

- Impacto del gasto del gobierno colombiano en la transición energética a partir del año 2018.
- El sistema de bicicletas compartidas como modo de acceso al sistema de transporte público. Caso de estudio: Tembici y estaciones de TransMilenio Polo y Carrera 47, de la ciudad de Bogotá.
- Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto adicionado con residuo de granalla.
- Puesta en marcha y evaluación de compostera para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos en la UECI.
- Impacto de la gentrificación en la dinámica de precios inmobiliarios en Hermosillo (Sonora, México).
- Ciencias actuariales en Colombia: una maestría que transforma el riesgo en oportunidad



CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

PRESIDENTE JAVIER BOTERO ÁLVAREZ

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

RECTORA MYRIAM ASTRID ANGARITA GÓMEZ

SECRETARIA GENERAL PATRICIA SALAZAR PERDOMO

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
N.º 137 - enero-abril de 2025 - Cuatrimestral - Bogotá, Colombia
ISSN 3114-9081 (en línea)

DIRECTORA PhD. ING. MÓNICA MARCELA SUÁREZ PRADILLA

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

DIRECCIÓN EDITORIAL CRISTINA SALAZAR PERDOMO

EDICIÓN **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**
JORGE CAÑAS SEPÚLVEDA

CORRECCIÓN DE ESTILO
ELKIN RIVERA GÓMEZ

TRADUCCIÓN Y CORRECCIÓN DE ESTILO EN INGLÉS
DAVID PEÑA CITA

DIRECCIÓN COMERCIAL EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

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

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

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

5-6 / EDITORIAL

Mónica Marcela Suárez Pradilla

9-15

Impacto del gasto del gobierno colombiano en la transición energética a partir del año 2018

Laura Sofía Morales Ramírez – Iván Camilo Durán Tovar

El presente artículo tiene como finalidad mostrar el impacto del gasto del gobierno colombiano en la transición energética solar a partir del año 2018. Este análisis se basa en la información dada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), múltiples documentos proporcionados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) e información suministrada por XM, La República y el Banco Mundial, con el propósito de identificar cómo se distribuye el gasto del gobierno en diferentes áreas y, al mismo tiempo, observar el porcentaje invertido en la energía.

17-24

El sistema de bicicletas compartidas como modo de acceso al sistema de transporte público. Caso de estudio: Tembici y estaciones de TransMilenio Polo y Carrera 47, de la ciudad de Bogotá

Karen Gabriela Jaimes Martínez – Mónica Marcela Suárez Pradilla

El crecimiento acelerado de las áreas urbanas ha sobrecargado los servicios de movilidad, lo que ha llevado a la popularización de la bicicleta para recorridos de primera y última milla, como complemento del transporte público. Con este estudio se busca identificar el uso de bicicletas compartidas como modo de acceso al transporte público en la ciudad de Bogotá, D.C., enfocándose en las estaciones denominadas Polo y Carrera 47.

25-31

Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto adicionado con residuo de granalla

Santiago Esteban Rizzo – Luis Hernández Fonseca – Ray Peña Pardo – Sebastián González Olarte – Kevin Tami Torres

En este estudio se resalta la importancia de utilizar residuos industriales como la granalla para mejorar la sostenibilidad de la construcción, ya que así se disminuye la huella de carbono y se promueve la economía circular en la industria del concreto.

33-43

Puesta en marcha y evaluación de compostera para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos en la UECI

Rubén Darío Bobada Gutiérrez – Mateo Vanegas Garzón – William Javier Alonso Aguilera – Oscar Andrés Martínez Padilla – Karen Lorena Sandoval Rincón – Juan Pablo García Campos – Laura Cristina Lesmes Posada

En este artículo se presentan los resultados del trabajo realizado por integrantes del Semillero de Investigación en Saneamiento Ambiental de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, cuya finalidad es despertar en la comunidad de la Escuela el interés y la sensibilidad por la investigación y la innovación en el campo ambiental, en desarrollo de un proceso de reflexión-acción.

45-57

Impacto de la gentrificación en la dinámica de precios inmobiliarios en Hermosillo (Sonora, México)

Gerardo Ramírez Uribe – Arturo Ojeda De la Cruz – Jesús Quintana Pacheco – Marco Ramos Corella – Israel Miranda Pasos – Valeria Miranda Torres

En el presente estudio se analiza el impacto de la gentrificación en los precios de alquiler y venta de viviendas en Hermosillo (Sonora, México). A través de un enfoque comparativo, se examinan las variaciones en los valores inmobiliarios entre zonas gentrificadas y no gentrificadas, evaluando sus efectos en la accesibilidad a la vivienda y el mercado local.

59-67

Ciencias actuariales en Colombia: una maestría que transforma el riesgo en oportunidad

María Carolina Ramírez Sepúlveda – Yesid Esteban Clavijo Penagos

La maestría en Ciencias Actuariales de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito se inició en el año 2020 y se encuentra próxima a su primera renovación del registro calificado. En el marco de este proceso, se presenta una síntesis del recorrido del programa, destacando hallazgos relevantes y resultados claves, obtenidos en sus primeros cuatro años.

