, A. O., & Zambrano-Gavilanes, F. (2023). Uso de fertilizantes orgánicos en la producción de cucurbitáceas: revisión de literatura. *Paideia XXI*, 13(1), 141–159.
- Ma, Y., Freitas, H., & Dias, M. C. (2022). Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, 13, Artículo 1024243.
- McHugh, D. J. (2002). *Prospects for seaweed production in developing countries* (FAO Fisheries Circular n.º 968). FAO.
- Muñoz-Ibarra, C. L., López-Domínguez, J., & Cruz-Cruz, C. A. (2023). Bioestimulantes: el futuro de una agricultura sostenible. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular*, (2), 46–52.
- Muñoz-Morales, J. M., Capilla-Otero, M. M., & Gordillo-Ibarra, X. (2024). El impacto del uso inadecuado de agroquímicos y riego intensivo en la degradación del suelo: del cultivo al yermo. *AyTBUAP*, 9(34), 65–70.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe* (LC/G.2681-P/Rev.3). ONU.
- Prasad, H., Sajwan, P., Kumari, M., & Solanki, S. P. S. (2017). Effect of organic manures and biofertilizer on plant growth, yield and quality of horticultural crops: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 5, 217–221.
- Rahman, S. (2003). Environmental impacts of modern agricultural technology diffusion in Bangladesh: An analysis of farmers' perceptions and their determinants. *Journal of Environmental Management*, 68, 183–191.
- Rajabi-Hamedani, S., Rouphael, Y., Colla, G., Colantoni, A., & Cardarelli, M. (2020). Biostimulants as a tool for improving environmental sustainability of greenhouse vegetable crops. *Sustainability*, 12, Artículo 5101.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: From experimental data to practical applications. *Agronomy*, 10, Artículo 1461.
- Sylvester, J., et al. (2020). A rapid approach for informing the prioritization of degraded agricultural lands for ecological recovery: A case study for Colombia. *Journal for Nature Conservation*, Artículo 125921.
- Tahat, M. M., Alananbeh, K. M., Othman, Y. A., & Leskovar, D. I. (2020). Soil health and sustainable agriculture. *Sustainability*, 12, Artículo 4859.
- Wimalawansa, S. (2014). Escalating chronic kidney diseases of multi-factorial origin in Sri Lanka: Causes, solutions, and recommendations. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 19(6), 375–394.

REVISIÓN

Ampliando horizontes: desafíos y estrategias en la internacionalización para la Escuela de Negocios de UNIMETA

Sandra Rocío Forero Muñoz^a.

^a Jefe de Investigación, Escuela de Ciencias Administrativas,
 Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia. 

RESUMEN

La internacionalización de la educación superior es una estrategia esencial en el contexto global actual, que permite a las universidades formar profesionales competentes y mejorar la calidad educativa mediante alianzas internacionales. El objetivo de este artículo es identificar los desafíos y las estrategias de internacionalización en la educación superior de América Latina, con énfasis en el caso de la Escuela de Ciencias Administrativas de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA, y proponer mejoras. Mediante una revisión documental de literatura académica, informes institucionales y análisis de casos, se examinan cuatro ejes: la movilidad académica, la internacionalización en casa, la virtualización y la internacionalización del currículo. Los resultados muestran que la internacionalización debe adaptarse a los contextos locales, promoviendo políticas inclusivas y sostenibles mediante alianzas estratégicas y articulación entre instituciones, gobierno y sector productivo. Se concluye que América Latina enfrenta desafíos estructurales y financieros que limitan su alcance, y que el caso de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA ilustra cómo un modelo educativo innovador puede fortalecer estos procesos.

Palabras clave: internacionalización; educación superior; movilidad académica; internacionalización en casa; virtualización.

Expanding Horizons: Challenges and Strategies in Internationalization for UNIMETA's Business School

ABSTRACT

The internationalization of higher education is an essential strategy in today's globalized context, enabling universities to train competent professionals and enhance educational quality through international partnerships. The aim of this article is to identify the challenges and strategies of internationalization in Latin American higher education, with emphasis on the case of UNIMETA's School of Administrative Sciences, and to propose improvements. Through a documentary review of academic literature, institutional reports and case analysis, four axes are examined: academic mobility, internationalization at home, virtualization, and curriculum internationalization. The results show that internationalization must adapt to local contexts, promoting inclusive and sustainable policies through strategic alliances and articulation among institutions, government and the productive sector. It is concluded that Latin America faces structural and financial challenges that limit its scope, and that the UNIMETA case illustrates how an innovative educational model can strengthen these processes.

Keywords: internationalization; higher education; academic mobility; internationalization at home; virtualization.

* Autor de correspondencia.
 Correo electrónico:
 sandrarocioforero@yahoo.es

I. Introducción

La internacionalización de la educación superior es un proceso estratégico que integra perspectivas internacionales, interculturales y globales en las funciones misionales de las universidades —docencia, investigación y extensión— (Aguilar & Riveros, 2017). En el contexto latinoamericano, este proceso enfrenta desafíos estructurales y financieros que condicionan su alcance. El objetivo de este artículo es identificar esos desafíos y las estrategias disponibles, con énfasis en el caso de la Escuela de Ciencias Administrativas de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA, y proponer mejoras aplicables a su contexto. El documento revisa primero los conceptos y desafíos de la internacionalización en la región, examina después cuatro ejes estratégicos —movilidad académica, internacionalización en casa, virtualización e internacionalización del currículo— y culmina con el diagnóstico del caso de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA.

II. Desafíos de la internacionalización en américa latina

La internacionalización integra perspectivas internacionales e interculturales en las funciones misionales

de las universidades (Aguilar & Riveros, 2017). Entre sus desafíos estructurales destaca el reconocimiento de títulos y créditos entre países: aunque existen tratados como la Convención Mundial sobre el Reconocimiento de Cualificaciones de la UNESCO, muchos países carecen de sistemas eficientes de homologación (Didou, 2017; Morales Vásquez *et al.*, 2022). A ello se suma la ausencia de incentivos financieros y normativos que faciliten los convenios con instituciones extranjeras (Ayala & Valencia, 2019; García, 2018), y un enfoque centrado en la movilidad física antes que en la internacionalización en casa, que traslada perspectivas globales a los currículos y a las competencias interculturales (Cedeño Espinosa *et al.*, 2021; Montoya, 2017). Además, las políticas no siempre se alinean con el sector productivo, lo que desconecta la formación de la demanda laboral.

El segundo desafío estructural es de orden financiero (Acosta Bohórquez, 2020; Villavicencio Plasencia, 2019): la movilidad internacional de profesores y estudiantes es una estrategia común, pero sus altos costos constituyen una barrera importante y comprometen la equidad y la sostenibilidad. Para superarlo, se espera que las universidades diversifiquen sus fuentes de financiamiento, fortalezcan alianzas estratégicas y adopten modelos innovadores.

Tabla 1. Marco institucional de la internacionalización en UNIMETA

Dimensión	Componente	Contenido
Principios(Acuerdo 040 de 2015)	Inclusión	Comprende a toda la comunidad académica —estudiantes, egresados, profesores, directivos y administrativos— y las tres funciones misionales, con proyección a la región Orinoquía.
	Corresponsabilidad	La implementación y los beneficios de la internacionalización competen al conjunto de la comunidad institucional.
	Sinergia	Intercambio, movilidad y fortalecimiento de redes universitarias de investigación que enriquezcan el acervo cultural del país y de los Llanos Orientales.
	Estrategia	Se privilegian los vínculos con instituciones que permitan encontrar sinergias efectivas.
	Pertinencia	Alineación con el Proyecto Educativo Institucional, la misión, la visión y el Plan de Desarrollo, en los niveles local, regional y global.
Líneas estratégicas y actividades(Hoja de Ruta, 2014)	Movilidad	Identificación de áreas y facultades con mayor potencial; estructuras administrativas de apoyo a la movilidad de entrada y salida; becas de posgrado; oferta de destinos de alto perfil académico; activación de canales con universidades con convenio vigente; mapeo de la oferta local y conformación de redes.
	Promoción de competencias	Censo de docentes con dominio de otras lenguas para habilitar cátedras en inglés; cursos, seminarios, foros y escuelas de verano con orientación internacional; difusión de convocatorias en el portal institucional y canales permanentes con los coordinadores de programa.
	Adaptación institucional	Docencia en línea mediante MOOC, Moodle y plataformas abiertas, con incentivos para la preparación de cursos; activación del reservorio científico; vinculación de los semilleros de investigación a la cooperación científica internacional.

Fuente: Elaboración propia a partir del Acuerdo 040 de 2015 y de la Hoja de Ruta de internacionalización (2014), UNIMETA.

Tabla 2. Convenios internacionales de UNIMETA según estado, 2018-2023

Convenio	País	Estado	Objeto
UMECIT – Universidad Metropolitana de Educación, Ciencia y Tecnología	Panamá	Vigente	Programas, proyectos e investigaciones conjuntas; cinco convenios específicos para estudios de maestría.
IBS Americas	Brasil	Vigente	Becas de descuento del 70 % y una beca del 100 % por cada quince estudiantes.
Asociación Civil Huellas Voluntariado Social	Argentina	Vigente	Escenario de práctica laboral.
KOLAU	Estados Unidos	Vigente	Memorando de entendimiento para digitalización y comercio electrónico de pymes.
ASCUN – Grupo Coimbra	Colombia y Brasil	Vigente	Intercambio de estudiantes con al menos el 50 % de créditos cursados; la institución receptora subvenciona alojamiento y alimentación.
ICETEX	Colombia	Vigente	Alianza estratégica para acceso, financiación y permanencia.
PILA – ASCUN, ANUIES, CIN	América Latina	Vigente	Movilidad estudiantil, docente y administrativa en nueve países y más de doscientas universidades.
Universidad de Salamanca	España	Inactivo	Convenio marco para cursos, seminarios y actividades docentes e investigativas; intercambio de docentes y estudiantes.
Universidad de Cádiz	España	Inactivo	Convenio marco de mutuo aprovechamiento en cursos, seminarios y actividades docentes.
Universidad de Sevilla	España	Inactivo	Invitación recíproca a docentes de pregrado y posgrado; intercambio de publicaciones y planes de estudio.
Universidad de Valladolid	España	Inactivo	Invitación recíproca a docentes por periodos cortos; máximo dos profesores durante dos meses.
Universidad de Huelva	España	Inactivo	Movilidad estudiantil y docente; máximo dos estudiantes por curso académico y estancias docentes de cuatro a ocho semanas.

Nota. Los cinco convenios inactivos corresponden a universidades españolas y estaban pendientes de reactivación al crearse la Coordinación de Internacionalización en junio de 2023.

Fuente: Documento diagnóstico y estratégico de internacionalización 2023, UNIMETA.

III. Ejes estratégicos de la internacionalización

A. Movilidad académica

La movilidad académica es el desplazamiento de estudiantes, docentes y personal administrativo entre instituciones nacionales e internacionales para participar en actividades educativas o investigativas. Según los rankings globales de 2023, las instituciones de países desarrollados lideran en número de estudiantes internacionales y programas de intercambio, mientras que las de América Latina alcanzan en promedio apenas el 12 %, lo que refleja las disparidades regionales y la dependencia de recursos externos (QS Quacquarelli Symonds, 2023).

B. Internacionalización en casa

La internacionalización en casa integra elementos internacionales, interculturales y globales en el currículo y en las actividades universitarias locales, sin necesidad de desplazamiento físico (Arango & Acuña, 2018). En la región,

Ecuador destaca por integrar enfoques globales en los currículos (Ayala & Valencia, 2019); México ha empleado tecnologías digitales para superar las barreras económicas de la movilidad (Bustos & Vega, 2021); Costa Rica ha fortalecido el bilingüismo (Aguilar & Riveros, 2017); y Colombia ha apostado por las cátedras espejo, que permiten el intercambio virtual sin movilidad física (Montoya, 2017).

C. Virtualización

La virtualización se ha convertido en una herramienta clave de internacionalización. Persisten, sin embargo, brechas de acceso: solo el 60 % de las universidades de regiones rurales de América Latina cuenta con infraestructura adecuada para la educación en línea (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022). Aun así, el 79 % de las instituciones de educación superior de la región ha adoptado estrategias que integran el aprendizaje en línea para ampliar su alcance global (Universidad Adolfo Ibáñez, 2024), un impulso acelerado por la pandemia de COVID-19 y la adopción de plataformas como Moodle y Classroom.

D. Internacionalización del currículo

La internacionalización del currículo contribuye al reconocimiento de la calidad y la validez de los programas a nivel global (Labrada Cisneros & Valiente Sandó, 2021). Las tendencias actuales apuntan a una transición desde políticas rígidas hacia enfoques más modernos, inclusivos y apoyados en la tecnología (Marinoni & Bartolomé Pina Cardona, 2024), que buscan hacer las experiencias internacionales más accesibles y flexibles. En definitiva, la internacionalización en América Latina transita hacia un modelo más inclusivo y adaptado a las necesidades locales, que responde tanto a los desafíos globales como a las demandas de cada sociedad (Baena *et al.*, 2023; Díaz-Guecha *et al.*, 2020).

IV. Caso unimeta: diagnóstico y estrategias

Desde 1985, la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA, institución privada sin ánimo de lucro de carácter regional, atiende las necesidades de educación superior de Colombia y la región (Corporación Universitaria del Meta, 2023). Su modelo educativo, llamado MEUM, consta de nueve cátedras —UNIMETA, Cosmología, Occidente, América, Colombia, Meta, Villavicencio, Sociedad del futuro y Pensamiento político contemporáneo— que forman al estudiante desde lo local hacia una aproximación internacional. El MEUM recibió el galardón de la Academia Autorizada en Educación de Rusia por su aporte pedagógico.

El documento base para la internacionalización de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA es el Acuerdo 040 de 2015, cuyo objeto es desarrollar la dimensión internacional, intercultural y global de la comunidad universitaria. A partir de la Hoja de Ruta de 2014 se definieron líneas estratégicas de movilidad, promoción de competencias y adaptación institucional a los retos de la internacionalización. En junio de 2023 se estableció la Coordinación de Internacionalización para optimizar el proceso, fomentar el bilingüismo e integrar componentes internacionales en la enseñanza.

El proceso de internacionalización de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA involucra a la rectoría, los vicerrectorados, las cinco escuelas (Arquitectura, Ciencias Administrativas, Ciencias Sociales y Periodismo, Derecho e Ingenierías), los centros de investigación, los semilleros y la biblioteca. En el plano externo participan actores regionales, nacionales e internacionales, como la Asociación Colombiana de Universidades (ASCUN) —a través de la Red Nodo-Orinoquía y la Red Colombiana de Internacionalización— y el ICE-TEX, además de entidades locales y del sector empresarial mediante convenios de pasantías.

V. Conclusiones

La internacionalización de la educación superior es un eje estratégico para fortalecer la academia en América Latina y, en particular, en Colombia, pues refleja calidad educativa y competitividad. Sus desafíos son estructurales: exigen fortalecer las iniciativas universitarias con políticas públicas de financiación que cierren las brechas de desigualdad.

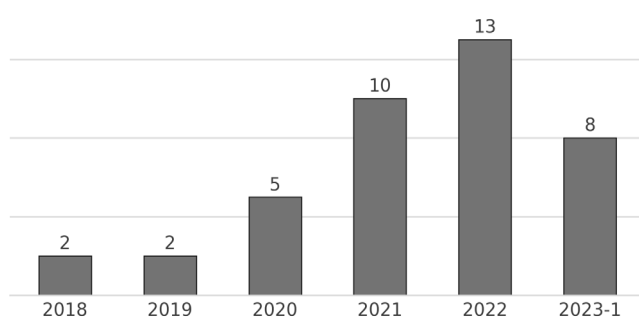
La virtualización, la movilidad académica, la internacionalización en casa y el rediseño curricular globalizado dan resultados cuando se adaptan a los escenarios locales y se apoyan en socios estratégicos. En el caso de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA, el MEUM y los convenios internacionales evidencian un compromiso de integración, aunque subsiste la necesidad de vincular la universidad con el sector empresarial, el Estado y los organismos internacionales para construir políticas de inclusión sostenibles. La internacionalización debe entenderse, en definitiva, como un proceso dinámico e integral que responde a las necesidades de la academia e impulsa el crecimiento económico, cultural y social de la región.

Tipo de artículo

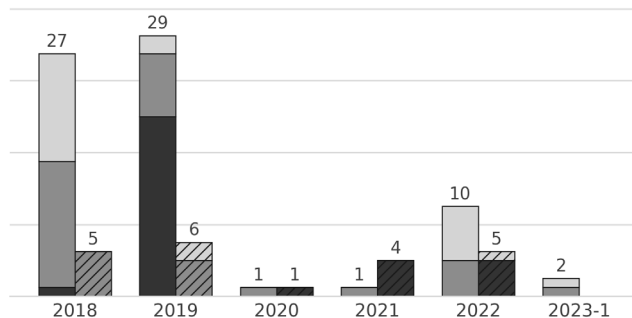
Artículo de revisión.

Figura 1. Convenios y movilidades internacionales de UNIMETA, 2018-2023

a) Convenios internacionales suscritos



b) Movilidades académicas por tipo



Nota. Los datos de 2023 corresponden al primer semestre. No se reportaron movilidades administrativas en 2020 ni en 2021.

Fuente: Documento diagnóstico y estratégico de internacionalización 2023, UNIMETA, con cifras reportadas al SNIES.

Procedencia

Producto de investigación de la Escuela de Ciencias Administrativas de la UNIMETA.

Financiación

Sin financiación externa.