69 / ALCANCE Y POLÍTICAS

Editorial

MÓNICA MARCELA SUÁREZ PRADILLA

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

monica.suarez@escuelaing.edu.co

En 2015, los estados miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aprobaron 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) como parte de la Agenda 2030, que constituye un plan de acción global orientado a abordar desafíos globales importantes, como la pobreza, el hambre, la desigualdad y el cambio climático. Estos objetivos surgieron con el propósito de apoyar a las naciones en la implementación de un modelo de crecimiento más sostenible, en el que el ciudadano actúe como un agente de cambio corresponsable en la construcción de un futuro más equitativo y sostenible.

Estas metas no solamente son comunes en instituciones, gobiernos, empresas y ciudadanos, sino también tienen carácter vinculante, por lo que se deben exigir como compromisos reales de acción.

Desde la anterior perspectiva, todas las áreas de la ingeniería constituyen un pilar fundamental para proporcionar soluciones innovadoras y prácticas, basadas en la aplicación del conocimiento científico y técnico, con el fin de crear sistemas, procesos y tecnologías que ayuden a promover el desarrollo sostenible.

Lo anterior implica que, como ingenieros, debemos generar soluciones comprometidas con los entornos social, ambiental y económico, enmarcadas en modelos institucionales que respondan a directrices éticas y que se desarrollen de manera integral.

Los desafíos que se deben enfrentar son grandes si se considera que la población urbana representa en la actualidad cerca del 56 % y se proyecta que para 2050

esa cifra supere el 70 %, porcentaje que podría llegar incluso al 75 % en países en vías de desarrollo, como Colombia. Ese crecimiento afecta significativamente el uso de los recursos y de las infraestructuras diseñadas desde la ingeniería, además de que plantea desafíos importantes en materia de mantenimiento frente a fenómenos como el cambio climático, la transformación de las matrices energéticas y rápidos avances tecnológicos, como la inteligencia artificial, el internet de las cosas y la ciencia de datos, que sitúan a todas las ramas de la ingeniería ante una nueva realidad.

En este contexto, la *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* se propone ser más que un medio de divulgación científica; busca proyectarse también como un espacio abierto al pensamiento crítico, en el que se pueda construir en forma colectiva conocimiento soportado conceptualmente con principios científicos, técnicos y operativos de la más alta calidad, orientados a resolver problemas reales de la sociedad.

En este número en particular se presentan trabajos en los que se abordan temas contemporáneos de alta relevancia desde enfoques inter y transdisciplinarios, con un desarrollo tanto técnico como social y humano. El número 137 de la revista reúne seis artículos, producto de investigaciones derivadas de tesis de maestría, semilleros de investigación y convocatorias académicas.

Los temas tratados incluyen la transición energética solar, que es un asunto estratégico de política pública nacional; la movilidad urbana sostenible, con énfasis en

la intermodalidad entre el sistema BRT TransMilenio y el sistema de bicicletas públicas Tembici, y la innovación en materiales de construcción mediante la incorporación de residuos industriales.

Así mismo, se incluyen un estudio sobre compostaje institucional como práctica de educación ambiental aplicada, una investigación internacional en la que se analiza críticamente el fenómeno de la gentrificación en el contexto urbano de Hermosillo (México), así como un artículo en el que se expone la consolidación académica y profesional de la Maestría en Ciencias Actuariales de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

A continuación, se presenta un resumen general del contenido de cada uno de los trabajos incluidos en esta edición, tomado de los textos elaborados por los autores.

1. Transición energética solar en Colombia: análisis del gasto público desde 2018

En este artículo se ofrece un estudio riguroso sobre la evolución del gasto del Gobierno colombiano en proyectos relacionados con la transición energética solar a partir del año 2018. Utilizando fuentes oficiales como el DANE, la UPME, XM, el Banco Mundial y medios especializados, se hace una revisión crítica de las inversiones estatales en este sector. Entre los hallazgos más relevantes, se destaca el aumento sustancial del gasto en 2020, al igual que las regiones del país claves en este proceso.

A lo largo del artículo no solo se identifican fortalezas y debilidades en los programas de apoyo, sino también se evidencian las oportunidades y retos que afronta Colombia en su ruta hacia una matriz energética más limpia. Este trabajo contribuye al debate sobre sostenibilidad energética y políticas públicas, y es especialmente útil para investigadores, planificadores, ingenieros energéticos y tomadores de decisiones interesados en la transición energética justa y eficiente en contextos emergentes.

2. Bicicletas compartidas e intermodalidad en Bogotá: una mirada a las estaciones Polo y Carrera 47

En este artículo se examina el papel de los sistemas de bicicletas compartidas como modo de conexión de primera y última milla hacia el transporte público en Bogotá, en un contexto urbano cada vez más con-

gestionado. A partir de una caracterización territorial, encuestas socioeconómicas y un modelo Logit, se analizan las variables que influyen en la decisión de uso de estos sistemas por parte de los usuarios, y los resultados revelan que el desconocimiento del sistema Tembici limita su potencial de integración con el sistema de transporte público masivo. Esta investigación aporta evidencia empírica sobre movilidad sostenible y permite fortalecer políticas de intermodalidad en ciudades latinoamericanas, a la vez que resalta el valor de diseñar estrategias que combinen infraestructura, comunicación y accesibilidad.