Referencias

- Acosta Bohórquez, J. C. (2020). Análisis de las estrategias de internacionalización de educación superior en las universidades colombianas. *Punto de Vista*, 11(17), 3–29.
- Aguilar, Y., & Riveros, A. S. (2017). La internacionalización de la educación superior: concepto y evolución del modelo en la Universidad de Costa Rica. *Revista Educación*, 41(1), 1–31.
- Arango, A. M., & Acuña, L. E. (2018). La internacionalización del currículo y su relación con las condiciones de calidad en los programas académicos. *Revista ObIES*, 2, 35–49.
- Ayala, M., & Valencia, L. E. (2019). La internacionalización, una perspectiva para mejorar la calidad de la educación superior en Ecuador. *Revista Ciencias Pedagógicas e Innovación*, 6(2), 61–69.
- Baena, R., García, A., De la Fuente, R., Fonseca, T., Heredia, J., & Chavarría, C. (2023). Internacionalización de la educación superior: satisfacción de los universitarios en España y Portugal. *Campus Virtual*, 12(1), 193–208.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2022). *Digitalización y transformación en la educación superior en América Latina*. BID.
- Bustos, M., & Vega, R. (2021). Los cambios en las estrategias de internacionalización en las instituciones mexicanas de educación superior a partir de la pandemia por COVID-19. *Revista Educación Superior y Sociedad*, 33(2), 269–297.
- Cedeño Espinosa, E., Juanes Giraud, B., & Haro Calero, R. (2021). La internacionalización de la educación superior: experiencias de la fundación metropolitana. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(5), 400–406.
- Corporación Universitaria del Meta. (2023). *Documento diagnóstico y estratégico de internacionalización 2023*. UNIMETA.
- Díaz-Guecha, L., Carrillo-Guecha, K., & Guecha-Oliveros, J. (2020). Internacionalización de la educación superior en el marco de la construcción del conocimiento. *Revista Perspectivas*, 5(2), 90–104.
- Didou, S. (2017). *La internacionalización de la educación superior en América Latina: transitar de lo exógeno a lo endógeno*. UDUAL.
- García, C. (2018). Globalización, internacionalización y educación comparada. *Educiencias*, 3(1), 54–56.
- Labrada Cisneros, O., & Valiente Sandó, P. (2021). Breve acercamiento a las políticas sobre la internacionalización de la educación superior. *Revista Cubana de Educación Superior*, 40(3).
- Marinoni, G., & Bartolomé Pina Cardona, S. (2024). *Informe de la sexta encuesta mundial de la IAU: internacionalización de la educación superior: tendencias actuales y escenarios futuros*. IAU.
- Montoya, S. I. (2017). Uso del enfoque CLIL como estrategia de internacionalización del currículo en una institución de educación superior colombiana. *Latin American Journal of Content and Language Integrated Learning*, 10(1), 105–131.
- Morales Vásquez, J., Jiménez García, S., & Canan, S. R. (2022). La política de internacionalización de la educación superior: efectos, brechas y asimetrías persistentes. *Ensaio*.
- QS Quacquarelli Symonds. (2023). *Ranking mundial de universidades QS*. TopUniversities. <https://www.topuniversities.com>
- Universidad Adolfo Ibáñez. (2024). *Internationalization of higher education*.
- Villavicencio Plasencia, M. V. (2019). Internacionalización de la educación superior en Cuba: principales indicadores. *Economía y Desarrollo*, 16(2).

REVISIÓN

Estrategias para la Rehabilitación y Optimización del Biodigestor en el Parque Metropolitano María Lucía

David Fernando Aranda^a, Erlin Eduardo Ladino^a, Sandra Rocío Forero^b

^a Estudiantes, Programa de Ingeniería, Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.

^b Jefe de Investigación, Escuela de Ciencias Administrativas, Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.

Resumen

El presente artículo describe el prototipo de biodigestor de membrana instalado en el Parque Metropolitano María Lucía y divulga una propuesta de planificación orientada a su rehabilitación y optimización funcional. En el marco de la gestión sostenible de residuos orgánicos y de la promoción de energías renovables en entornos universitarios y periurbanos, los biodigestores constituyen una alternativa con potencial energético, ambiental y formativo. Bajo un enfoque descriptivo y propositivo, la metodología integró la observación directa del prototipo, el registro fotográfico de su estado actual y la revisión de antecedentes técnicos sobre digestión anaeróbica y aprovechamiento de biomasa ganadera; el alcance del estudio se circunscribe a la fase de planificación, de modo que quedan para etapas posteriores las pruebas de funcionamiento, las mediciones experimentales y la puesta en operación del sistema. Los resultados comprenden una caracterización contextual del biodigestor existente y un cronograma que organiza de manera secuencial las acciones requeridas para su rehabilitación progresiva. El aporte se concibe como insumo técnico-divulgativo para la toma de decisiones institucionales y como apoyo a los procesos formativos y de sensibilización en torno a la gestión de residuos y la generación distribuida de energía.

Palabras clave: biodigestor de membrana; digestión anaeróbica; biomasa ganadera; planificación energética; biogás.

Strategies for the Rehabilitation and Optimization of the Biodigester in María Lucía Metropolitan Park

Abstract

This article describes the membrane biodigester prototype installed at María Lucía Metropolitan Park and presents a planning proposal aimed at its rehabilitation and functional optimization. Within the framework of sustainable organic waste management and the promotion of renewable energy in university and peri-urban settings, biodigesters represent an alternative with energy, environmental, and educational potential. Adopting a descriptive and proposal-based approach, the methodology included direct observation of the prototype, photographic documentation of its current condition, and a review of technical literature on anaerobic digestion and the utilization of livestock biomass; the scope of the study is limited to the planning phase, leaving operational testing, experimental measurements, and the system's commissioning for later stages. The results include a contextual characterization of the existing biodigester and a timeline that sequentially organizes the actions required

* Autor de correspondencia.
Correo electrónico:
sandrarocioforero@yahoo.es

for its progressive rehabilitation. This study is intended as a technical and educational resource for institutional decision-making and as support for educational and awareness-raising processes regarding waste management and distributed energy generation.

Keywords: membrane biodigester; anaerobic digestion; livestock biomass; energy planning; biogas.

I. Introducción

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) advierte que el camino para limitar el calentamiento global se estrecha (Garzón-Zúñiga & Buelna, 2014), pero con las energías limpias se evitaría (International Energy Agency, 2025). Las proporciones actuales en cuanto a fuentes de energía se distribuyen de la siguiente forma (80% combustibles fósiles, 10% biomasa, 6% energía nuclear (International Energy Agency, 2021), 2% energía hidráulica (Queiroz et al., 2013), 2% otras energías renovables (eólica, solar, etc.). Por ello, la AIE reclamó una “utilización más racional de la energía” (Dias et al., 2004) y la sustitución de los combustibles fósiles por otros tipos de energía.

La energía eléctrica es una forma de energía que resulta del movimiento de partículas cargadas, como electrones, a lo largo de un conductor. Su principal valor radica en su versatilidad, su eficiencia energética y su bajo impacto ambiental cuando se utiliza con fuentes renovables (IEA, 2023). El desarrollo de la sociedad humana se ha basado en el aprovechamiento de fuentes energéticas primarias de tipo fósil; producto de su uso indiscriminado, se ha generado un deterioro ambiental global que puede llegar a niveles insostenibles si no se toman correctivos oportunos (Posso, 2002).

Como se mencionó antes, se consideran energías renovables la energía hidráulica, solar, eólica y de biomasa. La energía hidráulica aprovecha la energía potencial y cinética del agua que, mediante turbinas, se transforma en energía mecánica para ser utilizada en el generador. La energía solar aprovecha la irradiación emitida por el sol, la cual captamos por medio de concentradores solares y paneles fotovoltaicos para poder generar sistemas térmicos o eléctricos. La eólica es el aprovechamiento de la energía cinética del viento, ocasionado por la temperatura en la atmósfera. Para el caso de la biomasa, se consideran leña, los residuos orgánicos de vegetales y animales (Kougias & Angelidaki, 2018), carbón vegetal y otros combustibles derivados de fuentes biológicas (FAO, 2004).

La biomasa se ha utilizado ampliamente como fuente de energía a lo largo de los siglos; sin embargo, la creciente demanda de energías renovables y la preocupación por el cambio climático global han impulsado el aumento del uso de biomasa (Scarlat et al., 2018), acompañado de un adecuado control de las emisiones atmosféricas (da Silva et al., 2023).

Los biodigestores se presentan como solución a la problemática, ya que estos permiten un reciclaje de nutrientes, logrando mejoras ambientales, de calidad de vida y económicas, al disminuir la dependencia de fertilizantes minerales, y en este caso se adiciona la obtención de una fuente de energía renovable, mejorando la soberanía energética (Carvalho & Cirón, 2022).

En el medio rural existen diferentes tipos de biodigestores, cada uno adecuado para diferentes aplicaciones

y escalas de operación, estos pueden ser (Ecoinventos, 2022; FAO, 2011; Genia Bioenergy, s. f.-a):

- Biodigestores de flujo por pistón.
- Biodigestores de mezcla completa.
- Biodigestores discontinuos.
- Biodigestores de membrana

En este estudio se analizará el biodigestor anaeróbico de tipo membrana de carga continua (Arenas, 2019). Con este se quiere llevar a cabo el diseño de un sistema de aprovechamiento de la materia orgánica del ganado como biomasa (Canales-Gutiérrez et al., 2021; Sánchez et al., 2016) en la alimentación de un biodigestor para la generación de energía eléctrica.

La digestión anaeróbica es un proceso bioquímico complejo en el que la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno (Riesco, 2013; Varnero, 2011), gracias a la acción de diversos microorganismos. Se divide en cuatro fases principales: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Durante estas etapas, moléculas complejas como proteínas, carbohidratos y lípidos se convierten en compuestos más simples, y finalmente en biogás (principalmente metano). Este proceso se utiliza para producir biogás, que puede generar energía renovable, y reducir residuos orgánicos. La materia utilizada suele ser estiércol, residuos agrícolas, aguas residuales y otros desechos orgánicos (Hossain & Islam, 2008; Souza & Schaeffer, 2013).

La generación de energía se llevará a cabo mediante la instalación de un sistema de generación de energía por ciclo combinado (Ministerio de Minas y Energía, 2024), el cual aprovecha la combustión del biogás. Este sistema opera en dos fases y es más eficiente en la generación de energía en comparación con otros métodos (Maioli et al., 2011).

En el Parque Metropolitano María Lucía, se planea implementar un sistema de generación distribuida que funcionará tanto como una herramienta educativa para los estudiantes del programa de ingeniería eléctrica como un sistema para producir energía eléctrica que cubra las necesidades energéticas del parque. Actualmente, el biodigestor del parque está fuera de servicio y este proyecto tiene como objetivo rehabilitarlo para integrarlo en el sistema de generación distribuida que se planea desarrollar (Martín, 2020).

En este contexto, el presente artículo tiene como propósito describir el prototipo de biodigestor existente en el Parque Metropolitano María Lucía y divulgar una propuesta de planificación orientada a su posible rehabilitación y optimización funcional, a partir de la caracterización general del sistema y la elaboración de un cronograma de actividades. Más que reportar resultados de una intervención técnica implementada, el texto busca poner en contexto el potencial del biodigestor como recurso educativo y energético, así como visibilizar los pasos necesarios

para su futura puesta en funcionamiento dentro de un esquema de generación distribuida.

II. Antecedentes y contexto

A. Biodigestores: naturaleza y función básica

Los biodigestores son sistemas tecnológicos que aprovechan la descomposición anaeróbica de la materia orgánica para producir biogás —una mezcla gaseosa utilizable como fuente energética— y un residuo estabilizado conocido como digestato. El proceso tiene lugar en ausencia de oxígeno y es mediado por comunidades microbianas que transforman compuestos complejos en metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y trazas de otros gases. En este contexto conceptual conviene distinguir materia orgánica (todo material de origen biológico que contiene carbono) de biomasa, entendida como la fracción susceptible de aprovechamiento energético o técnico. (Khayal, 2019)

Desde la óptica del suministro, la biomasa se divide en biomasa de residuos y biomasa de cultivos energéticos; entre los residuos, se identifican residuos urbanos, agrícolas, ganaderos y forestales. Para instalaciones de pequeña y mediana escala orientadas a entornos rurales o periurbanos, los residuos ganaderos —particularmente el estiércol— constituyen una materia prima frecuente por su disponibilidad y facilidad de manejo. En el caso del Parque Metropolitano María Lucía, la fracción identificada para potencial aprovechamiento corresponde al estiércol generado en el entorno del parque. (Hossain & Islam, 2008; Souza & Schaeffer, 2013)

B. Tipologías relevantes para escala local

La literatura técnica clasifica los biodigestores según su configuración hidráulica y régimen operativo. A efectos de contextualizar el prototipo del Parque, se sintetizan tres familias operativas:

- **Biodigestores de flujo por pistón:** diseñados con cámaras alargadas en las que el sustrato avanza en régimen *plug-flow*; evitan la mezcla intensa entre material fresco y efluente y son adecuados para tiempos de retención largos. Se distinguen variantes horizontales (carga y descarga en extremos opuestos) y verticales (flujo vertical), cada una con ventajas según limitaciones de área y control de mezcla. (Genia Bioenergy, s. f.-b)
- **Biodigestores de mezcla completa:** garantizan homogeneidad del contenido mediante agitación continua o intermitente; dentro de esta categoría se reconocen variantes constructivas tradicionales como el “modelo chino” —obra en cemento y empleo de gasómetro— y el “modelo indio” —campana móvil reguladora de presión que prescinde de gasómetro—. (Genia Bioenergy, s. f.-b)
- **Biodigestores de membrana:** consisten en geomembranas flexibles que actúan como cámara de almacenamiento y acumulación de biogás; su facilidad de montaje y coste relativo los hace apropiados para explotaciones pequeñas y proyectos piloto.

La membrana suele fabricarse en polietileno de alta densidad (espesores empleados típicamente en torno a 1,5 mm), combinando impermeabilidad, elasticidad para inflado por gas y resistencia a la perforación y a la radiación UV; tras semanas de operación producen biogás y digestato con valor agronómico. (Genia Bioenergy, s. f.-b)

La tipología del prototipo existente en el Parque —documentada fotográficamente— corresponde a la categoría de membrana, lo que orienta las prioridades de intervención hacia inspección de geomembrana, acondicionamiento de tuberías y control de puntos de fuga.

c. Biomasa, origen del biogás y etapas de la digestión anaeróbica

La biomasa (restos vegetales y animales) es susceptible de degradación física y biológica; cuando la degradación es anaeróbica, comunidades microbianas producen biogás y digestato. El biogás es una mezcla con composición variable (principalmente CH_4 y CO_2 , más trazas de H_2S , siloxanos y otros compuestos) cuyo poder calorífico y usos dependen de esta composición. (Aijieh *et al.*, 2020; Konuszevska *et al.*, 2020; Sawyer *et al.*, 2019)

La digestión anaeróbica se estructura en fases secuenciales que definen el flujo de transformación de sustratos a biogás y residuo:

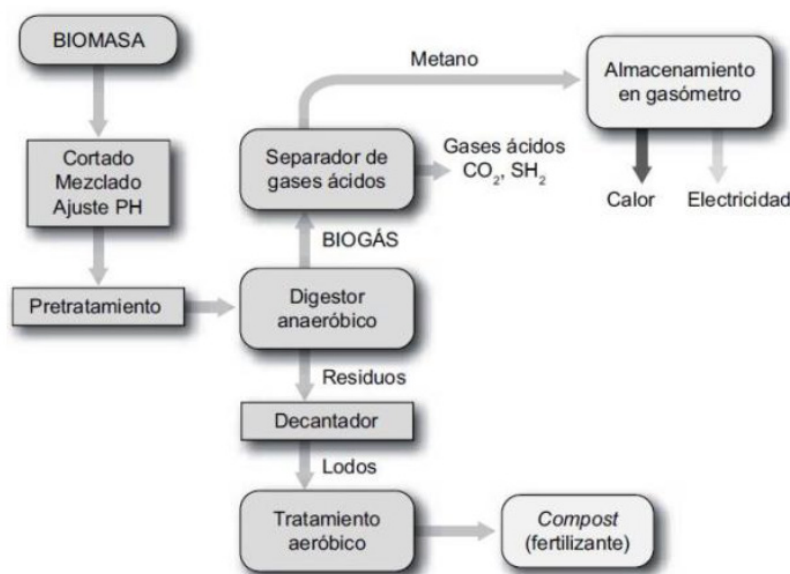
- Hidrólisis:** macromoléculas (polisacáridos, proteínas, lípidos) se fraccionan en componentes solubles.
- Acidogénesis:** producción de ácidos grasos volátiles y otros intermediarios por bacterias acidogénicas.
- Acetogénesis:** conversión de intermediarios en acetato, hidrógeno y CO_2 por bacterias acetogénicas.
- Metanogénesis:** formación de metano a partir de acetato o por reducción de CO_2 con hidrógeno por metanógenos.
- Recolección del biogás:** acumulación del gas en zonas superiores del reactor o en gasómetros/membranas para su posterior uso.
- Digestato:** residuo estabilizado aprovechable como biofertilizante tras procesos de decantación y estabilización. (Aijieh *et al.*, 2020; Riesco, 2013; Hossain & Islam, 2008; Parsae *et al.*, 2019; Posso, 2002)

D. Ventajas y limitaciones en la práctica local

La digestión anaeróbica ofrece beneficios operativos y ambientales que justifican su consideración en proyectos de gestión de residuos: menores costos operativos relativos frente a tratamientos aeróbicos, reducido consumo energético operativo, versatilidad para distintas escalas, menor generación de lodos y recuperación de un producto fertilizante (digestato) que favorece la economía circular. Asimismo, la producción de biogás contribuye a la soberanía energética local si se integra con sistemas de generación distribuida. (Parsae *et al.*, 2019)

No obstante, la técnica presenta limitaciones que condicionan su implementación y operación eficaz:

Ilustración 1. Esquema del proceso de digestión anaeróbica (hidrólisis → metanogénesis) y rutas principales de aprovechamiento del biogás.