3. Sustitución sostenible del cemento con polvo de granalla: una alternativa para la construcción baja en carbono

Esta es una propuesta innovadora para reducir el impacto ambiental de la industria de la construcción mediante el uso de polvo de granalla, un residuo de la industria metalúrgica que se podría utilizar como sustituto parcial del cemento en mezclas de concreto. Por medio de un programa experimental detallado, se evaluaron propiedades mecánicas y de durabilidad de mezclas con diferentes porcentajes de sustitución. Los resultados mostraron que con un 2,5 % de remplazo se incrementa la resistencia a la compresión en más del 50 % y se mejora la durabilidad frente a cloruros. Este trabajo contribuye al desarrollo de materiales sostenibles y a la economía circular en la ingeniería civil, pues se ofrece una alternativa técnica viable que combina rendimiento estructural y responsabilidad ambiental.

4. Gestión de residuos sólidos en campus universitarios: experiencia del Semillero de Saneamiento Ambiental

A lo largo de este artículo se recoge el proceso de diseño, implementación y evaluación de un sistema de compostaje en el restaurante institucional de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. En el trabajo, desarrollado por el Semillero de Saneamiento Ambiental, se integran componentes teóricos y prácticos para promover la reducción y valorización de residuos orgánicos, al tiempo que se caracterizan los residuos generados y se hace seguimiento técnico al compost producido. Más allá de su alcance técnico, este artículo constituye una experiencia formativa de educación

ambiental aplicada, replicable en otras instituciones educativas y territorios, fortaleciendo la cultura de sostenibilidad desde lo cotidiano.

5. Impactos de la gentrificación en el mercado inmobiliario de Hermosillo (México)

A partir de un análisis comparativo, se investiga cómo la gentrificación ha afectado los precios de alquiler y venta de viviendas en zonas urbanas de Hermosillo. Se estudian variaciones de valor entre áreas gentrificadas y no gentrificadas, y se discuten las implicaciones de estos cambios para la accesibilidad a la vivienda y la equidad urbana. Además, se brindan insumos valiosos para la planificación urbana con enfoque social, se propone una visión crítica sobre los efectos no deseados de algunos procesos de renovación urbana y se promueven políticas de vivienda inclusivas.

6. Balance de los primeros años de la maestría en Ciencias Actuariales

Se presenta una síntesis del desarrollo de la Maestría en Ciencias Actuariales que ofrece la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito desde su creación en 2020 hasta la actualidad, en el marco de su primera renovación del registro calificado. Se destacan sus logros académicos, el perfil diverso de sus estudiantes, el impacto profesional de sus egresados y la consolidación del programa como oferta única en el país. El artículo permite comprender el papel estratégico de los programas de posgrado en el fortalecimiento de áreas críticas como la gestión del riesgo y el análisis actuarial, esenciales para sectores como el financiero, el asegurador y el de políticas públicas.

Los anteriores documentos muestran, en su conjunto, la capacidad de nuestra comunidad para pensar la ingeniería desde diferentes dimensiones que articulan

la tecnología con los aspectos sociales, ambientales y económicos. Esta edición es el resultado del esfuerzo colectivo de programas académicos, semilleros, grupos de investigación y alianzas institucionales que fortalecen el ecosistema de conocimiento de la Escuela.

Dentro del contexto de esta trayectoria, la *Revista de Ingeniería* se encuentra actualmente en un proceso de crecimiento editorial, con miras a su indexación en bases de datos científicas de alta visibilidad. Este paso representa no solo una validación de la calidad, sino también un compromiso con el fortalecimiento de la cultura investigativa en la comunidad.

Por eso, queremos invitar a docentes, estudiantes, egresados e investigadores de cualquier comunidad académica a contribuir con artículos que den cuenta de sus avances, hallazgos y propuestas. Esta revista es de ustedes y para ustedes. Su continuidad y proyección dependen, en gran medida, del deseo colectivo de construir una ingeniería al servicio del país y de la región.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a los autores y autoras que confiaron en esta edición, a los miembros del Comité Editorial, a los pares evaluadores y al equipo de apoyo técnico que hizo posible este número. Extendemos igualmente nuestra gratitud a quienes leen, comparten y difunden este contenido, convencidos de que el conocimiento se fortalece cuando circula, se discute y se pone en diálogo con la sociedad.

Este es un momento muy importante para nuestra institución, una gran oportunidad para dar a conocer el trabajo que estamos realizando, unir esfuerzos y expandir nuestro impacto. Desde la Universidad Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, con el compromiso que nos caracteriza, creemos que la ingeniería hecha con responsabilidad, rigor y propósito, puede transformar realidades y aportar en los ámbitos local, regional e internacional.