Tomado de: Carta G., José A., et al.

periodos de arranque prolongados por la lenta colonización microbiana; necesidad de control riguroso de pH (rango óptimo aproximado 6.5–8), temperatura y mezcla; sensibilidad a inhibidores o compuestos tóxicos que pueden provocar colapsos microbianos; y eficacia variable en eliminación de patógenos según configuración y tratamiento posterior. Estas restricciones recomiendan un enfoque escalonado (fase piloto y pruebas de validación) antes de una operación permanente. (Aijieh *et al.*, 2020; Parsae *et al.*, 2019)

E. Generación eléctrica y acondicionamiento del biogás (síntesis)

Para usos eléctricos, el biogás requiere acondicionamiento (eliminación de H₂S y partículas, filtrado) y almacenamiento controlado (gasómetro o membrana de presión regulada). La conversión en electricidad suele realizarse mediante motores de combustión interna acoplados a generadores o microturbinas; en esquemas que buscan mayor eficiencia se plantea la cogeneración o ciclo combinado para aprovechar también el calor residual. Los requisitos de instrumentación y seguridad (separadores/desulfurizadores, válvulas de alivio, detectores de fugas y protocolos de purga) son determinantes para la viabilidad operativa y para minimizar riesgos en escenarios semipúblicos como parques. (Aijieh *et al.*, 2020; Konuszewska *et al.*, 2020; Ministerio de Minas y Energía, 2024)

F. Diseño semiautomático y consideraciones de seguridad y gestión

El diseño semiautomático propuesto en la planificación para el Parque combina instrumentación básica (sensores de nivel, presión y temperatura; alarmas) con operaciones manuales supervisadas por personal capacitado.

Las medidas de seguridad incluyen válvulas de alivio de presión, rutas de ventilación y procedimientos de purgado que eviten acumulaciones peligrosas de metano. Además, la gestión del digestato exige protocolos de decantación y uso agronómico que mitiguen riesgos sanitarios. Es recomendable que la rehabilitación priorice la inspección de la integridad de la geomembrana, la verificación de conexiones y el estado de las tuberías, y la elaboración de un plan de monitoreo inicial (fase piloto) antes de la operación a mayor escala. (Aijieh *et al.*, 2020; Genia Bioenergy, s. f.-b)

III. Metodología

El presente artículo adopta un enfoque descriptivo y propositivo, propio de los trabajos de divulgación técnica, orientado a documentar el estado actual de un prototipo de biodigestor de membrana instalado en el Parque Metropolitano María Lucía y a presentar una planificación básica para su eventual rehabilitación. La metodología empleada se estructuró en tres componentes principales. En primer lugar, se realizó una observación directa del prototipo en su ubicación dentro del parque, con el fin de identificar su tipología constructiva, disposición general y condiciones visibles de conservación. Esta fase no incluyó pruebas de funcionamiento, mediciones de producción de biogás ni análisis fisicoquímicos del proceso, sino únicamente la caracterización visual y contextual del sistema.

En segundo lugar, se efectuó un registro fotográfico del biodigestor y de su entorno inmediato, utilizado como soporte documental para la descripción del estado actual del prototipo. Dicho registro permitió evidenciar aspectos como la presencia de geomembrana, conexiones visibles, acumulación de material vegetal y condiciones generales del área, información que se empleó con fines descriptivos y divulgativos.

Finalmente, a partir de la información recopilada y del contexto técnico revisado en la literatura, se elaboró un cronograma de actividades como herramienta de planificación. Este cronograma organiza de manera secuencial un conjunto de acciones orientadas a una posible rehabilitación del biodigestor, priorizando inspección, limpieza, verificación de componentes y adecuación para una fase piloto. Es importante señalar que el cronograma no corresponde a actividades ejecutadas, sino a una propuesta de planificación, concebida como insumo para futuras decisiones técnicas, académicas o institucionales.

En consecuencia, el alcance metodológico del trabajo se limita a la descripción del prototipo existente y a la estructuración de una propuesta de planificación, sin que ello implique la implementación, validación experimental o puesta en operación del sistema.

IV. Resultados

A. Identificación y localización del prototipo

El Parque Metropolitano María Lucía cuenta con un prototipo de biodigestor de membrana instalado como iniciativa de aprovechamiento de residuos orgánicos y generación de energía renovable. El sistema se localiza en un área periférica del parque, en un entorno de cobertura vegetal y cercanía a zonas de tránsito controlado, lo que lo posiciona como un recurso con potencial tanto operativo como educativo. La existencia del prototipo se encuentra respaldada por señalización informativa instalada en el sitio, la cual describe de manera general el funcionamiento del biodigestor y su propósito demostrativo.

El registro fotográfico evidencia que el biodigestor corresponde a un sistema de geomembrana flexible, desplegado longitudinalmente sobre el terreno y conectado a una línea de alimentación y descarga. La membrana presenta acumulación de material vegetal (hojas secas y residuos naturales del entorno), lo cual sugiere un periodo prolongado sin operación activa o sin mantenimiento periódico. Asimismo, se observa que algunos tramos de la tubería asociada al sistema se encuentran expuestos, sin protección estructural adicional.

Desde una perspectiva técnica-divulgativa, estas observaciones permiten inferir que el sistema no se encuentra actualmente en operación continua, pero conserva una estructura reconocible y recuperable, lo que resulta relevante para una propuesta de rehabilitación progresiva. No se cuenta con evidencia de mediciones de presión, producción de biogás o análisis del digestato, por lo que el estado funcional del sistema debe entenderse como no evaluado experimentalmente.

Es importante precisar que el presente trabajo no incluye pruebas de funcionamiento, mediciones de caudal de biogás, análisis de composición gaseosa ni ensayos de generación eléctrica. El registro del prototipo se limita a la observación *in situ*, documentación fotográfica y revisión de la tipología constructiva, lo cual resulta coherente con el carácter divulgativo del artículo y con el alcance real de las actividades realizadas.

Figura 1. Señalización informativa del prototipo de biodigestor instalado en el Parque Metropolitano María Lucía.



Figura 2. Detalle de la geomembrana y de los elementos de conducción asociados al biodigestor.



Figura 3. Vista longitudinal del biodigestor de membrana y condiciones generales del entorno inmediato.



Este reconocimiento del estado actual cumple una función diagnóstica básica: identificar condiciones visibles, posibles riesgos y necesidades preliminares de intervención, sin sustituir estudios técnicos detallados que serían requeridos para una puesta en marcha efectiva.

B. Propuesta de planificación para la rehabilitación del prototipo

Con base en el contexto técnico descrito y en el estado observable del biodigestor, se elaboró un cronograma de actividades como instrumento de planificación orientado a una eventual rehabilitación y optimización funcional del sistema. Dicho cronograma no representa la ejecución de una intervención, sino una secuencia lógica de acciones que permitiría, en una fase posterior, avanzar de manera ordenada desde la inspección inicial hasta una posible operación piloto.

A continuación, la tabla que consigna la propuesta de planificación:

Tabla 1. Cronograma propuesto de actividades para la rehabilitación del biodigestor del Parque Metropolitano María Lucía

Objetivo Específico	Acciones a implementar para la consecución del objetivo	Personal	Tiempo	Viajes	Equipo	Materiales	Otros
Examinar las condiciones operativas del biodigestor, las características del terreno y las variables críticas que influyen en el proceso de digestión anaeróbica.	Temperatura de operación del biodigestor: La digestión anaeróbica es sensible a la temperatura, por lo que es crucial monitorear y mantener condiciones termofílicas (alrededor de 50–60 °C) o mesofílicas (30–40 °C). Las fluctuaciones en la temperatura pueden afectar la eficiencia del proceso y la producción de biogás.	2 estudiantes de ingeniería eléctrica 1 Ingeniero Asesor	3–5 Días	3 viajes	1 Probador de suelo	EPP	N/A
	Composición y tipo de sustrato (material de alimentación): Evaluar la composición química y la relación carbono-nitrógeno del sustrato utilizado en el biodigestor, ya que estos factores influyen en la actividad microbiana y en la eficiencia de la producción de biogás. Además, es importante considerar la cantidad de sólidos totales y volátiles.	2 estudiantes de ingeniería eléctrica 1 Ingeniero Asesor	1 semana	4 viajes	Pruebas de laboratorio y tomador de pruebas	EPP	N/A
	Características del terreno: Analizar la topografía, el tipo de suelo y las condiciones hídricas del terreno donde se encuentra instalado el biodigestor. Estos factores pueden afectar la estabilidad estructural del sistema, la permeabilidad del suelo para la gestión de residuos y la viabilidad de la operación a largo plazo.	2 estudiantes de ingeniería eléctrica 1 Ingeniero Asesor	3–5 Días	3 viajes	Herramientas de mano	EPP	N/A
Seleccionar un modelo eficiente para la alimentación de biomasa y un sistema integrado de monitoreo de variables del proceso, control de presión, extracción de biogás y selección de una turbina óptima para la generación de energía eléctrica.	Temperatura de operación del biodigestor: La digestión anaeróbica es sensible a la temperatura, por lo que es crucial monitorear y mantener condiciones termofílicas (alrededor de 50–60 °C) o mesofílicas (30–40 °C). Las fluctuaciones en la temperatura pueden afectar la eficiencia del proceso y la producción de biogás.	2 estudiantes de ingeniería eléctrica 1 Ingeniero Asesor	1 Mes	4 viajes	Equipos de computo	N/A	Software de diseño

(Continúa)

Objetivo Específico	Acciones a implementar para la consecución del objetivo	Personal	Tiempo	Viajes	Equipo	Materiales	Otros
Evaluar la eficiencia del biodigestor mediante la cantidad de gas producido y su impacto en la generación de energía.	Composición y tipo de sustrato (material de alimentación): Evaluar la composición química y la relación carbono-nitrógeno del sustrato utilizado en el biodigestor, ya que estos factores influyen en la actividad microbiológica y en la eficiencia de la producción de biogás. Además, es importante considerar la cantidad de sólidos totales y volátiles.	2 estudiantes de ingeniería eléctrica 1 Ingeniero Asesor	1 Mes	5 viajes	Sensores y controladores	EPP	N/A
	Características del terreno: Analizar la topografía, el tipo de suelo y las condiciones hídricas del terreno donde se encuentra instalado el biodigestor. Estos factores pueden afectar la estabilidad estructural del sistema, la permeabilidad del suelo para la gestión de residuos y la viabilidad de la operación a largo plazo.	2 estudiantes de ingeniería eléctrica 1 Ingeniero Asesor	2 Semanas	4 viajes	Compresor y turbina generadora	cotización de los equipos	N/A
	Volumen de biogás producido: Medir el volumen total de biogás generado por el biodigestor en un periodo determinado (normalmente en metros cúbicos por día). Este parámetro permite evaluar la eficiencia del proceso anaeróbico en convertir la biomasa en gas, y es fundamental para calcular el rendimiento energético posterior.						
	Composición del biogás: Determinar la proporción de metano (CH_4) en el biogás, ya que es el componente principal que determina el poder calorífico del gas. Un biogás con un alto porcentaje de metano (por lo general entre 50–70%) será más eficiente en la generación de energía. La presencia de gases indeseables como dióxido de carbono (CO_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) debe ser controlada para mejorar la calidad del biogás.						
	Conversión energética y eficiencia de la turbina: Evaluar la cantidad de energía eléctrica generada por la turbina en relación con el volumen de biogás utilizado (medido en kilovatios-hora por metro cúbico de biogás, kWh/m^3). Este parámetro mide la eficiencia global del sistema de conversión energética y permite determinar si la cantidad de biogás producido es suficiente para cumplir con las necesidades energéticas previstas.						

Más allá de su potencial energético, el biodigestor del Parque Metropolitano María Lucía representa un recurso con alto valor pedagógico. Su rehabilitación permitiría fortalecer procesos formativos en áreas como ingeniería eléctrica, ambiental y energías renovables, facilitando la comprensión práctica de la digestión anaeróbica, la gestión de residuos y la generación distribuida. Asimismo, el prototipo puede funcionar como herramienta de sensibilización ambiental para la comunidad universitaria y visitantes del parque.

En este sentido, la propuesta de planificación divulgada en el presente artículo busca visibilizar el estado actual del prototipo y ordenar las acciones necesarias para su recuperación, sin sustituir los estudios técnicos, administrativos y presupuestales que deberán acompañar cualquier decisión de implementación futura.

V. Conclusión

El presente artículo permitió describir el prototipo de biodigestor de membrana existente en el Parque Metropolitano María Lucía y contextualizar su potencial como recurso energético y educativo, a partir de su revisión tipológica y del análisis de sus condiciones visibles. A través de la elaboración de un cronograma propuesto de actividades, se ofrece una herramienta de planificación que organiza de manera secuencial las acciones necesarias para una eventual rehabilitación y optimización funcional del sistema, sin sustituir los estudios técnicos y administrativos requeridos para su implementación. En este sentido, el trabajo contribuye a visibilizar el valor de los biodigestores en escenarios universitarios y periurbanos, promoviendo una aproximación responsable y progresiva hacia la gestión sostenible de residuos y la generación distribuida de energía.

Referencias

- Ajieh, M. U., Ogbomida, T. E., Onochie, U. P., Akingba, O., Kubeyinje, B. F., Olerome, O. R., & Ogbonmwan, S. M. (2020). Design and construction of fixed dome digester for biogas production using cow dung and water hyacinth. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 14(1), 15–25. <https://doi.org/10.5897/AJEST2019.2739>
- Arenas Guayazan, B. D. (2019). Propuesta para el diseño de un biodigestor anaerobio como sistema de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, generados en las viviendas del proyecto "La Villa Solar" ubicado en la ciudad de Buenaventura, Colombia. [Trabajo de grado, Universidad de La Salle]. Ciencia Unisalle.
- Canales-Gutiérrez, Á., Quispe-Aucca, B. J., Romero-Loaiza, R., Villafuerte-Prudencio, N., Ramos Pineda, J. R., Aguilar, J. M., & Canqui-Flores, B. (2021). Diseño de un modelo de biodigestor anaerobio como alternativa para la generación de metano. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 9(2), 81–91. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2021.090200081>
- Carvalho, A. M., & Casas Cirión, L. E. (2022). Compostaje y biodigestores como solución al problema de los residuos orgánicos en el medio rural. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 990–1013. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2641
- da Silva, B. P., Ruoso, A. C., Caetano, N. R., & Avila, A. G. (2023). Recuperação de energia como alternativa sustentável. *Boletim de Conjuntura (BOCA)*, 14(41). <https://doi.org/10.5281/zenodo.7953719>
- Dias, R. A., Mattos, C. R., & Balestieri, J. A. P. (2004). Energy education: Breaking up the rational energy use barriers. *Energy Policy*, 32(11), 1339–1347. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00100-9](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00100-9)
- EcoInventos. (2022, 8 de julio). Clasificación de biodigestores. <https://ecoinventos.com/clasificacion-de-biodigestores/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2004). Unified bioenergy terminology: UBET. <https://www.fao.org/4/j4504e/j4504e00.htm>
- Garzón-Zúñiga, M. A., & Buelna, G. (2014). Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(1), 65–79.
- Genia Bioenergy. (s. f.-a). Biodigestores como opción ecológica para el reciclaje de desechos orgánicos. <https://geniabioenergy.com/biodigestores-para-desechos-organicos/>
- Genia Bioenergy. (s. f.-b). Biogás y biodigestores. Tipos, ventajas y beneficios. <https://geniabioenergy.com/biogas-y-biodigestores-tipos-ventajas-y-beneficios/>
- Hossain, M., & Islam, M. R. (2008). An alternative fuel for motor vehicles. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 30(10), 942–953. <https://doi.org/10.1080/15567030600817902>
- International Energy Agency. (2021). Key world energy statistics 2021. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/52f66a88-ob63-4ad2-94a5-29d36e864b82/KeyWorldEnergyStatistics2021.pdf>
- International Energy Agency. (2023). Net zero emissions by 2050 scenario (NZE). En *Global energy and climate model*. <https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model/net-zero-emissions-by-2050-scenario-nze>
- Khayal, O. (2019). Main types and applications of biogas plants. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32559.69287>
- Konuszewska, I., Korzeniewska, E., Hamisz, M., & Czatzkowska, M. (2020). Intensification of biogas production using various technologies: A review. *International Journal of Energy Research*, 44(8), 6240–6258. <https://doi.org/10.1002/er.5338>
- Kougias, P. G., & Angelidaki, I. (2018). Biogas and its opportunities: A review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 12(3), Artículo 14. <https://doi.org/10.1007/s11783-018-1037-8>
- Maioli, A., Pulfer, J., & Mitjans, F. (2011). Generating electricity during peak hours in Asuncion, Paraguay, through anaerobic digestion of cultivated water hyacinths. *Ingeniería e Investigación*, 31(2), 66–70. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64322338010>
- Martín Leguizamón, M. A. (2020). Factibilidad para la construcción, comercialización y mantenimiento de biodigestores en el municipio de Solita, Caquetá. [Trabajo de grado, Universidad Externado de Colombia]. <https://bdigital.uexternado.edu.co/handle/001/3567>
- Ministerio de Minas y Energía. (2024, 2 de abril). Resolución 40117 de 2024: Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). *Diario Oficial No. 52.716*. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30051462>
- Parsaee, M., Kiani Deh Kiani, M., & Karimi, K. (2019). A review of biogas production from sugarcane vinasse. *Biomass and Bioenergy*, 122, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.034>
- Posso, F., (2002). Energía y ambiente: Pasado, presente y futuro. Parte dos: Sistema energético basado en energías alternativas. *Geoenseñanza*, 7(1–2), 54–73.
- Queiroz, R. de, Grassi, P., Lazzare, K., Koppe, E., Tartas, B. R., & Kemerich, P. D. da C. (2013). Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*,

REVISIÓN

Diagnóstico de fallas eléctricas en alumbrado público

Andrés Matiz^a, Daniel Silva^a y Sandra Rocío Forero^b

^a Estudiantes, Programa de Ingeniería, Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.

^b Jefe de Investigación, Escuela de Ciencias Administrativas, Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.

RESUMEN

El alumbrado público es esencial para la seguridad y la visibilidad en áreas urbanas, pero su eficacia se ve afectada por fallas que, sin una detección oportuna, incrementan los costos de mantenimiento y reducen su impacto en la seguridad. En Colombia, el monitoreo del alumbrado público aún es limitado, lo que impide una respuesta proactiva ante fallas y representa un reto para los municipios que buscan reducir el consumo energético y mejorar el servicio. Este trabajo analiza la viabilidad de un sistema de detección de fallas eléctricas en tiempo real para el alumbrado público, que permitiría optimizar el mantenimiento, reducir los costos operativos y contribuir a una gestión más sostenible del servicio. La implementación de tecnología avanzada y estrategias de monitoreo podría ofrecer una solución competitiva y escalable para las ciudades del país, alineada con iniciativas de eficiencia energética y sostenibilidad.

Palabras clave: eficiencia energética; prevención de accidentes; calidad de vida; desarrollo sostenible; alumbrado público.

Diagnosis of Electrical Faults in Public Lighting

ABSTRACT

Street lighting is essential for safety and visibility in urban areas, but its effectiveness is affected by failures that, without timely detection, increase maintenance costs and reduce its impact on safety. In Colombia, street lighting monitoring is still limited, which prevents a proactive response to failures and represents a challenge for municipalities seeking to reduce energy consumption and improve service. This work analyses the feasibility of a real-time electrical fault detection system for public lighting, which would optimize maintenance, reduce operating costs, and contribute to more sustainable service management. The implementation of advanced technology and monitoring strategies could offer a competitive and scalable solution for cities across the country, aligned with energy efficiency and sustainability initiatives.

Keywords: energy efficiency; accident prevention; quality of life; sustainable development; public lighting.

* Autor de correspondencia.
Correo electrónico:
sandraocioforero@yahoo.es

I. Introducción

El alumbrado público es un servicio no domiciliario cuyo objetivo es iluminar vías, parques y espacios municipales para facilitar actividades nocturnas y proporcionar seguridad a peatones y visibilidad a conductores. Sin embargo, este objetivo se ve afectado cuando el alumbrado empieza a fallar; por ello, para asegurar el correcto funcionamiento de las lámparas de alta intensidad, es necesario un plan de mantenimiento correctivo y preventivo que incluya la revisión y reparación periódica de todos los dispositivos del alumbrado exterior (Alarcón & Poveda, 2018). Las demandas energéticas representan un problema global que exige soluciones sostenibles, apoyadas por programas como el IEE (Intelligent Energy Europe) de la UE, con impacto positivo en la eficiencia energética (Delgado-Arroyo *et al.*, 2024).

Aunque en Colombia el monitoreo del alumbrado público es poco aplicado, resulta necesario para optimizar el mantenimiento y reducir costos operativos. Un enfoque innovador para esta problemática es crucial para el sector energético y las empresas de mantenimiento, con potencial para expandirse a nivel nacional (Martínez *et al.*, 2022). El alumbrado público es vital para la seguridad, pero su eficacia depende de un buen mantenimiento; en Colombia, la falta de monitoreo limita esa eficiencia.

El alumbrado público supone uno de los mayores gastos para las administraciones municipales, por su alto consumo energético y su funcionamiento ineficiente. Uno de los principales problemas es la falta de información sobre el estado actual de los sistemas, que permita conocer su consumo, costes, rendimiento, seguridad y cumplimiento de normativas (Silva Cala, 2017). Actualmente, las fallas se detectan de manera reactiva, atendiendo problemas solo tras reportes o inspecciones, lo que resulta ineficiente y costoso (Alarcón & Poveda, 2018). El gobierno colombiano promueve políticas que integran el ahorro energético con la sostenibilidad (Arévalo Morantes & Rubio Quevedo, 2017).

Por ello, en la gestión del alumbrado público es importante la aplicación progresiva de avances tecnológicos que permitan la detección y prevención de fallas (ODIR Certificaciones, 2025). Por ejemplo, Huawei ofrece una solución de iluminación conectada que reduce hasta un 80 % el consumo mediante LED y sensores inteligentes, y su plataforma IPv6 permite expandir el soporte a aplicaciones en redes a gran escala (Alcaldía de Bogotá, 2022). En el municipio de Moa, la introducción de un sistema de gestión de mantenimiento con SIG permitió mejor planificación, reducción de fallas y ahorro económico (Pacific Institute, 2005).

Se propone el desarrollo de un detector de fallas eléctricas para el alumbrado público que detecte y reporte automáticamente la falla en tiempo real, mejorando la respuesta de mantenimiento y la seguridad comunitaria. Proyectos similares, como el de Riobamba (Ecuador), ya utilizan redes de sensores para este propósito (Prieto, 2018), y el prototipo de la Universidad Autónoma de Bucaramanga demuestra la viabilidad de diseñar soluciones efectivas para la supervisión y el mantenimiento de luminarias (Sierra *et al.*, 2013). Evaluada por su impacto económico, la iluminación LED

ofrece altos ahorros energéticos, bajos costos de mantenimiento y durabilidad (Alcaldía de Medellín, 2025), además de ventajas ambientales en reciclaje y mantenimiento, como se demostró en la vía Cota-Siberia (Chowdhury *et al.*, 2025).

La gestión con sistemas como SimplySnap en Ecuador ha mostrado resultados positivos, con una reducción de potencia del 25 % mediante red Wi-Fi (Khemakhem & Krichen, 2024). En Colombia se han hecho progresos: un sistema embebido con módulo Ethernet y protocolo TCP/IP permite monitorear luminarias y generar alertas a través de una interfaz web (Huang *et al.*, 2014). En Tocancipá se encontró que un sistema de telegestión es la mejor solución para mejorar el tiempo de respuesta (Chen, 2018), y en Landázuri (Santander) se propuso georeferenciación, diseño en AutoCAD y simulación con DIALux para cumplir el reglamento RETILAP (Bhosale *et al.*, 2017).

El gran desafío de los municipios es la preservación y el seguimiento de indicadores de desempeño de la red de alumbrado (Carli *et al.*, 2018). El crecimiento de la población exige infraestructuras inteligentes para una vida sostenible, y la proliferación de áreas urbanas ha aumentado la demanda energética del alumbrado (Dimitrakis *et al.*, 2025). Un detector de fallas permitiría la identificación y el reporte automáticos y en tiempo real de las deficiencias, con una respuesta más rápida de los equipos de mantenimiento. La propuesta debe cumplir además las normativas vigentes sobre niveles de voltaje y reducción de pérdidas técnicas y no técnicas (Nur, 2025).

Por tal motivo, el objetivo de este artículo es realizar el diseño conceptual de un sistema de detección de fallas eléctricas en alumbrado público que permita el monitoreo en tiempo real y el reporte automático de fallas a la oficina de mantenimiento, mejorando la seguridad comunitaria y optimizando el mantenimiento preventivo y correctivo.

II. Marco de referencia

El alumbrado público facilita la visibilidad para conductores y la seguridad de peatones en espacios públicos, especialmente de noche. Como señalan Solórzano (2017), su funcionamiento adecuado depende de un mantenimiento constante, preventivo y correctivo (Alarcón & Poveda, 2018). En Colombia, el monitoreo es poco extendido, lo que limita la capacidad de optimizar el mantenimiento; la mayoría se realiza de forma reactiva, solo cuando las fallas ya han sido reportadas, lo que genera demoras y mayores costos (Alarcón & Poveda, 2018). La falta de información adecuada sobre consumo, costos y rendimiento limita la posibilidad de aplicar mejoras (Silva Cala, 2017).

La tecnología de Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas embebidos han abierto nuevas posibilidades. En Riobamba (Ecuador) se emplean redes de sensores para monitorear el estado de las luminarias, con alertas automáticas ante fallas (Prieto, 2018). La telegestión, como en Tocancipá, reduce el tiempo de respuesta y los costos operativos (Chen, 2018). El uso de luminarias LED y sistemas de control inteligentes permite ahorro energético y reducción de la huella de carbono; en la vía Cota-Siberia las LED resultaron beneficiosas por su bajo consumo y su

reciclaje (Chowdhury *et al.*, 2025). Un modelo sostenible debe integrar el ahorro energético con la reducción de emisiones para contribuir a las ciudades inteligentes (Carli *et al.*, 2018). La incorporación de sistemas inteligentes de monitoreo mejora, además, la percepción de seguridad en los espacios públicos (Dimitrakis *et al.*, 2025), reduce costos de mantenimiento y prolonga la vida útil de los equipos (Alcaldía de Bogotá, 2022).

III. Metodología

La metodología se estructuró en dos etapas complementarias. En primer lugar, se realizó un análisis bibliográfico sistemático del estado del arte en la gestión inteligente del alumbrado público, consultando bases de datos especializadas como IEEE Xplore y Scopus con términos clave como «detección de fallas en alumbrado público», «IoT» y «mantenimiento predictivo». La revisión se centró en publicaciones de los últimos cinco años, en normativas técnicas como el RETILAP (Bhosale *et al.*, 2017) y en estudios de caso relevantes en Latinoamérica (Khemakhem & Krichen, 2024; Prieto, 2018).

Posteriormente, el estudio se centró en un análisis de caso en el barrio Villa Bolívar de Villavicencio (Cra. 39 n.º 5C-11), para diagnosticar las limitaciones del sistema actual. El diagnóstico se basó en la observación directa de las fallas recurrentes y en el análisis de los reportes históricos del sistema municipal Alborada, que depende de la notificación ciudadana. La integración de los hallazgos teóricos con el diagnóstico local permitió definir los requisitos del diseño de un prototipo de detección automática, priorizando la medición de parámetros eléctricos, el uso de protocolos de comunicación accesibles y la generación de alertas que complementen el sistema de gestión existente.

IV. Análisis y resultados

El alumbrado público es un servicio fundamental para la seguridad ciudadana, la movilidad nocturna y la calidad de vida (Solórzano Jaramillo, 2017). Su eficacia depende de una operación continua y confiable; la falta de mantenimiento oportuno degrada el servicio y erosiona la confianza en la gestión pública (Alarcón & Poveda, 2018). Este problema se agudiza bajo un modelo reactivo, en el que las intervenciones solo ocurren tras el reporte de una falla ya consumada. El diagnóstico del caso de Villa Bolívar revela que este paradigma es predominante y conlleva ineficiencias operativas y económicas significativas.

En el área de estudio, la práctica más común es el mantenimiento reactivo (Alarcón & Poveda, 2018): la reparación de una luminaria solo se ejecuta tras el reporte ciudadano o una inspección rutinaria. Esto genera periodos de oscuridad prolongados y resulta ineficiente en logística y costos, al impedir la optimización de rutas (Silva Cala, 2017). El sistema Alborada canaliza las quejas, pero no resuelve la raíz del problema: la dependencia de la iniciativa del ciudadano introduce una latencia inherente e impide una visión integral y en tiempo real de la red.

La consecuencia es una gestión opaca y de alto costo: las administraciones carecen de información sistemática

sobre el estado operativo de cada luminaria, su consumo real y su vida útil remanente, lo que limita la planificación de intervenciones preventivas (Silva Cala, 2017). En Villa Bolívar, esto se traduce en fallas recurrentes percibidas como abandono, un problema que trasciende lo técnico para convertirse en un asunto de gobernanza y bienestar social.

Frente a este escenario, la gestión inteligente del alumbrado se erige como una necesidad estratégica. La tendencia global apunta a sistemas de monitoreo en tiempo real que registran y transmiten datos de cada luminaria, detectando apagados, fluctuaciones de voltaje o consumos anómalos. En Riobamba, una red de sensores optimizó los recursos de mantenimiento y redujo costos (Prieto, 2018). La telegestión permite también el control operativo: SimplySnap logró reducciones de hasta el 25 % del consumo mediante ajuste remoto de la intensidad (Khemakhem & Krichen, 2024). En Colombia, un sistema embebido con módulo Ethernet y protocolo TCP/IP permite monitorear luminarias y generar alertas web (Huang *et al.*, 2014), lo que confirma la viabilidad técnica.

La transición hacia la iluminación LED es el otro pilar de una gestión eficiente y sostenible. Un estudio de la Universidad Autónoma de Bucaramanga resalta que la combinación de LED con monitoreo inteligente reduce el consumo, disminuye costos y prolonga la vida útil (Sierra *et al.*, 2013). Su naturaleza digital las hace más compatibles con sistemas de control y detección de fallas, con beneficios tangibles en corredores como la vía Cota-Siberia (Chowdhury *et al.*, 2025). La implementación debe enmarcarse en el RETILAP (Bhosale *et al.*, 2017), que establece los parámetros obligatorios de iluminación, uniformidad y eficiencia; un sistema de detección de fallas puede ser una herramienta para garantizar su cumplimiento continuo al verificar voltaje y corriente.

La integración en Villa Bolívar requiere un diseño que considere las particularidades locales. La arquitectura debe partir de componentes probados: sensores de corriente y voltaje acoplados a cada luminaria, un microcontrolador con capacidad de diagnóstico básico y un módulo de comunicación inalámbrica (Wi-Fi o LPWAN), apoyándose en experiencias como el sistema embebido con protocolo TCP/IP (Huang *et al.*, 2014). La clave es que el dispositivo no actuaría de forma aislada, sino integrado con el sistema Alborada: en lugar de reemplazarlo, lo potenciaría con alertas automáticas y precisas, creando un flujo de información dual —la percepción ciudadana y la telemetría objetiva— que permitiría una priorización más inteligente de las órdenes de trabajo.

Los beneficios esperados son multifacéticos. En lo operativo, al conocer la falla y su naturaleza en tiempo real, los equipos se desplazan con el personal y los repuestos adecuados, reduciendo visitas múltiples y costos (Chen, 2018). En lo energético, el sistema promueve la eficiencia y, en una etapa futura, habilita estrategias de atenuación basadas en datos reales, siguiendo el modelo de SimplySnap (Khemakhem & Krichen, 2024). En seguridad y gobernanza, una red confiable fortalece la percepción de seguridad, disuade la delincuencia (Dimitrakis *et al.*, 2025) y genera datos históricos para una planeación presupuestal basada en evidencia.

V. Conclusiones

La gestión eficiente del alumbrado público es un pilar de la seguridad ciudadana, el bienestar comunitario y el desarrollo urbano sostenible. El análisis del caso de Villa Bolívar demuestra que el modelo de mantenimiento reactivo vigente, dependiente de reportes ciudadanos a través de sistemas como Alborada, es intrínsecamente ineficiente: genera latencias, elevados costos y periodos de inseguridad. La implementación de un sistema de detección de fallas con monitoreo y reporte en tiempo real se configura como una transformación estratégica necesaria para migrar de una gestión reactiva a una preventiva y predictiva.

Los hallazgos confirman la viabilidad técnica de la propuesta: la sensórica IoT, los protocolos de comunicación inalámbrica y las plataformas de telegestión, validadas en experiencias internacionales y nacionales (Huang *et al.*, 2014; Khemakhem & Krichen, 2024; Prieto, 2018), proporcionan los componentes para un diseño robusto y adaptable. La integración del detector con el sistema Alborada permitiría reducir los tiempos de respuesta, planificar la logística del personal y generar un historial de datos para el análisis predictivo, en línea con el RETILAP (Bhosale *et al.*, 2017).

En resumen, este estudio proporciona un diseño conceptual para un sistema automatizado de detección de fallas en el alumbrado público. Su aplicación piloto en un punto crítico como la Cra. 39 n.º 5c-11 representaría un avance concreto hacia la modernización de la gestión pública local, con beneficios en la seguridad percibida, la transparencia y la resiliencia urbana. Se recomienda avanzar hacia la fase de prototipado e implementación, como un modelo replicable escalable a otras zonas de Villavicencio y a municipios con desafíos similares.

Tipo de artículo

Artículo de investigación (diseño conceptual).

Procedencia

Producto de investigación del programa de Ingeniería, UNIMETA.

Financiación

Sin financiación externa.