Impacto del gasto del gobierno colombiano en la transición energética a partir del año 2018

Impact of Colombian government spending in energy transition since 2018

LAURA SOFÍA MORALES-RAMIREZ¹ – IVÁN CAMILO DURÁN-TOVAR²

1. Estudiante del programa de Economía de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Doctor en Ingeniería Eléctrica. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4659-445X>.

laura.morales-ra@mail.escuelaing.edu.co - ivan.duran@escuelaing.edu.co

Recibido: 13/07/2024 Aceptado: 31/08/2024

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

Resumen

El presente artículo tiene como finalidad mostrar el impacto del gasto del gobierno colombiano en la transición energética solar a partir del año 2018. Este análisis se basa en la información dada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), múltiples documentos proporcionados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) e información suministrada por XM, *La República* y el Banco Mundial, con el propósito de identificar cómo se distribuye el gasto del gobierno en diferentes áreas y, al mismo tiempo, observar el porcentaje invertido en la energía.

Los resultados de los estudios efectuados para observar el impacto del gasto del gobierno a lo largo del tiempo, desde el año 2018, muestran que en el 2020 hubo una gran inversión a los proyectos en la transición energética; además, se muestran las regiones de Colombia donde son claves para la transición energética, así como los factores positivos y negativos que han contribuido en los programas de apoyo, evidenciando fortalezas y debilidades en esta ruta de la transición energética.

Palabras claves: transición energética, energía solar, gasto gubernamental, inversión pública, Colombia.

Abstract

The purpose of this article is to show the impact of Colombian government spending on the solar energy transition of 2018. This analysis is based on information provided by DANE, multiple documents given by UPME and information given by XM, *La República*, and the World Bank, with the purpose of identifying how government spending is distributed in different areas, in turn, observing the percentage invested in energy.

The results of the studies led to observe the impact of government spending over time from the year 2018 show that in the year 2020 it presented a large investment to projects in the energy transition. Additionally, key regions of Colombia for energy transition are shown and the different positive and negative factors that have contributed in the support programs, evidencing strengths and weaknesses in this route towards energy transition.

Keywords: energy transition, solar energy, government spending, public investment, Colombia.

INTRODUCCIÓN

Desde el año 2018, el gobierno colombiano decidió apostar por la energía solar como parte de su eje central para la transición energética, motivo por el cual destinó recursos significativos para impulsar su desarrollo. A lo largo de este artículo se analizó el impacto del gasto gubernamental en la adopción de la energía solar en el país, al tiempo que se evaluó su impacto en las regiones de Colombia y se analizó su magnitud en el gasto gubernamental, al igual que sus logros y desafíos.

Y es que el gobierno nacional ha reconocido otras opciones para reducir el consumo de CO₂ y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), una de las cuales es potenciar la energía solar para diversificar su matriz energética. Para llevar a cabo este análisis, se tuvo en cuenta el gasto del gobierno en el periodo 2018- 2022, además de las inversiones hechas para la transición energética y otras variables que ayudaron a tener un análisis más profundo, si se enfoca desde un contexto global de la lucha contra el cambio climático y la búsqueda por un futuro energético sostenible.

El artículo se divide en cinco secciones fundamentales. La primera es la introducción al artículo, la segunda corresponde a la definición de la transición energética, la tercera es la metodología empleada para el estudio del impacto de dicha transición, en la cuarta se analizan los resultados aplicando la metodología sugerida y en la quinta se dan las conclusiones evidenciadas en el texto.

INTRODUCTION

Since 2018, the Colombian government has decided to commit to solar energy as part of its central focus for energy transition, which is why it has allocated significant resources to promote its development. This article analyzes the impact of government spending on the adoption of solar energy in the country, while evaluating its impact on Colombia's regions and analyzing its magnitude in government spending, as well as its achievements and challenges.

The national government has recognized other options for reducing CO₂ consumption and greenhouse gas (GHG) emissions, one of which is to promote solar energy to diversify its energy matrix. To carry out this analysis, government spending in the 2018-2022 period was taken into account, as well as investments made for the energy transition and other variables that helped

to provide a more in-depth analysis, focusing on the global context of the fight against climate change and the search for a sustainable energy future.

The article is divided into five main sections. The first is an introduction to the article, the second defines the energy transition, the third describes the methodology used to study the impact of this transition, the fourth analyzes the results using the suggested methodology, and the fifth presents the conclusions drawn from the text.

TRANSICIÓN ENERGÉTICA

La transición energética se define como el cambio de una forma de producción de energía basada en combustibles fósiles a otra que aprovecha fuentes renovables, como la solar y la eólica (Shell Colombia, s.f.). En Colombia, este proceso se comenzó a estructurar legalmente con la Ley 1715 de 2014, mediante la cual se crearon incentivos fiscales para promover las fuentes no convencionales de energía (FNCE) y la eficiencia energética (EE).

En primer lugar, la Ley 1715 estableció beneficios como exenciones arancelarias e IVA, deducciones en el impuesto de renta y depreciación acelerada para proyectos de FNCE y EE, incentivos fiscales que permitieron una reducción significativa de costos en proyectos solares y facilitaron el crecimiento de esta industria en el país. Desde el año 2018 se han emitido 531 certificados de proyectos en los que se han empleado fuentes no convencionales de energía (FNCE) y 267 certificados de proyectos de eficiencia energética (EE), tal como se observa a continuación (figuras 1 y 2).