Referencias

- Alarcón, A., & Poveda, M. (2018). *Análisis del potencial de eficiencia energética en iluminación pública: el caso de municipios pequeños y medianos de Brasil* (Nota Técnica BID-1574). Banco Interamericano de Desarrollo.
- Alcaldía de Bogotá. (2022). *Distrito podrá detectar y arreglar fallas en alumbrado público de manera remota*. Portal Noticias Bogotá. <https://bogota.gov.co>
- Alcaldía de Medellín. (2025). *Medellín ya tiene 2.218 luminarias inteligentes en su alumbrado público y avanza hacia una Smart City*. Sala de Prensa.
- Arévalo Morantes, Y. M., & Rubio Quevedo, Y. K. (2017). *Contaminación por alumbrado público en la vía Cota-Siberia* [Informe, Universidad La Gran Colombia].
- Bhosale, S., Gaware, K., Phalke, P., Wadekar, D., & Ahire, P. (2017). IoT based dynamic control of street lights for smart city. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4, 1181–1183.
- Carli, R., Dotoli, M., & Pellegrino, R. (2018). A decision-making tool for energy efficiency optimization of street lighting. *Computers & Operations Research*, 96, 223.
- Chen, S. (2018). The smart street lighting system based on NB-IoT. En *Chinese Automation Congress (CAC)* (pp. 1196–1200).
- Chowdhury, C., Hasan, M., Aziz, T., & Rahman, M. (2025). Centralized monitoring system for faulty street light detection and location tracking. *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*, 11(2), 1940–1949.
- Delgado-Arroyo, L., Abadía-Hurtado, Y., & Mena-González, K. Y. (2024). Prototipo de lámpara de iluminación de espacios públicos, alimentado por energía solar fotovoltaica, bajo la metodología IoT. *Ingenierías USBMed*, 15(2), 11–18.
- Dimitrakis, A., Konstantinou, E., & Georgakopoulos, S. (2025). A new approach to street lighting design through LED technology and optical system optimization. En *Lighting Conference* (pp. 1–6).
- Huang, Z., Yuan, F., & Li, Y. (2014). Implementation of IPv6 over low-power wireless personal area network based on wireless sensor network in smart lighting. *Journal of Computer Applications*, 34(10), 3029–3033.
- Khemakhem, S., & Krichen, L. (2024). A comprehensive survey on an IoT-based smart public street lighting system for smart cities. *Franklin Open*, 8, Artículo 100142.
- Martínez, F., Ruiz, F., Barrazaeta, G., & Lozada, P. (2022). Red de sensores inalámbricos para la supervisión y control en tiempo real de fallas en luminarias del alumbrado público. *Revista Perspectivas*, 4(1), 1–10.
- Nur, A. (2025). IoT and LED-based approach in smart street lighting: A review. *Electrical Engineering & Energy*, 4(3), 178–188.
- ODIR Certificaciones. (2025). *Todo lo que debes saber sobre el RETILAP en Colombia*. <http://odir.vivandeluz.com>
- Pacific Institute. (2005). *Taking into account the importance: Public lighting and community safety*.
- Prieto, M. (2018). *Estudio sobre la iluminación pública y su incidencia en el crimen de Nueva York* [Entrada de blog]. Smart Lighting.
- Sierra, C., Sanz Ciria, R., González-Benítez, M., & García-Cascales, M. (2013). GPS based measured system for urban lighting. En *17th International Congress on Project Management & Engineering*. Logroño, España.
- Silva Cala, Y. S. (2017). *Gestión de mantenimiento de alumbrado público utilizando sistemas de información geográficos (SIG)* [Tesis de maestría, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa].
- Solórzano Jaramillo, C. R. (2017). *Evaluación del programa de mantenimiento preventivo de alumbrado público del cantón Cuenca de la Empresa Regional CENTROSUR C.A.* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca].

REVISIÓN

Desarrollo de una plataforma interactiva para simular y analizar redes eléctricas de distribución

Juan Diego Guzmán Masso^a, Ronny Steven Gutiérrez Rodríguez^a,
Michael Smith Ramírez Ortiz^a, Sandra Rocío Forero^a

^a Estudiantes, Programa de Ingeniería, Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.

^b Jefe de Investigación, Escuela de Ciencias Administrativas, Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.

RESUMEN

Este artículo describe el desarrollo de una plataforma interactiva orientada a la simulación y visualización de redes eléctricas de distribución, concebida como herramienta pedagógica para apoyar la formación de estudiantes de ingeniería eléctrica. A partir de un análisis bibliográfico sistemático sobre simulación de sistemas eléctricos, laboratorios virtuales y enfoques constructivistas, se identificaron limitaciones recurrentes de las plataformas existentes en costos, accesibilidad y complejidad de uso. Con base en estos hallazgos, se diseñó una plataforma que integra un entorno visual tridimensional para representar de forma intuitiva los principales componentes de las redes de distribución (líneas, transformadores, subestaciones y fuentes de generación distribuida). El desarrollo incluyó una biblioteca de modelos 3D optimizados y escenarios urbanos simulados que facilitan la comprensión de la relación entre infraestructura eléctrica y territorio. La propuesta constituye una alternativa viable y accesible para fortalecer la enseñanza en ingeniería eléctrica, y puede ampliarse en futuras investigaciones para incorporar análisis cuantitativos y validaciones educativas más robustas.

Palabras clave: redes eléctricas de distribución; simulación interactiva; plataformas educativas; modelo tridimensional; aprendizaje constructivista.

Development of an Interactive Platform to Simulate and Analyze Electrical Distribution Networks

ABSTRACT

This article presents the development of an interactive platform aimed at the simulation and visualization of electrical distribution networks, conceived as a pedagogical tool to support the education of electrical engineering students. Based on a systematic literature review on power system simulation, virtual laboratories, and constructivist learning approaches, recurrent limitations in existing platforms were identified, particularly in terms of cost, accessibility, and operational complexity. Drawing on these findings, a platform was designed that integrates a three-dimensional visual environment, enabling an intuitive representation of the main components of distribution networks. The development process included the creation of an optimized library of 3D models and the configuration of simulated urban scenarios. The proposed platform represents a viable and accessible alternative for strengthening teaching and learning in electrical engineering, and can be extended in future work to incorporate quantitative analyses and more robust educational validation.

Keywords: electrical distribution networks; interactive simulation; educational platforms; three-dimensional modeling; constructivist learning.

* Autor de correspondencia.
Correo electrónico:
sandrarocioforero@yahoo.es

I. Introducción

La electricidad es un pilar fundamental para el desarrollo y funcionamiento de la sociedad moderna, indispensable para el bienestar, la productividad industrial y la provisión de servicios esenciales (Flavin & Lenssen, 1994). En este contexto, las redes de distribución desempeñan un papel crítico, pues transportan la energía desde las centrales generadoras hasta los puntos finales de consumo (ScienceDirect Topics, 2018). La eficiencia, confiabilidad y resiliencia de estas redes son cruciales, dado que cualquier fallo puede generar impactos significativos en la economía y la vida cotidiana (Macmillan *et al.*, 2023).

Estas redes comprenden una infraestructura compleja de líneas, transformadores, subestaciones y sistemas de protección, con topologías frecuentemente radiales o en anillo (Prakash *et al.*, 2016). Para analizar y optimizar su comportamiento se han desarrollado diversas plataformas de simulación (Ringkjøb *et al.*, 2018), pero muchas presentan limitaciones en accesibilidad, costo y complejidad de uso, lo que dificulta su adopción en entornos educativos (De-Jesús-Grullón *et al.*, 2024). Una barrera principal es el alto nivel de especialización técnica requerido, que limita su utilidad pedagógica (Bottaccioli *et al.*, 2018), y muchas carecen de funcionalidades para simular escenarios contemporáneos como la generación distribuida o la respuesta ante eventos extremos (González *et al.*, 2017; Hariri *et al.*, 2017).

Ante esta problemática, este artículo presenta el desarrollo de una plataforma interactiva de simulación para redes de distribución, diseñada para ser más accesible, intuitiva y pedagógicamente efectiva. La plataforma integra un entorno visual interactivo que facilita la comprensión de conceptos técnicos complejos mediante la experimentación práctica, apoyándose en principios de aprendizaje constructivista (Negahban, 2024), e incorpora la capacidad de simular escenarios avanzados alineados con las redes inteligentes (Smart Grids) y la normativa vigente, como el RETIE y la norma IEEE 1584 (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2004).

El objetivo principal es proporcionar una herramienta eficaz que contribuya a cerrar la brecha formativa en ingeniería eléctrica, permitiendo a estudiantes y profesionales analizar el comportamiento de las redes de distribución en un entorno virtual seguro y representativo. El artículo se organiza en metodología (Sección II), fundamentación del desarrollo (Sección III), resultados (Sección IV) y conclusiones (Sección V).

II. Metodología

La metodología se estructuró en dos fases complementarias. La primera consistió en un análisis bibliográfico sistemático y comparativo de las plataformas de simulación existentes, evaluando su efectividad, limitaciones, costos y características (De-Jesús-Grullón *et al.*, 2024; Ringkjøb *et al.*, 2018), lo que permitió identificar las brechas críticas —en particular la complejidad de uso y la elevada especialización técnica— que dificultan la formación de nuevos ingenieros (Bottaccioli *et al.*, 2018). Esta revisión aportó el fundamento teórico del diseño, confirmando la importancia de interfaces interactivas

y accesibles (Jain *et al.*, 2020; Kolari & Savander-Ranne, 2004).

La segunda fase se concentró en el diseño y la implementación de la plataforma, con un enfoque centrado en el usuario. Para materializar visualmente los componentes de la red y superar la abstracción de los diagramas unifilares, se empleó modelado y renderizado 3D con el software Blender, con el que se creó una biblioteca de activos digitales optimizados (transformadores, postes, líneas) (Antoncic *et al.*, 2019). El desarrollo siguió una metodología ágil de iteraciones rápidas. Para la validación se planearon pruebas de rendimiento cuantitativas y una evaluación de efectividad educativa.

Se aclara que, en la etapa reportada en este artículo, la plataforma alcanzó el nivel de prototipo funcional con su biblioteca de modelos y escenarios; las pruebas de rendimiento y la validación educativa quedan planeadas como trabajo futuro.

III. Fundamentación del desarrollo

La efectividad de estas herramientas no radica únicamente en su capacidad de cálculo, sino en integrar el rigor de la ingeniería eléctrica con interfaces que promuevan la experimentación activa y la exploración autónoma (Jain *et al.*, 2020). La visualización interactiva de fenómenos técnicos mejora la comprensión de conceptos abstractos (Kolari & Savander-Ranne, 2004): la representación gráfica de líneas, campos eléctricos y flujos de potencia facilita una comprensión intuitiva que los métodos basados en ecuaciones o diagramas unifilares no logran con la misma eficacia. El éxito de una herramienta educativa depende, así, del equilibrio entre precisión técnica y accesibilidad pedagógica (Kolari & Savander-Ranne, 2004).

Este enfoque se alinea con la teoría del aprendizaje constructivista, según la cual el conocimiento se construye activamente mediante la experiencia y la resolución de problemas (Serafín *et al.*, 2015). Una plataforma de simulación permite al estudiante manipular variables, cometer errores sin riesgo y recibir retroalimentación inmediata; este ciclo de acción-observación-reflexión es esencial para una comprensión profunda de los principios que gobiernan las redes de distribución.

Desde la ingeniería eléctrica, el núcleo funcional es la simulación de redes: replicar su comportamiento en un entorno virtual para analizar el rendimiento bajo diversas condiciones (Antoncic *et al.*, 2019), modelando los componentes fundamentales y principios como el flujo de potencia (Olauson *et al.*, 2020). La utilidad aumenta cuando las simulaciones son interactivas y en tiempo real (Quirós-Tortós *et al.*, 2017). La evolución hacia sistemas descentralizados y sostenibles exige incorporar modelos de generación distribuida y evaluar el comportamiento de redes inteligentes (Lazarou *et al.*, 2013), fundamentales para la transición energética. Complementariamente, la eficiencia energética emerge como criterio indispensable (Martínez-Velasco & Guerra, 2016), al permitir cuantificar y visualizar las pérdidas técnicas de distintas configuraciones.

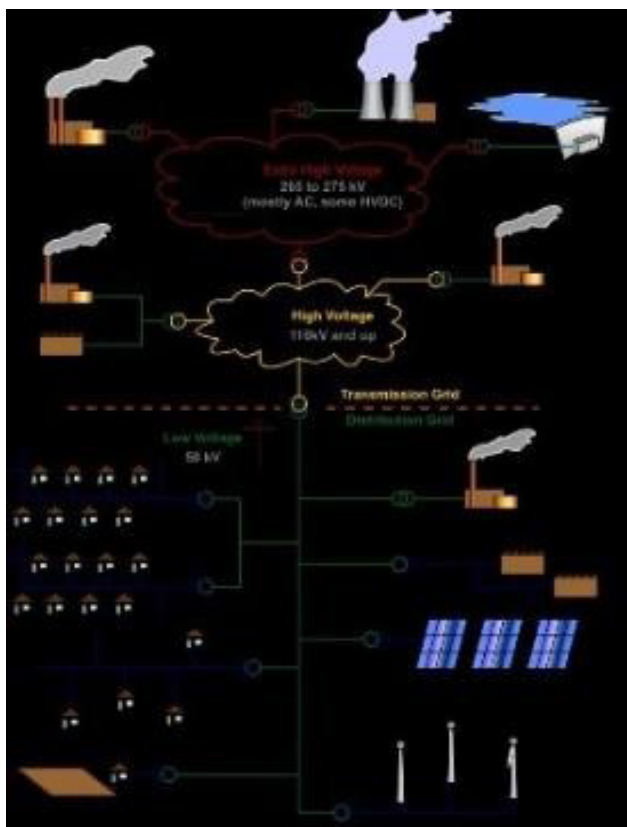
La plataforma está destinada principalmente a estudiantes de ingeniería eléctrica de la UNIMETA, un contexto donde la accesibilidad y la pertinencia local son

prioritarias, por lo que debe operar en la infraestructura de los laboratorios universitarios y ofrecer una curva de aprendizaje suave. Para educar en prácticas profesionales rigurosas, el desarrollo se alineó con marcos normativos como el RETIE y la norma IEEE 1584 para el análisis de cortocircuitos (IEEE, 2018), asegurando que los modelos reflejen estándares técnicos y de seguridad reconocidos.

IV. Resultados

El principal resultado es la materialización de una plataforma interactiva para la simulación de redes de distribución que integra criterios técnicos, pedagógicos y normativos. La arquitectura conceptual del sistema eléctrico simulado (Fig. 1) sintetiza la relación funcional entre generación, transmisión, distribución y consumo, e identifica los flujos de energía desde fuentes centralizadas y distribuidas hasta las cargas finales.

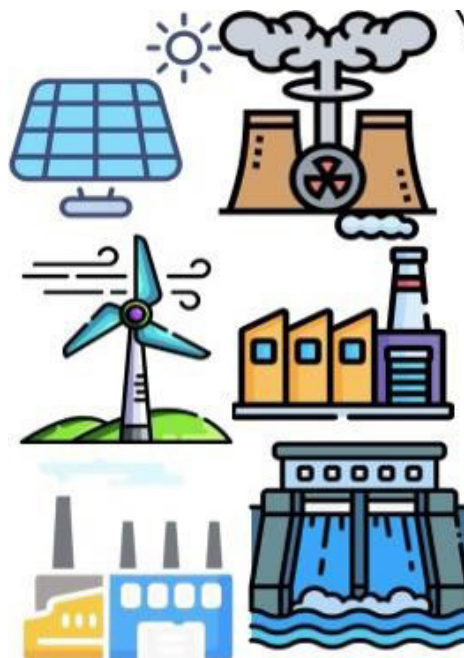
Figura 1. Arquitectura conceptual del sistema eléctrico simulado.



Fuente: elaboración propia.

La representación conceptual de las tipologías de generación (Fig. 2) incluye fuentes convencionales y renovables, lo que refleja la capacidad de la plataforma para diferenciar múltiples tecnologías, fundamental para el análisis de escenarios de transición energética.

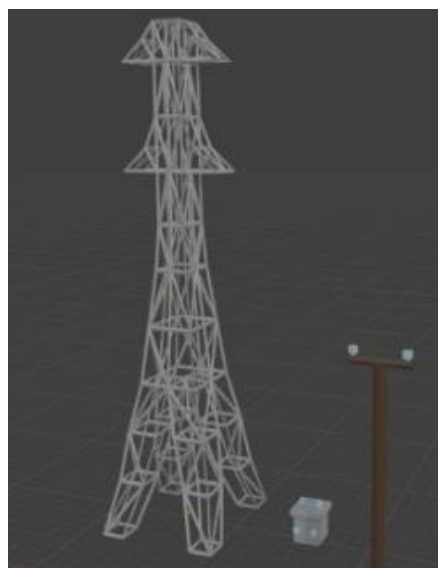
Figura 2. Representación conceptual de fuentes de generación eléctrica.



Fuente: elaboración propia.

El modelo tridimensional de infraestructura de transmisión (Fig. 3) evidencia la viabilidad de representar elementos estructurales complejos —torres y postes— mediante geometría simplificada que mantiene la reconocibilidad técnica sin comprometer el rendimiento computacional.

Fig. 3. Modelo tridimensional de infraestructura de transmisión eléctrica.



Fuente: elaboración propia.

La capacidad de incorporar generación distribuida se evidencia en el modelo de un aerogenerador integrado al entorno de red (Fig. 4), que permite explorar escenarios propios de las redes inteligentes, como la inyección local de potencia y su influencia en la estabilidad del sistema.

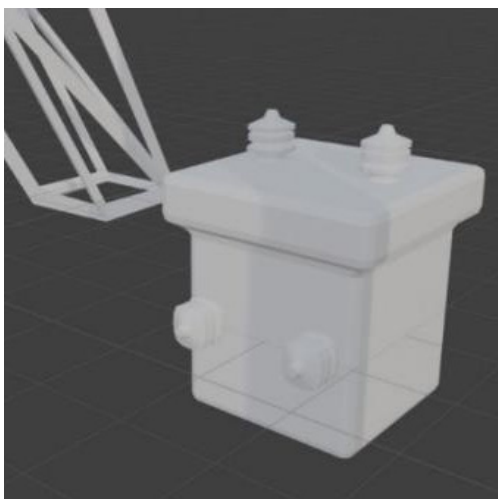
Figura 4. Modelo tridimensional de aerogenerador integrado a la red.