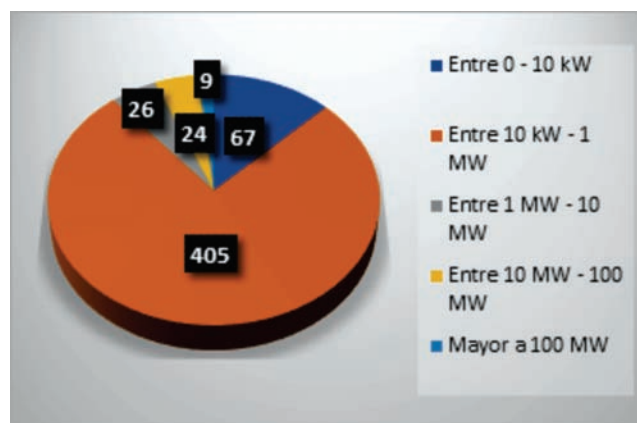


Figura 1. Certificados por rango de capacidad - FNCE. Tomado de *Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia* (Minminas, 2021).

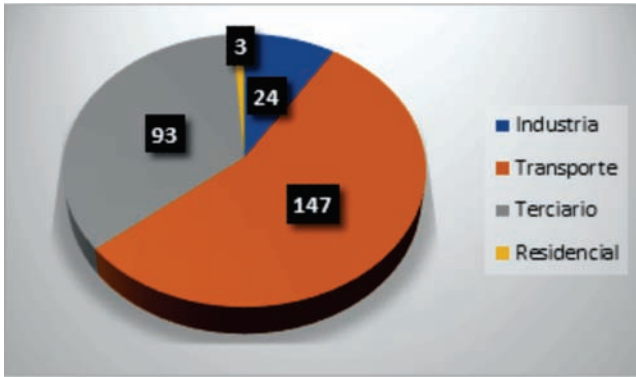


Figura 2. Certificado EE por sector. Tomado de *Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia* (Minminas, 2021).

En segundo término, se encuentran las políticas públicas y los objetivos de diversificación; a partir del año 2018, el gobierno colombiano fijó metas para fortalecer la matriz energética mediante políticas que promovieran la inversión en FNCE. Durante la administración del presidente Iván Duque se impulsaron iniciativas como las subastas de renovables, que ayudaron a lograr avances significativos con la entrada de más de 2800 MW en proyectos de energía solar y eólica.

En tercera instancia, las regiones estratégicas para la transición energética, el gobierno identificó áreas claves para la generación de energía renovable, entre las que sobresale la región Caribe por su potencial solar y eólico, seguida de la Amazonia, la Orinoquia y el Eje Cafetero. Cada una de estas zonas ofrece recursos específicos que además de facilitar la instalación de proyectos solares de diversas escalas, diversifican la matriz mediante el aprovechamiento de las condiciones locales.



Figura 3. IVA avalado - FNCE. Tomado de *Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia* (Minminas, 2021).

En cuarto lugar está el impacto en la emisión de certificados y beneficios tributarios por parte de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), que ha certificado más de 500 proyectos desde 2018, los cuales se han beneficiado de la exención del impuesto al valor agregado (IVA) y otros incentivos tributarios (figura 3). Este apoyo gubernamental no solo ha impulsado el crecimiento del sector solar, sino que también ha posicionado a Colombia como un atractivo en América Latina para inversiones en energía renovable.

Tabla 1

Cuentas nacionales (años preliminares)

Año	Admin. pública (%)	Defensa (%)	Seguridad (%)	Asuntos económicos (%)
2018	7,3	3,9	6,9	10,1
2019	6,7	3,6	6,7	9,9
2020	5,6	3,4	6,8	8,7
2021	6,2	3,3	6,3	20,9
Año	Medio ambiente (%)	Vivienda (%)	Salud (%)	Cultura y deporte (%)
2018	1,7	1,6	16,4	2,2
2019	2,0	1,7	16,0	2,8
2020	1,4	1,8	18,3	1,5
2021	1,6	1,9	17,9	1,8
Año	Educación (%)	Protección social (%)	Deuda pública (%)	
2018	13,5	27,9	8,6	
2019	14,0	27,3	9,4	
2020	12,0	32,2	9,1	
2021	11,6	28,8	10,1	

Fuente: DANE, 2023.

Por último, es importante mencionar que el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) ha venido analizando anualmente el gasto gubernamental en Colombia desde 2018, utilizando la Clasificación de las Funciones del Gobierno (CFG) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Este análisis, basado en el Sistema de Cuentas Nacionales (SCN, 2008) y el Manual de Estadísticas de Finanzas Públicas (MEFP, 2014), permite desglosar el gasto del gobierno por sectores específicos, según los objetivos de su intervención.

Al observar la tabla anterior (tabla 1), se puede evidenciar que si bien la porción destinada a la protección ambiental ha sido relativamente baja, el gasto en asuntos económicos (incluye la infraestructura energética) ha desempeñado un papel muy importante en el apoyo de la transición energética.

METODOLOGÍA

El enfoque y las herramientas que se emplean para analizar el impacto del gasto gubernamental en la transición energética solar en Colombia desde 2018 se proporcionan de la siguiente manera (figura 4). En primer lugar, se realizó una recolección de datos sobre el gasto del gobierno en proyectos de energía solar y otras fuentes renovables, utilizando informes gubernamentales, bases de datos públicas y documentos de instituciones relevantes. Posteriormente, se hizo un análisis exploratorio para identificar patrones y tendencias, aplicando herramientas estadísticas y de visualización en Stata y R para observar relaciones entre variables claves, como el gasto gubernamental y el crecimiento de la capacidad instalada de energía solar.