Fuente: elaboración propia.

El modelo del transformador de distribución (Fig. 5), componente crítico para la reducción de tensión, ilustra la biblioteca de activos digitales, con un nivel de detalle suficiente para el reconocimiento técnico y una geometría optimizada para la interacción en tiempo real.

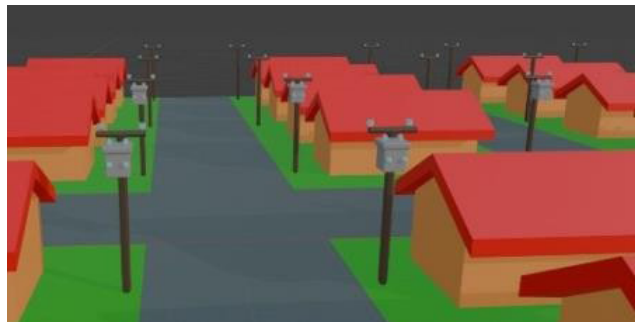
Figura 5. Modelo tridimensional de transformador de distribución.



Fuente: elaboración propia.

La integración de los componentes en un entorno funcional se evidencia en el escenario urbano de red de distribución residencial a nivel de calle (Fig. 6), que articula viviendas, postes, transformadores y trazado vial, demostrando que la plataforma trasciende el modelado aislado y ofrece un entorno integral para analizar configuraciones reales de baja tensión.

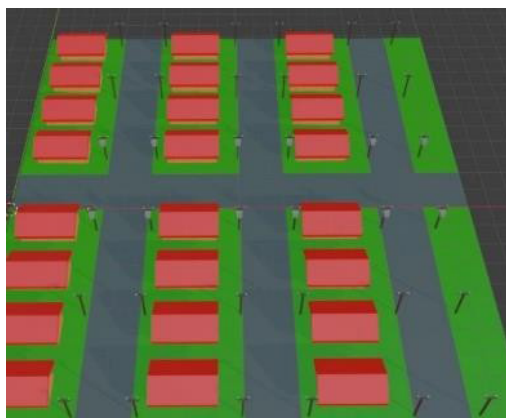
Figura 6. Escenario urbano simulado de red de distribución residencial.



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, la vista superior de un escenario urbano de mayor densidad (Fig. 7) evidencia la capacidad de escalar la simulación a configuraciones más complejas y facilita la comprensión global de la topología de la red, complementando las vistas a nivel de calle.

Figura 7. Escenario urbano simulado de red de distribución.



Fuente: elaboración propia.

En conjunto, los resultados demuestran que la plataforma ofrece una representación visual clara, técnica y pedagógicamente efectiva de las redes de distribución. La progresión desde esquemas conceptuales hasta escenarios urbanos integrados evidencia un desarrollo coherente, alineado con los principios constructivistas y con los requerimientos técnicos del sector, y sienta las bases para su validación educativa y su ampliación futura.

V. Conclusiones

El desarrollo de la plataforma interactiva evidencia su potencial como herramienta para apoyar la enseñanza y el aprendizaje en ingeniería eléctrica. La investigación

permitió identificar de manera sistemática las principales limitaciones de las plataformas de simulación disponibles —altos costos, complejidad operativa y barreras de accesibilidad—, diagnóstico que fundamentó el diseño de una solución más asequible, intuitiva y alineada con las necesidades pedagógicas del contexto académico.

El diseño logró integrar una interfaz intuitiva con funciones de visualización y simulación que facilitan la interacción activa del usuario y favorecen la comprensión del comportamiento de las redes de distribución. Esta combinación de accesibilidad, claridad visual y coherencia técnica posiciona la herramienta como una alternativa viable frente a las soluciones existentes.

Como líneas de trabajo futuras se plantean las pruebas de rendimiento cuantitativas del prototipo y una validación educativa con estudiantes —con grupos de comparación e instrumentos de medición del aprendizaje— que permita cuantificar el aporte real de la plataforma, así como la incorporación de análisis cuantitativos de flujo de potencia y de pérdidas técnicas.

Tipo de artículo

Artículo de investigación.

Procedencia

Producto de investigación del programa de Ingeniería, UNIMETA.

Financiación

Sin financiación externa.

Referencias

- Antončić, M., Mikec, M., & Blažič, B. (2019). Development of distribution network model in OpenDSS using MATLAB and GIS data. En *7th International Youth Conference on Energy (IYCE)* (pp. 1–6).
- Bottaccioli, L., Patti, E., Macii, E., & Acquaviva, A. (2018). GIS-based software infrastructure to model PV generation in fine-grained spatio-temporal domain. *IEEE Systems Journal*, 12(3), 2832–2841.
- De-Jesús-Grullón, R. E., et al. (2024). Modeling and simulation of distribution networks with high renewable penetration in open-source software: QGIS and OpenDSS. *Energies*, 17(12), Artículo 2925.
- Flavin, C., & Lenssen, N. (1994). Powering the future toward a sustainable electricity industry. *Solar Today*, 8(5), 26–28.
- González, R., et al. (2017). OpenDSS-based distribution network analyzer in open source GIS environment. En *IEEE PES T&D Conference & Exposition Latin America* (pp. 1–5).
- Hariri, A., Newaz, A., & Faruque, M. O. (2017). Open-source Python–OpenDSS interface for hybrid simulation of PV impact studies. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 11(12), 3125–3133.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE]. (2018). *IEEE guide for performing arc-flash hazard calculations* (IEEE Std 1584-2018).
- Jain, A. K., et al. (2020). Dynamic hosting capacity analysis for distributed photovoltaic resources: Framework and case study. *Applied Energy*, 280, Artículo 115633.
- Kolari, S., & Savander-Ranne, C. (2004). Visualisation promotes apprehension and comprehension. *International Journal of Engineering Education*, 20(3), 484–493.
- Lazarou, S., Vita, V., Karampelas, P., & Ekonomou, L. (2013). A power system simulation platform for planning and evaluating distributed generation systems based on GIS. *Energy Systems*, 4(3), 379–391.
- Macmillan, M., et al. (2023). Shedding light on the economic costs of long-duration power outages: A review. *Energy Research & Social Science*, 99, Artículo 103055.
- Martínez-Velasco, J., & Guerra, G. (2016). Reliability analysis of distribution systems with photovoltaic generation using a power flow simulator and a parallel Monte Carlo approach. *Energies*, 9(7), Artículo 537.
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2004). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)* (Resolución n.º 180398 de 2004).
- Negahban, A. (2024). Simulation in engineering education: The transition from physical experimentation to digital immersive simulated environments. *SIMULATION*, 100(7), 695–708.
- Olauson, J., Marin, M., & Söder, L. (2020). Creating power system network layouts: A fast parallel algorithm. *IEEE Systems Journal*, 14(3), 3687–3694.
- Prakash, K., Lallu, A., Islam, F. R., & Mamun, K. A. (2016). Review of power system distribution network architecture. En *3rd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering* (pp. 1–5).
- Quirós-Tortós, J., et al. (2017). Geo-information is power: Using GIS to assess rooftop photovoltaics in Costa Rica. *IEEE Power & Energy Magazine*, 15(4), 48–56.
- Ringkjøb, H.-K., Haugan, P., & Solbrekke, I. (2018). A review of modelling tools for energy and electricity systems with large shares of variable renewables. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 440–459.
- ScienceDirect Topics. (2018). Energy distribution systems: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96.
- Serafín, Č., Dostál, J., & Havelka, M. (2015). Inquiry-based instruction in the context of constructivism. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*, 186, 592–599.

REVISIÓN

Realidad crematística de la ciudad colombiana y riesgos de colapso

Cristian-Julián Díaz-Álvarez^a, Liz Paola Romero Sanjuán^b, Maribel Sanabria^c, Laura Zulaica^d.

^a Profesor investigador de Arquitectura e Ingeniería, Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA; Director de Investigaciones, Proyecto Axioma. 

^b Coordinadora del Programa de Maestría en Desarrollo Urbano Sostenible, Universidad del Atlántico. 

^c Profesora, Escuela de Arquitectura, Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. 

^d Profesora, Escuela de Arquitectura, Universidad Nacional de Mar del Plata. 

RESUMEN

Las capitales de departamento en Colombia son las principales economías en sus respectivas circunscripciones regionales, pero la generación de riqueza no se ve reflejada en la mejora en la calidad de vida de la mayoría de sus habitantes, toda vez que el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) para nueve de las diez ciudades analizadas se ubica en los dos dígitos, mientras que las Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) aún persisten hasta en la capital del país. Realidad que, aunada a la intermitencia en la prestación de los servicios públicos y la vulnerabilidad a desastres naturales, demuestra la reproducción urbana de la pobreza y la tendencia al colapso por causa del incremento de los consumos de masa, energía e información en escenarios de variabilidad y cambio climático.

Palabras clave: ciudad; competitividad; sostenibilidad ambiental; riesgo.

Chrematistic Reality of the Colombian City and Risks of Collapse

ABSTRACT

Although Colombia's departmental capital cities are the leading economies in their respective regions, the wealth generation is not reflected in the quality-of-life improvement of most of their citizens: the Multidimensional Poverty Index (MPI) for nine of the ten cities analyzed is in double digits, while Unsatisfied Basic Needs persist even in the country's capital. This urban reality, added to the intermittency in the provision of public services and vulnerability to natural disasters, demonstrates the urban reproduction of poverty and the tendency toward collapse due to the increase in the consumption of mass, energy, and information in scenarios of climate variability and change.

Keywords: city; competitiveness; sustainability; risk.

* Autor de correspondencia.
Correo electrónico:
cjdiaz@unal.edu.co

I. En el filo de la oportunidad y el espejismo del crecimiento

Desde finales del siglo XX se ha advertido sobre la inexorable convergencia de la actividad humana en las ciudades y el agudo cambio suscitado en las dinámicas sociales, políticas, económicas, culturales y ambientales en su interior y en los sistemas aledaños y soporte; así como la exacerbada reproducción de la pobreza, el crecimiento de los cinturones de miseria y el aumento de diversos problemas ambientales (Díaz-Álvarez, 2012a; Díaz-Álvarez & León, 2012; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2021; Sánchez-Rodríguez, 2008; United Nations, 2000; United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2008; United Nations Human Settlements Programme, 2011).

Esta concentración humana en paisajes artificiales, si bien se percibía como una posibilidad para coadyuvar al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y al crecimiento económico de un país (Martine *et al.*, 2008; Tacoli *et al.*, 2008; United Nations Sustainable Development Solutions Network, 2017), en la mayoría de los casos se ha convertido en un trágico espejismo (Díaz-Álvarez, 2020).

Se trata de un imaginario de crecimiento económico como vía para el progreso continuo o como salida de la pobreza que provoca burbujas inmobiliarias con sus subsecuentes repercusiones financieras y económicas, que empuja exponencialmente la producción y el consumo de alimentos, la utilización de recursos, los requerimientos energéticos y la generación de desechos, a la vez que provoca inequidades (Blesch *et al.*, 2022; Díaz Parra & Romano, 2016; Gómez & Galindo, 2019; Meadows *et al.*, 1994; Yusuf, 2009).

En Latinoamérica estos fenómenos urbanos responden a las economías de localización, a la especulación en el uso del suelo, al consumo de una ficticia y creciente clase media y al principio de las aglomeraciones o de la sinergia, reflejando tasas de crecimiento poblacional y de área construida superiores a sus congéneres establecidas en las principales economías (Agulles, 2023; Martínez *et al.*, 2008). Urbanización sin industrialización que depende de las interacciones entre los ciudadanos, de las economías de escala y de la proximidad de las actividades económicas y sus servicios en un área determinada.

En este contexto, la ciudad, al concebir por antonomasia a la población y el capital como factores de crecimiento en contextos urbanos con déficit de infraestructura y de acceso a servicios de calidad, paradójicamente genera riqueza con enormes brechas sociales, exclusión, inequidad y disparidad de oportunidades. Asimismo, conlleva un deterioro ambiental en su interior, en el conurbano, en los ecosistemas estratégicos y en las regiones proveedoras de bienes y servicios ambientales (Curtit, 2003; Díaz-Álvarez, 2011; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2021; Sánchez-Rodríguez, 2008).

En esta realidad se observan fenómenos de difícil control, alta inercia, de rápida acción y cambio que pueden provocar el agotamiento de los servomecanismos existentes y superar los límites homeostáticos de estos

sistemas complejos, aumentando la probabilidad de un descenso súbito e irreversible de sus indicadores.

Sin embargo, estos avisos no siempre son considerados en los planes de desarrollo de las ciudades capitales de departamento en Colombia para alcanzar economías sanas que aseguren el bienestar de la población vulnerable y un buen desempeño ambiental, principalmente por la persistente creencia en la mal llamada «curva ambiental de Kuznets» (Fig. 1).

De esta manera, la financiación de los proyectos de energías renovables, economía circular y descontaminación se realiza con la explotación de los recursos naturales, esperando que, en la futura redistribución de la riqueza, algo se destine a recuperar el medio ambiente a condiciones aceptables (Beckerman, 1992, citado por (Gómez, 2002); Thatcher, 1989). Interpretación de la curva de Kuznets que constriñe cualquier posibilidad de lograr el desarrollo de manera ambientalmente responsable en ciudades con altos índices de pobreza.

Esta crematística urbana se sustenta aún más en las declaraciones de las Naciones Unidas, que, desde los otrora Objetivos de Desarrollo del Milenio (MDG), han considerado el crecimiento económico como una necesidad apremiante para alcanzar un desarrollo sostenible, siendo explícito en el ODS 8 y relacionado con los demás. De esta manera, los ideales planteados por economistas del siglo XX como Guthrie (1963), Friedman (1960), Rostow (1961), Sirkin (1962) y Thurow (1982) se consideran utopías ante la creciente anomalía urbana.

Por tal motivo, a finales del siglo pasado, en muchas ciudades del mundo estas expectativas se transformaron en un «crecimiento no económico» (Daly, 2001), ya que la población creció exponencialmente, la redistribución fue inexistente, la lucha contra el desempleo se estancó, la inequidad y la falta de oportunidades aumentaron, los sistemas naturales se convirtieron en parches de un paisaje intervenido, y la contaminación in crescendo empezó a superar los límites permisibles, poniendo en riesgo la salud humana.

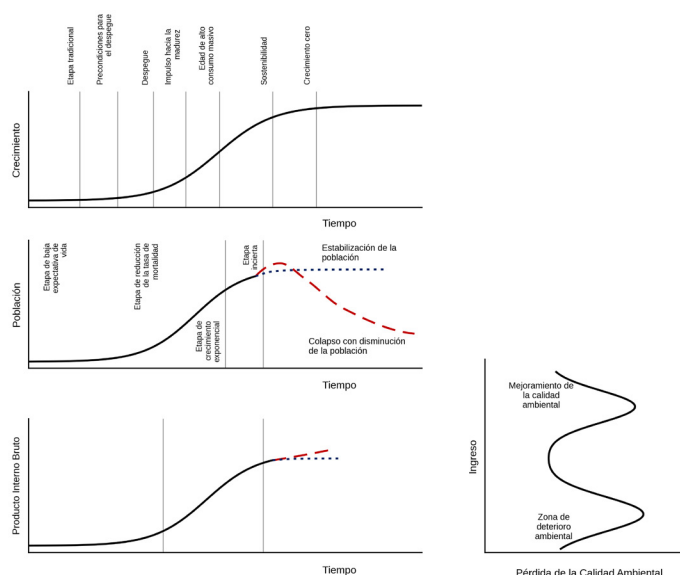
Es evidente que el concepto de bienestar en función del crecimiento y el consumo conlleva una trampa, que progresivamente se convierte en una falsa ilusión, toda vez que «las necesidades individuales no se sacian cuando el ingreso se incrementa, y los individuos no se muestran más dispuestos a transferir parte de sus recursos a los pobres cuando se tornan más ricos» (Thurow, 1982). El comportamiento humano ha exacerbado la desigualdad en el camino al crecimiento sostenido, situación evidente en las ciudades capitales estudiadas.

II. Las ciudades estudio de caso

Colombia tiene 32 capitales de departamento en cinco grandes regiones (Andina, Caribe-Insular, Orinoquía, Amazonía y Pacífica). De estas se seleccionaron diez: Barranquilla (Atlántico), Bogotá (Colombia/Cundinamarca), Leticia (Amazonas), Pasto (Nariño), Quibdó (Chocó), San Andrés, San José del Guaviare, Valledupar (Cesar), Villavicencio (Meta) y Yopal (Casanare).

El primer criterio de selección fue la representatividad de los otrora Territorios Nacionales, donde la institucionalidad del Estado sigue siendo débil y su participación en el producto interno bruto del país es

Figura 1. La mal llamada «curva de Kuznets ambiental» y su relación con el crecimiento económico, la dinámica poblacional y el producto interno bruto.



Fuente: elaboración propia con información de (Churchill *et al.*, 2018; Friedman, 1960; Guthrie, 1963; Rostow, 1961; Sirkin, 1962; Stern, 2017; Thurow, 1982).

Nota 1. El significado de esta mal llamada curva argumenta que «el crecimiento económico en sus primeras etapas conduce a la degradación del ambiente [...] y que, finalmente, el mejor y probablemente el único modo de obtener un medio ambiente aceptable es enriquecerse» (Gómez, 2002).