Para evaluar cuantitativamente el impacto del gasto, se emplearon modelos de regresión que permitieron estimar la relación entre el gasto gubernamental y la capacidad instalada, con variables de control como el PIB per cápita y el crecimiento económico; además, se hizo una comparación internacional para contextualizar los niveles de inversión de Colombia en relación con otros países o regiones en términos de transición energética. Finalmente, se identificaron factores específicos

que contribuyeron al éxito o fracaso de los proyectos de apoyo a la energía solar mediante técnicas de análisis multivariado, considerando elementos socioeconómicos, ambientales y regulatorios.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Transición energética en las regiones de Colombia

Al analizar la transición energética en Colombia se observa que el gobierno nacional ha identificado varias regiones claves con alto potencial para la generación de energía renovable. La región Caribe se destaca por su alta radiación solar y excelentes vientos, especialmente en La Guajira, Cartagena, Barranquilla y Santa Marta, lo cual facilita proyectos de cualquier escala. En la Amazonia, aunque se registra una buena radiación solar, la distancia y la falta de conexión a la red en el 47 % de los municipios limitan la viabilidad de proyectos grandes; sin embargo, esta región aporta biomasa y tiene potencial geotérmico. La Orinoquia, con una radiación superior a la media, es viable para proyectos de distintos tamaños, con una capacidad instalada de más de 1100 MW hasta el año 2022. El Eje Cafetero ofrece un buen potencial solar, utilizado en proyectos de mediana escala; adicionalmente, cuenta con notables recursos hídricos y alcanza un potencial eléctrico de 1 GW. Por último, la región Central posee una radiación solar sobresaliente, que la convierte en un foco de desarrollo para proyectos de pequeña y gran escala. Estas áreas estratégicas contribuyen al avance de Colombia hacia una transición energética justa y sostenible, que le permitirá maximizar el uso de sus recursos naturales (Arenales, 2023).

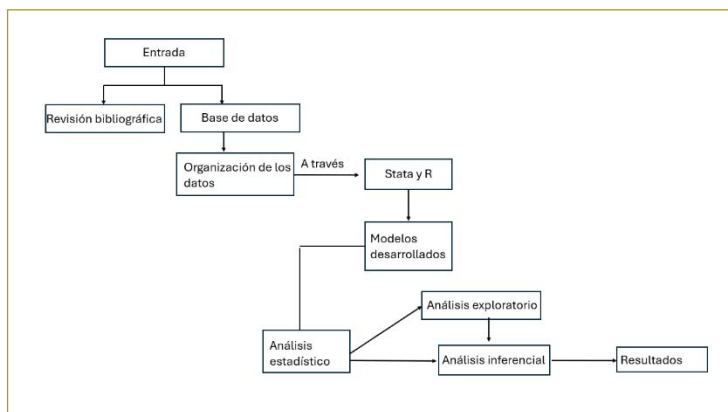


Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología aplicada.

Fuente: Elaboración propia.

La magnitud gubernamental

Se evaluó el impacto del gasto del gobierno en la instalación de la capacidad solar, aplicando un modelo de regresión lineal a escala nacional. Este modelo, aplicando la ecuación (1), estima la relación entre el gasto gubernamental y la capacidad instalada de energía solar, teniendo en cuenta variables como el PIB per cápita y el crecimiento económico (Grupo Banco Mundial, s.f.-a; Grupo Banco Mundial, s.f.-b).

$$\text{InSolar} = \beta_0 + \beta_1 (\text{GG}) + \beta_2 (\text{PIB}) + \beta_3 (\text{CreE})$$

Donde *InSolar* es la instalación, *solar GG* es el gasto del gobierno, *PIB* es el producto interno bruto per cápita y *CreE* es el crecimiento económico.

Los resultados del modelo fueron los siguientes:

- **Gasto del gobierno:** El coeficiente estimado es 22.414,36, lo que indica que, por cada unidad de aumento en el gasto del gobierno, la capacidad instalada de energía solar se incrementa, en promedio, en 22.414,36 unidades. Este coeficiente es bastante significativo desde el punto de vista estadístico, con un nivel de confianza del 92,5 %, lo que sugiere que el gasto público tiene un impacto positivo en el desarrollo de la capacidad solar en Colombia.
- **PIB per cápita:** El coeficiente es $-7,58$, lo que sugiere una relación inversa pequeña entre el PIB per cápita y la instalación de energía solar. Sin embargo, este coeficiente no es estadísticamente significativo ($p = 0,1$), lo que indica que el efecto del PIB per cápita no es concluyente en este modelo.
- **Crecimiento económico:** El coeficiente es 53.773,1, lo cual sugiere una relación positiva entre el crecimiento económico y la instalación solar, aun cuando este resultado tampoco es estadísticamente significativo ($p = 0,2$).

En dichos resultados se destaca que el gasto gubernamental es el principal factor entre las variables consideradas, con un impacto estadísticamente significativo en la capacidad instalada de energía solar en Colombia; esto subraya la importancia de la inversión pública en la transición energética. Además, se analizó la tendencia de inversión en Colombia en el periodo 2018-2022 (tabla 2).