Nota 2. En relación con la pseudoestabilidad anhelada entre la ciudad y la región, se reitera que la expresión de la vida urbana se traduce en una gran variedad de problemas en los distintos compartimentos ambientales (agua, aire, suelo y biota), así como en el conurbano y en las regiones proveedoras de bienes y servicios ambientales.

Esta situación define nuevos límites, áreas de estudio y cambios en los flujos de masa, energía e información, modificando la forma como el sistema se comporta internamente, con el conurbano, con las áreas rurales y los ecosistemas estratégicos (Díaz-Álvarez, 2011). Lo lamentable es que esta forma de relación ignora la infalibilidad de los principios y leyes naturales, y conduce impremeditadamente a un colapso ambiental, que a su vez generará cambios en los órdenes social, político y económico (Díaz-Álvarez, 2014).

escasa (Leticia, Pasto, Quibdó, San Andrés, San José del Guaviare, Valledupar y Yopal). En cuanto al número de habitantes, el conjunto abarca centros urbanos de nivel nacional, regional y subregional.

También se deseó un contraste con la capital colombiana (Bogotá) y una economía emergente (Barranquilla), que concentran la riqueza en la zona cundiboyacense y el Caribe, respectivamente. Finalmente, se incluyó la ciudad que acoge a la casa de estudios que lideró la investigación (Villavicencio).

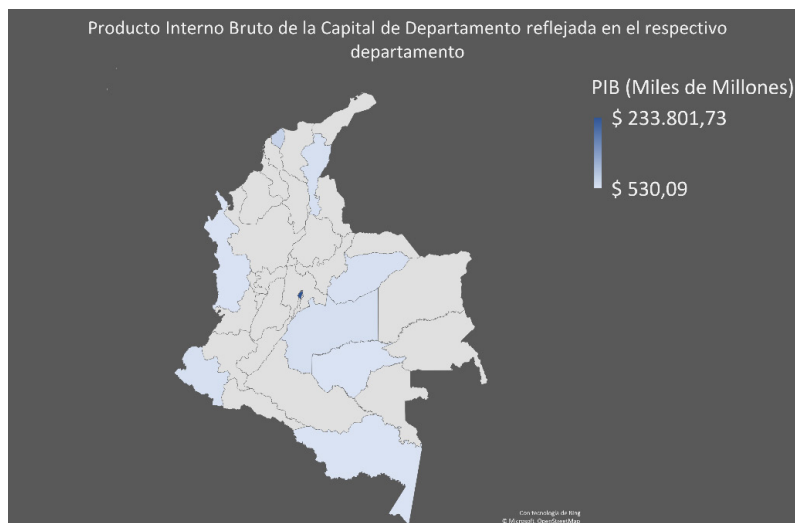
III. La realidad crematística de las ciudades colombianas

Al realizar un análisis netamente crematístico de la producción de bienes y servicios a partir del limitado indicador de Producto Interno Bruto (Vaca-Trigo & Barón, 2022), se llega a una verdad de Perogrullo para Colombia: Bogotá, como ciudad capital, es la principal economía regional del país, mientras que Barranquilla, Leticia, Pasto, Quibdó, San Andrés, San José del Guaviare, Valledupar, Villavicencio y Yopal se consolidan como las principales economías de sus respectivos departamentos.

Sin embargo, afloran singularidades que es menester detallar: hay ciudades que representan la totalidad o casi la totalidad del PIB departamental (Fig. 2): Bogotá (100 %), San Andrés (90,46 %), Leticia (73,91 %), San José del Guaviare (66,81 %) y Barranquilla (66,54 %) (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2023); lo que evidencia desigualdades territoriales entre lo urbano y lo rural, así como la consolidación de atractores de capital que tienden a desalentar la vida en el campo y la provincia.

Por otro lado, Pasto, Quibdó, Valledupar, Villavicencio y Yopal comparten la producción de bienes y servicios con actividades agrícolas, agroindustriales y minero-energéticas en nodos departamentales productivos, lo que reduce la vulnerabilidad de su población ante crisis económicas al tener diversificada la oferta laboral. Sin embargo, experimentan el flagelo del crimen organizado y la actuación de grupos armados al margen de la ley, lo que dificulta a sus habitantes el ejercicio del derecho sobre su territorio (Fernán *et al.*, 2024).

Al comparar espacialmente el PIB (Fig. 2), se ratifica que la expresión urbana colombiana se concentra en la zona andina y el caribe continental, lo que en teoría debería reflejar una menor expresión de la pobreza y de las

Figura 2. Participación departamental del PIB de las diez ciudades capitales estudiadas.

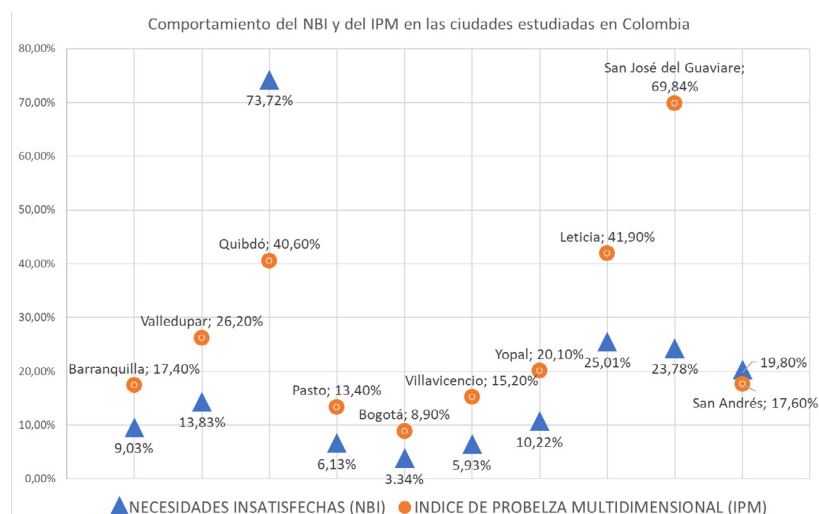
Fuente: elaboración propia con información del DANE (2023).

necesidades básicas insatisfechas; mientras que el Chocó biogeográfico, la Orinoquía, la Amazonía y los relictos del área insular del Caribe mantienen un rezago histórico, advertido desde la Comisión Corográfica (Ancizar, 1853) y por viajeros de los siglos XIX y XX (Mollien, 1994; Serret, 1994).

Sin embargo, al analizar tanto el índice de pobreza multidimensional (IPM) como el indicador de necesidades básicas insatisfechas (Fig. 3), se identifica que la ciudad no está cumpliendo con su principal función social de reducir la pobreza, o al menos de no reproducir este síndrome en las nuevas generaciones (Sudjic, 2016; Vaca-Trigo & Barón, 2022). Bogotá logra la menor cifra de NBI (3,34 %), seguida de Villavicencio (5,93 %) y Barranquilla (9,03 %); mientras que las demás superan el primer decil: Yopal (10,22 %), Valledupar (13,83 %), San Andrés (19,80 %), San José del Guaviare (23,78 %), Leticia (25,01 %) y, finalmente, Quibdó con el 73,72 %.

En cuanto a la pobreza multidimensional (IPM), Bogotá presenta el menor porcentaje (8,9 %), seguida por Pasto (13,40 %), Villavicencio (15,2 %), Barranquilla (17,4 %), San Andrés (17,6 %), Yopal (20,1 %), Valledupar (26,2 %), Quibdó (40,6 %), Leticia (41,90 %) y, en última posición, San José del Guaviare (69,84 %). Estas cifras indican que la periferia colombiana presenta carencias en infraestructura y calidad educativa en el hogar, acceso al sistema de salud y a los servicios públicos, y condiciones de vivienda y trabajo.

El atraso relativo del occidente colombiano obedece a la institucionalidad débil, a la escasa permanencia de talento humano calificado, a la economía reprimarizada de bajo valor agregado, a la exigua integración del territorio con la actividad económica nacional y a las condiciones geográficas, de tiempo y clima que afectan la productividad e incrementan los costos de transporte. Problemas

Figura 3. Comportamiento del NBI y del IPM en las diez ciudades estudiadas.

Fuente: elaboración propia con información de BanRep (2019) y DANE (2023).

enunciados desde inicios del siglo XXI por el Banco de la República en sus documentos de trabajo sobre economía regional y urbana (Robledo-Caicedo, 2019).

En el análisis del coeficiente de Gini se evidencia una particularidad en las cifras de Leticia, San José del Guaviare y Quibdó, a las que el DANE asigna el valor de la media nacional (0,52), pese a su reconocida condición de pobreza y ausencia del Estado (Robledo-Caicedo, 2019) (Fig. 4). Esta decisión estadística compensaría el indicador real de estas tres ciudades con el valor correspondiente a la capital, que difiere significativamente en PIB, NBI e IPM (Figs. 2 y 3).

Lo realmente crítico de este indicador (Fig. 4) son los dos escenarios desalentadores que plantea: a) la mayoría de los habitantes están forzados a ser igualmente pobres (Leticia, Quibdó y San José del Guaviare), o b) algunos habitantes concentran la riqueza, esperando que esta —tarde o temprano— se redistribuya (Bogotá). En síntesis, aunque estas ciudades concentran el capital y la capacidad instalada para proveer bienes y servicios, todas tienden al colapso (Díaz-Álvarez, 2020; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2021).

Si bien la media nacional no dista mucho de otros países como Brasil (52,9), Costa Rica (48,7) o Panamá (50,9), sí lo está de las principales economías de la OCDE, lo que ratifica el deficiente diseño institucional que solo ha permitido una disminución anual de 0,01 puntos luego de impuestos y transferencias. Ínfima mejora que exacerba el riesgo de inviabilidad fiscal municipal (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2022).

IV. Densidad poblacional urbana

En Colombia, el crecimiento poblacional urbano obedece a la migración interna y de extranjeros más que a causas vegetativas (Alfonso & Óscar, 2023; Díaz-Álvarez, 2020; Traettino, 2022). Este flujo continuo e intempestivo ha provocado un crecimiento que ha desatendido

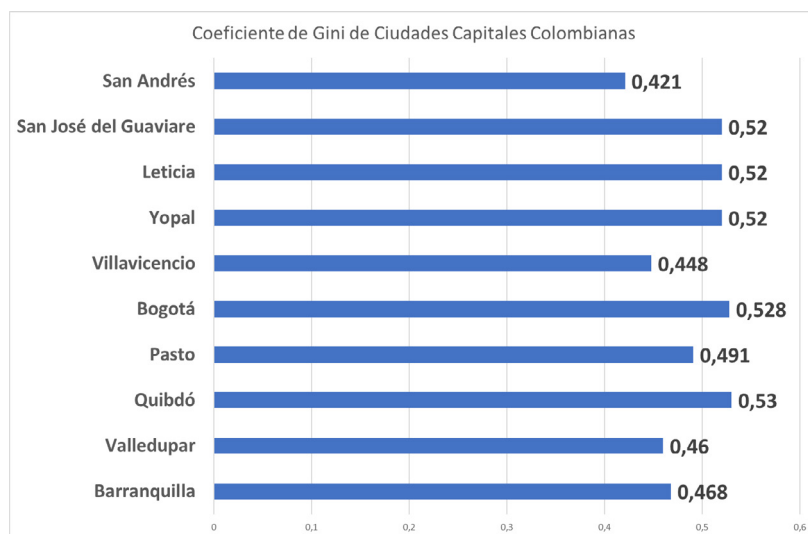
criterios urbanísticos en las cabeceras municipales desde mediados del siglo XX, sin dimensionar la infraestructura instalada, su capital fijo social ni su capacidad de carga (Díaz-Álvarez, 2020).

Este éxodo rural hacia la tierra prometida urbana, aunado a la natural imperfección de la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial (Ley 1454 de 2011), ha conllevado: el aumento de asentamientos ilegales e informales; la reproducción de la pobreza extrema, la marginalidad y la segregación social; la desigualdad y los desequilibrios urbano-regionales; la destrucción de zonas de reserva e invasión de rondas hídricas; el colapso de la exigua infraestructura urbana; el incremento de personas en riesgo ante desastres naturales; el aumento de los costos de servicios públicos, transporte y equipamientos; las dificultades para nuevos sistemas de transporte y vivienda formal; y, naturalmente, el aumento de la entropía urbana (Díaz-Álvarez, 2023; Restrepo Ruiz, 2019).

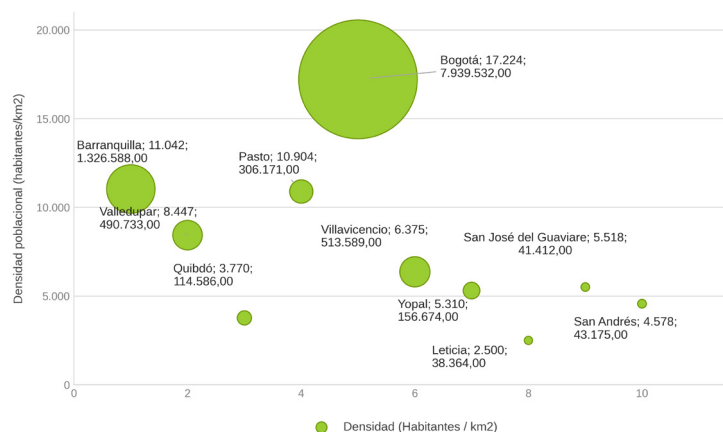
En cuanto a las densidades, con base en las cifras del Geoportal del DANE (2023), las ciudades más densificadas son Bogotá (17 223 hab/km²), Barranquilla (11 041 hab/km²) y Pasto (10 903 hab/km²); las menos densificadas, San Andrés (4577 hab/km²), Quibdó (3700 hab/km²) y Leticia (2500 hab/km²) (Fig. 5). Esta concentración ha promovido una cultura de hacinamiento que favorece la especulación y el reparto inadecuado de las plusvalías urbanas (Naranjo Escudero, 2022).

Sorprende que, tras cinco siglos de la fundación urbana española, siga olvidándose que el desarrollo de las ciudades exige una larga meditación, un excelente conocimiento de las características fisiográficas del terreno y un análisis de riesgos y de capacidad de carga (Carrizosa Umaña, 2017; Gil de Lemos y Taboada, 1796). Amnesia de los gestores de política que ha provocado miseria en la relación entre el crecimiento poblacional y la calidad de vida, características advertidas por Thomas Robert Malthus (1846).

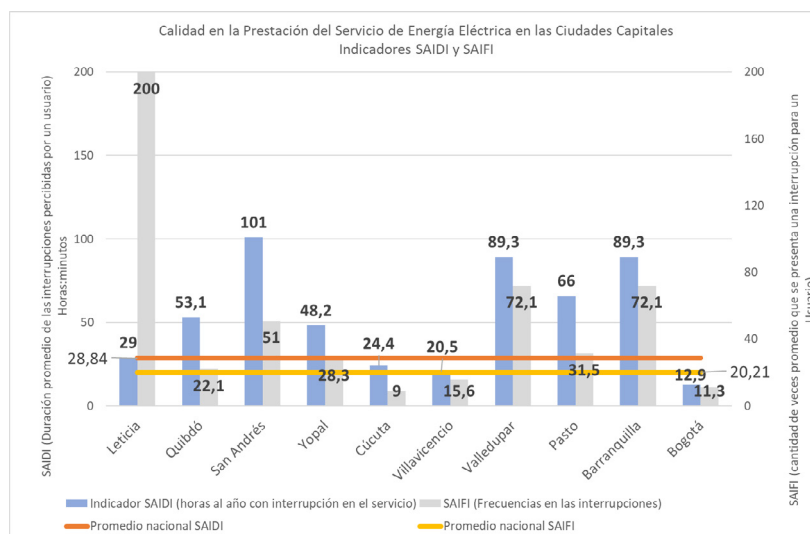
Figura 4. Comportamiento del coeficiente de Gini en las diez ciudades capitales analizadas.



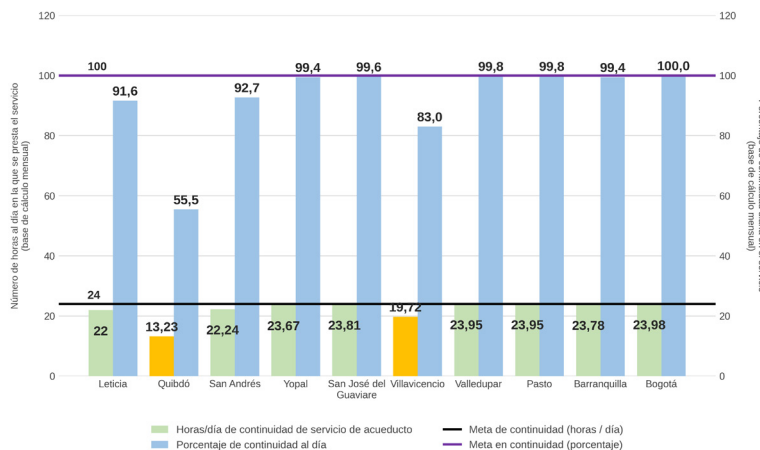
Fuente: elaboración propia con información de la Alcaldía Municipal de Leticia (2020), la Cámara de Comercio de San José del Guaviare (2023), el DANE (2023), MinHacienda (2022) y Robledo-Caicedo (2019).

Figura 5. Densidad poblacional y número de habitantes en las ciudades capitales colombianas.

Fuente: elaboración propia con información del Geoportal del DANE (2023).

Figura 6. Continuidad en la prestación del servicio de acueducto en las ciudades capitales analizadas (horas al día y porcentaje).

Fuente: elaboración propia con información de Superservicios (2023) y MinVivienda (2023).

Figura 7. Continuidad en la prestación del servicio de energía eléctrica en las ciudades capitales analizadas (indicadores SAIDI y SAIFI).

Fuente: elaboración propia con información de Superservicios (2018 y 2023).

V. Señales de insostenibilidad urbana

A la tragedia de la ciudad periférica colombiana, con evidentes necesidades básicas insatisfechas, llena de desigualdades sociales y con problemas económicos, se suma el riesgo de colapso por la interrupción frecuente en la prestación de los servicios públicos: agua potable, energía eléctrica y gas natural.

A. Intermitencia en los servicios básicos

Para 2022, el suministro de agua potable se prestó casi con total continuidad en Bogotá, Valledupar, Pasto y Barranquilla (Fig. 6), mientras que Villavicencio y Quibdó presentaron intermitencias significativas en el servicio de acueducto (19,72 y 13,23 horas al día, respectivamente).

Con relación al suministro de energía eléctrica, con excepción de Bogotá, durante el último año con cierre estadístico (2021) todas las ciudades capitales superaron la media nacional del indicador de Duración Promedio de Interrupciones (SAIDI): doce de las trece presentaron interrupciones de unas 28 horas en el año, siendo las más afectadas San Andrés (101 h), Valledupar (89 h), Barranquilla (89 h), Pasto (66 h) y Quibdó (53 h). Finalmente, en las ciudades con suministro de gas natural las interrupciones no superaron las tres horas anuales, con excepción de Valledupar.

Ante el actual desabastecimiento de los energéticos convencionales, la improvisada transición energética, la falta de cobertura del sistema interconectado nacional en la mitad del territorio continental colombiano y su vulnerabilidad ante actos terroristas (Benavides *et al.*, 2022; Durán *et al.*, 2021), la ciudad colombiana corre el riesgo de apagarse.

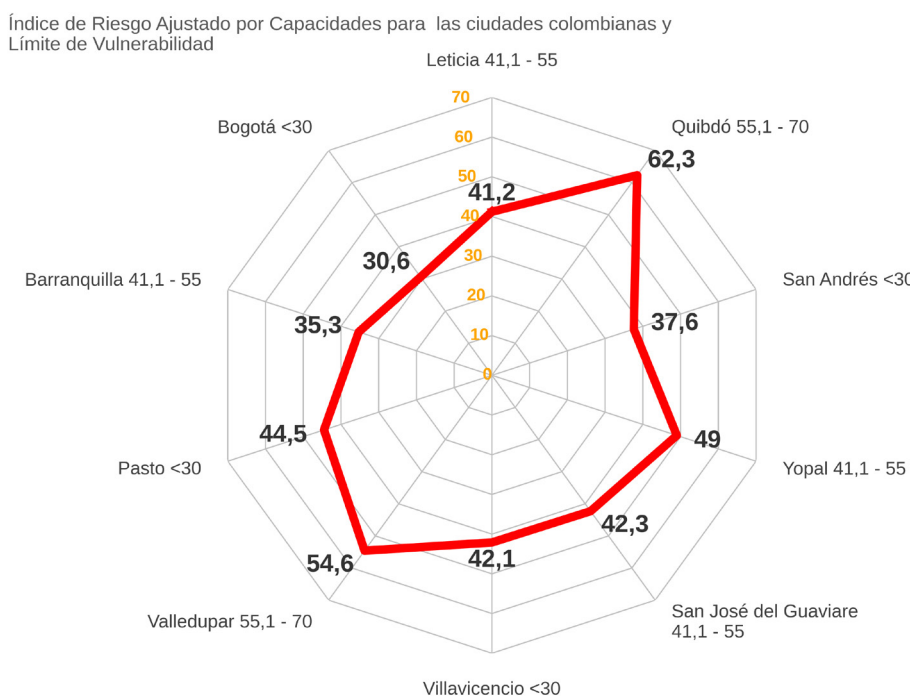
B. Vulnerabilidad y riesgo ante los desastres naturales

La drástica fluctuación en las variables de atmósfera, tiempo y clima en una ciudad, con una infraestructura obsoleta y un diseño improvisado, representa un riesgo para el habitante urbano en Colombia (Espinell-Riveros *et al.*, 2021), quien en cada periodo de lluvias se expone a inundaciones, fenómenos de remoción en masa y cortes de servicios; y en la época seca, a incendios forestales y a la sequía de las fuentes de abastecimiento.

Con estos escenarios, la gestión en Colombia se reduce al Índice Municipal de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades (Departamento Nacional de Planeación, 2018), cuya cifra condensa la probabilidad de colapso municipal ante fenómenos naturales y las capacidades de las entidades territoriales para gestionarlo. A partir de este índice, Quibdó (62,3), Valledupar (54,6), Yopal (49) y Pasto (44,5) presentan una baja capacidad para atender emergencias, mientras que la capital colombiana aparentemente es la más robusta (Fig. 8).

En cuanto a las principales amenazas, las inundaciones lentas preocupan a Leticia, Cúcuta y Bogotá; los flujos torrenciales a Quibdó, Barranquilla, Pasto y Villavicencio; los movimientos en masa a Yopal, Villavicencio y Valledupar; y los huracanes a San Andrés. Adicionalmente, los terremotos son una gran preocupación, pues en el territorio colombiano convergen las placas de Nazca y del Caribe contra la placa Suramericana (Servicio Geológico Colombiano, 2023), siendo Bogotá, Cúcuta, Pasto y Quibdó las ciudades en zonas de mayor amenaza sísmica (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Figura 8. Índice de Riesgo Ajustado por Capacidades para las ciudades colombianas y valor del límite departamental de vulnerabilidad.



Fuente: elaboración propia con información del DNP (2018). (El autor debe reinsertar esta figura.)

Estos fenómenos merman la capacidad de sobrevivir al apocalipsis y de competir por el capital en un mundo plano y globalizado (Agulles, 2023; Kate Hamburger Centre for Apocalyptic and Post-apocalyptic Studies, 2023). Más cuando en Colombia, técnicamente, no existe una gestión del riesgo, sino una atención de desastres: ¡un modelo completamente reactivo y correctivo, más que preventivo!

Ante esta desconcertante situación, exacerbada por la creciente producción del territorio urbanizado desde inicios del siglo XXI (Curtit, 2003; Llop Torné & Ruiz-Api-láñez, 2021), los gobiernos municipales y nacional pueden adoptar nuevos esquemas para evitar la insostenibilidad: a) alcanzar una curva de distribución viable entre crecimiento, ambiente y desarrollo, desde la sostenibilidad débil (Díaz-Álvarez, 2012b); b) considerar un crecimiento cero, desde la sostenibilidad fuerte (Capel, 2011); c) optar por la «cuadratura del círculo» del desarrollo sostenible (Tyrtania, 2009); d) contemplar un decrecimiento económico (Krähmer, 2022); o e) gestionar la entropía y establecer metabolismos cíclicos, desde una aproximación termodinámica (Díaz-Álvarez, 2023).

VI. Conclusiones

En la actualidad, las ciudades colombianas siguen enfrentando graves problemas relacionados con la concentración de la riqueza, la falta de oportunidades para la mayoría de la población y el deterioro continuo de la infraestructura y el ambiente urbano. Esta realidad obedece a la corrupción existente, a la debilidad institucional y a la persistente creencia en el crecimiento económico como única vía de desarrollo.

Ante el riesgo de sobrepasar la capacidad de carga de las ciudades colombianas, su enorme peso agregado en el producto interno bruto del país y la urgente necesidad de asegurar su continuo funcionamiento, habría dos opciones para la ciudad del futuro: i) su construcción respetando los límites biofísicos del territorio, o ii) la persistencia de un modelo que reproduce la pobreza y tiende al colapso.

En las ciudades colombianas analizadas, la riqueza y el crecimiento económico no garantizan un desarrollo urbano sostenido ni sostenible. Por tal motivo, en la práctica, la noción de desarrollo no puede ceñirse solo a la crematística: debe incorporar el capital humano, el saneamiento básico, la gestión del riesgo y la sostenibilidad ambiental. Finalmente, al observar la irregularidad de las ciudades analizadas, quedan muchos cuestionamientos sobre por qué no se ha logrado una intervención eficiente del Estado en las capitales a través de su estructura fiscal, que futuras investigaciones deberán abordar.

Tipo de artículo

Artículo de investigación.

Procedencia

Producto del Proyecto Axioma, Escuela de Arquitectura e Ingeniería, UNIMETA.

Financiación

Sin financiación externa.

Referencias

- Agulles, J. M. (2023). *La destrucción de la ciudad: el mundo urbano en la culminación de los tiempos modernos*. Los Libros de la Catarata.
- Alcaldía Municipal de Leticia. (2020). *Plan de Desarrollo Municipal 2020–2023*. <https://amazonas.gov.co>
- Alfonso, R., & Óscar, A. (2023). La primacía poblacional urbana de escala metropolitana de Bogotá. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 15, e20230031.
- Ancizar, M. (1853). *La peregrinación de Alpha por las provincias del norte de la Nueva Granada 1850–1851*. Universidad Nacional de Colombia.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*.
- Banco de la República [BanRep]. (2019). *La pobreza en Quibdó: documento 209*. BanRep.
- Benavides, J., Cabrales, S., & Delgado, M. E. (2022). *Transición energética en Colombia: política, costo de la carbono-neutralidad acelerada y papel del gas natural*. Fedesarrollo.
- Blesch, K., Hauser, O. P., & Jachimowicz, J. M. (2022). Measuring inequality beyond the Gini coefficient may clarify conflicting findings. *Nature Human Behaviour*, 6, 1525–1536.
- Cámara de Comercio de San José del Guaviare. (2023). *Informe económico*.
- Capel, H. (2011). Las ciudades, el consumo y el crecimiento de suma cero. *Biblio 3W*, 16.
- Carrizosa Umaña, J. (2017). *Colombia compleja*. Instituto Humboldt.
- Churchill, S. A., Inekwe, J., Ivanovski, K., & Smyth, R. (2018). The environmental Kuznets curve in the OECD: 1870–2014. *Energy Economics*, 75, 389–399.
- Curtit, G. (2003). *Ciudad, gestión local y nuevos desafíos ambientales*. Espacio Editorial.
- Daly, H. (2001). Beyond growth: Avoiding uneconomic growth. In *Sustainability of long-term growth*. Edward Elgar.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2023). *Información técnica, anexos estadísticos*. <https://www.dane.gov.co>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2018). *Índice Municipal de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades*. DNP.
- Diamond, J. (2006). *Colapso: por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen*. Random House Mondadori.
- Díaz Parra, I., & Romano, S. (2016). Andalucía, del urbanismo periférico a la burbuja inmobiliaria. *Revista de Geografía Norte Grande*.
- Díaz-Álvarez, C. (2011). *Metabolismo de la ciudad de Bogotá D.C.: una herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental urbana*. Universidad Nacional de Colombia.
- Díaz-Álvarez, C. (2012a). La ciudad, entre el espejismo del crecimiento y la utopía del metabolismo sostenible. In *Degrowth in the Americas*. Concordia University.
- Díaz-Álvarez, C. (2012b). Bogotá D.C.: entre el espejismo del crecimiento y la utopía del metabolismo sostenible. In *Cuadernos de Utopía Colombia n.º 2*. Universidad Nacional de Colombia.
- Díaz-Álvarez, C. (2014). Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. *Interdisciplina*, 2(2).
- Díaz-Álvarez, C. (2020). *Entropía, homeostasis y metabolismo urbano: sostenibilidad ambiental de ciudades capitales en Latinoamérica* [Tesis doctoral].
- Díaz-Álvarez, C. (2023). Ciudades de baja entropía: propuesta de gestión de la masa, energía y sus consumos. En *La encrucijada ambiental*.
- Díaz-Álvarez, C., & León, N. (2012). Bogotá D.C.: indicadores de insostenibilidad ambiental. En *Memorias del Congreso Latinoamericano de Ecología Urbana*.
- Durán, J. P. S., García, J. O. B., & Calderón, J. T. (2021). Análisis de la vulnerabilidad de la hidroelectricidad en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 24(2).

- El Club de Roma. (2022). *The limits of growth +50*. <https://www.clubofrome.org>
- Fernán, G., Ingrid, B., & Teófilo, V. (2024). *Violencia política en Colombia: de la nación fragmentada a la construcción del Estado*. CINEP.
- Friedman, M. (1960). *A program for monetary stability*. Ravenio Books.
- Gil de Lemos y Taboada, F. (1796). *Relación de gobierno*.
- Gómez, C. (2002). Crecimiento económico y desarrollo sostenible. En *Economía y territorio* (pp. 19–44). Civitas.
- Gómez, J. F., & Galindo, C. A. (2019). Burbuja inmobiliaria en Colombia: vivienda, salario y deuda. *América Latina en Movimiento*.
- Guthrie, J. (1963). *Economía* (1.ª ed. rev.). UTEHA.
- Kate Hamburger Centre for Apocalyptic and Post-apocalyptic Studies. (2023). *Effects of catastrophes*. <https://www.capas.uni-heidelberg.de>
- Krähmer, K. (2022). Degrowth and the city. *City*, 26(2–3), 316–345.
- Llop Torné, C. J., & Ruiz-Apilánez, B. (2021). Hacia un urbanismo renovado para la recomposición de la metrópolis. ACE: *Architecture, City and Environment*.
- Malthus, T. (1798). *An essay on the principle of population*.
- Malthus, T. R. (1846). *Ensayo sobre el principio de la población*. Est. Lit. y Tip. de Lucas González y Compañía.
- Martine, G., McGranahan, G., Montgomery, M., & Fernández-Castilla, R. (2008). *The new global frontier: Urbanization, poverty and environment in the 21st century*. Earthscan.
- Meadows, D., Meadows, D., & Randers, J. (1994). *Más allá de los límites del crecimiento*. El País-Aguilar.
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público [MinHacienda]. (2022). *Informe de viabilidad fiscal por departamento*. Dirección General de Apoyo Fiscal.
- Mollien, G. (1994). *El viaje por la República de Colombia en 1823*. Ministerio de Educación Nacional.
- Naranjo Escudero, E. (2022). La vivienda progresiva como estrategia arquitectónica para el crecimiento informal de la periferia en América Latina. *Astrágalo*.
- Paes de Barros, R., Ferreira, F., Molinas, J., & Saavedra, J. (2008). *Midiendo la desigualdad en América Latina y el Caribe*. Banco Mundial y Mayol Ediciones.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2021). *El peso de las ciudades en América Latina y el Caribe: requerimientos futuros de recursos y potenciales rutas*.
- Restrepo Ruiz, A. (2019). Aproximación a la planeación urbana en Colombia: apuntes para su comprensión histórica. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 34(3), 665–690.
- Robledo-Caicedo, J. (2019). *La pobreza en Quibdó: norte de carencias* (Documento de Trabajo sobre Economía Regional y Urbana n.º 277).
- Rostow, W. (1961). *Las etapas del crecimiento económico: un mani-fiesto no comunista*. Fondo de Cultura Económica.
- Sánchez-Rodríguez, R. (2008). Urban sustainability and global environmental change: Reflections for an urban agenda. En *The new global frontier*.
- Serret, F. (1994). *Viaje a Colombia 1911–1912*. Instituto Colombiano de Cultura.
- Servicio Geológico Colombiano. (2023). *Mapa de amenaza sísmica en Colombia*. <https://srvags.sgc.gov.co>
- Sirkin, G. (1962). *Introducción a la teoría macroeconómica*. Fondo de Cultura Económica.
- Smith, G. (1979). Epilogue: Malthusian concern from 1800 to 1960. En *The morality of scarcity*. Louisiana State University Press.
- Stern, D. I. (2017). The environmental Kuznets curve after 25 years. *Journal of Bioeconomics*, 19, 7–28.
- Sudjic, D. (2016). *The language of cities*. Penguin UK.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [Superservicios]. (2016). *Evaluación integral de prestadores: Energía para el Amazonas S.A. ESP*.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [Superservicios]. (2018). *Zonas No Interconectadas (ZNI): diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2018*.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [Superservicios]. (2023). *Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI)*.
- Tacoli, C., McGranahan, G., & Satterthwaite, D. (2008). Urbanization, poverty and inequity: Is rural-urban migration a poverty problem or part of the solution? En *The new global frontier*.
- Thatcher, M. (1989). Commonwealth partners at odds over environmental problems. *Globe and Mail*. Margaret Thatcher Foundation.
- Thurow, L. (1982). *La sociedad de suma cero*. Ediciones Orbis.
- Traettino, S. (2022). *Migración forzada y finanzas públicas locales: evidencia de los municipios en Colombia*.
- Tyrtania, L. (2009). *Evolución y sociedad: termodinámica de la supervivencia para una sociedad a escala humana*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2008). *World urbanization prospects: The 2007 revision*. UNDESA.
- United Nations Development Programme. (2023). *Informe sobre el Desarrollo Humano*. <https://www.undp.org>
- United Nations Human Settlements Programme. (2011). *State of the world's cities 2010/2011: Bridging the urban divide*. UN-Habitat.
- United Nations Sustainable Development Solutions Network. (2017). *Cómo implementar los ODS en las ciudades: un manual introductorio*.
- United Nations. (2000). *Informe del Milenio del Secretario General*. Naciones Unidas.
- Vaca-Trigo, I., & Barón, C. (2022). *Descentrar el producto interno bruto (PIB): bienestar, cuidados y tiempo* (Documentos de Proyectos LC/TS.2022/80). CEPAL.
- World Economic Forum. (2023). *Global Future Council on the Future of Cities*. <https://www.weforum.org>
- Yusuf, S. (2009). *Development economics through the decades: A critical look at 30 years of the World Development Report*. The World Bank.