En la figura se puede evidenciar no solo la evolución de la inversión en energía solar en Colombia durante el periodo 2018-2022, sino también una tendencia creciente de la inversión en energía solar a lo largo del periodo, con un aumento significativo a partir del 2020. La variable en el eje X es el año y la variable en el eje Y es la inversión en miles de pesos.

Ese incremento significativo (figura 4) muestra que para el año 2020, a pesar de la pandemia, el país registró la llegada de 41 nuevos proyectos de inversión para el desarrollo de energías por un valor de USD 3793 millones. Además, se puede deber a varios factores, como

la implementación de políticas públicas más favorables a la energía solar, la reducción de los costos de las tecnologías fotovoltaicas y la mayor conciencia sobre los beneficios de la energía solar.

Tabla 2
Variables consideradas

Año	Gasto del gobierno	Inversión en energía solar (USD)	Inversión/gasto del gobierno en energía
2018	0,098	\$460.000.000	\$4.551.020.408
2019	0,087	\$1.602.000.000	\$18.413.793103
2020	0,024	\$3.793.000.000	\$158.041.666.667
2021	0,229	\$1.688.000.000	\$7.371.179.039
2022	0,628	\$143.866.000	\$229.085.987

Fuentes: DANE, 2023; Urrego, 2021.

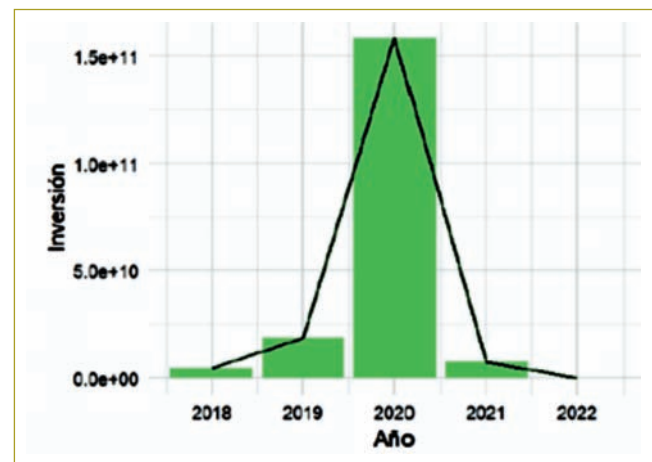


Figura 5. Evolución de la inversión en energía solar (proporcionado por el programa RStudio).

Fuente: Elaboración propia.

Diferentes factores en los programas y proyectos de apoyo

Los programas y proyectos de apoyo en Colombia para la transición energética solar presentan tanto fortalezas como debilidades, los cuales afectan el avance de esta iniciativa. En cuanto a los programas de apoyo del gobierno colombiano, se han implementado varias iniciativas claves para incentivar el uso de energía solar, como el Fondo de Energías Renovables (FER), que otorga subsidios para la instalación de sistemas fotovoltaicos en hogares, empresas e instituciones. Así mismo, se cuenta con el programa de autoconsumo solar, que

ofrece asesoría técnica y financiera para la instalación de paneles solares; adicionalmente, en la Ley 2155 de 2021 se establecen beneficios tributarios para la importación y adquisición de equipos de energía solar. Como parte de su estrategia, el gobierno ha formulado una hoja de ruta para la transición energética, que tiene como objetivo que el 50 % de la energía eléctrica del país provenga de fuentes renovables para 2025.

A escala internacional, varias organizaciones respaldan estos esfuerzos. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) financia proyectos de energía solar en Colombia, mientras que el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) apoya iniciativas solares centradas en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Además, la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ) proporciona asistencia técnica para el desarrollo de la energía solar en el país, y contribuye así a la consolidación de este sector en Colombia.

Entre las principales fortalezas de los programas de apoyo se destaca el incremento de la inversión en energías renovables. Estas iniciativas han impulsado el financiamiento de proyectos de energía solar, eólica e hidroeléctrica en Colombia, lo que ha favorecido el crecimiento del sector. La adopción de energías renovables ha contribuido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, apoyando así la lucha contra el cambio climático y la protección del medio ambiente.

Otra fortaleza es la mejora de la seguridad energética, ya que la diversificación de la matriz energética disminuye la dependencia de combustibles fósiles importados, fortalece la seguridad energética y reduce el riesgo de interrupciones en el suministro. Además, la industria de energías renovables está generando nuevas oportunidades laborales en Colombia, ofreciendo empleos de alta calidad y fomentando el desarrollo profesional. Finalmente, los programas de apoyo han estimulado el avance tecnológico, promoviendo el desarrollo y la adopción de tecnologías más eficientes y accesibles en el sector de energías renovables.

No obstante, existen algunas debilidades en los programas de apoyo que afectan la transición energética. Uno de los principales retos es el elevado costo inicial de los proyectos de energía renovable, lo cual dificulta la participación de pequeñas empresas y comunidades en este proceso; además, la incertidumbre regulatoria, reflejada en la falta de claridad y estabilidad en las nor-

mas sobre energías renovables, puede desincentivar a los inversores interesados en estos proyectos. Otro factor clave es el déficit de infraestructura, pues Colombia necesita invertir en nuevas líneas de transmisión y redes inteligentes para apoyar el crecimiento del sector de energías renovables.

Por último, se requiere una mayor capacitación para que los trabajadores colombianos se puedan integrar en esta industria en expansión, lo que fortalecería aún más el desarrollo del sector.

CONCLUSIONES

El análisis sobre la transición energética en Colombia permite extraer varias conclusiones importantes. En primer lugar, las regiones del país ofrecen un potencial significativo para la generación de energía renovable a partir de fuentes no convencionales. La región Caribe sobresale por su extraordinario potencial solar y eólico, mientras que la Amazonia, a pesar de su buena radiación solar, enfrenta desafíos debido a su distancia y altos costos de infraestructura. La Orinoquia, con una radiación solar superior a la media, permite proyectos a gran y pequeña escala, mientras que el Eje Cafetero sobresale por su potencial solar e hídrico, este último ya aprovechado en gran medida. Finalmente, la región Central, cercana al Caribe, tiene una notable radiación solar, convirtiéndose en un foco de desarrollo para proyectos solares de diversas escalas. Esto evidencia que Colombia cuenta con una variedad de regiones adecuadas para la explotación de energías renovables, lo cual es fundamental para el éxito de la transición energética.

La segunda conclusión se centra en la magnitud del gasto gubernamental en la transición energética. Por medio de un modelo a escala nacional, se analizó la relación entre el gasto del gobierno, el PIB per cápita, el crecimiento económico y la instalación de energía solar en Colombia. Los resultados muestran que el gasto del gobierno tiene un impacto positivo y significativo en la instalación de capacidad solar, en tanto que las variables PIB per cápita y crecimiento económico no presentan significancia estadística; esto subraya la importancia de la inversión pública en proyectos de energía solar, especialmente entre 2018 y 2022. A partir de 2020, se observa un incremento notable en la inversión en energía solar, impulsado por políticas públicas favorables, reducción en los costos de tecnologías fotovoltaicas y

una mayor conciencia sobre los beneficios de la energía solar, a pesar de las dificultades generadas por la pandemia.

Finalmente, en cuanto a los planes y proyectos de apoyo a la transición energética, se concluye que han tenido un impacto positivo en el país. Estos programas han fomentado la inversión en energía renovable, reducido las emisiones de gases de efecto invernadero y creado empleos, contribuyendo así al desarrollo sostenible; sin embargo, persisten desafíos que se deben abordar para asegurar una transición energética justa y sostenible, entre los que se requiere superar las barreras de costos iniciales elevados, la incertidumbre regulatoria, el déficit de infraestructura y la necesidad de capacitación en el sector.

REFERENCIAS

- Arenales, J. (2023). El Caribe es la clave para la ruta de transición energética por su potencial para generar. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/el-caribe-es-la-ficha-clave-para-la-ruta-de-transicion-energetica-3700502#:~:text=Regi%C3%B3n%20Central,Concentra%20peque%C3%B1as%20centrales%20hidroel%C3%A9ctricas>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2023). *Gastos del gobierno general por finalidad (GGF)*. DANE. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-anuales/gastos-del-gobierno-general-por-finalidad>.
- Grupo Banco Mundial (s.f.-a). *PIB per cápita (dólar a precios actuales)*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.CD?locations=CO>.
- Grupo Banco Mundial (s.f.-b). *Crecimiento del PIB (% anual)*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?locations=CO>.
- Ministerio de Minas y Energía (2021). *Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia*. Minminas. https://www.minenergia.gov.co/documents/5856/TRANSICION_ENERGETICA_COLOMBIA_BID-MINENERGIA-2403.pdf.
- Shell Colombia (s.f.). *Transición energética: definición e importancia*. <https://www.shell.com.co/sostenibilidad/transicion-energetica.html>.
- Urrego, A. (2021). Desde 2018 han llegado 54 proyectos de renovables por USD 7500 millones. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/desde-2018-han-llegado-54-proyectos-de-energias-renovables-por-us-7-500-millones-3193351>.

El sistema de bicicletas compartidas como modo de acceso al sistema de transporte público. Caso de estudio: Tembici y estaciones de TransMilenio Polo y Carrera 47, de la ciudad de Bogotá

Bike-sharing system as an mode of access to the public transport system. Case study: Tembici and two Transmilenio stations, Polo and Carrera 47, in the city of Bogotá

KAREN GABRIELA JAIMES-MARTÍNEZ¹ – MÓNICA MARCELA SUÁREZ-PRADILLA²

1. Magíster en Ingeniería Civil. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Doctora en Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5864-4771>.

karen.jaimes@mail.escuelaing.edu.co - monica.suarez@escuelaing.edu.co

Recibido: 25/07/2024 Aceptado: 13/09/2024

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

Resumen

El crecimiento acelerado de las áreas urbanas ha sobrecargado los servicios de movilidad, lo que ha llevado a la popularización de la bicicleta para recorridos de primera y última milla, como complemento del transporte público. Con este estudio se busca identificar el uso de bicicletas compartidas como modo de acceso al transporte público en la ciudad de Bogotá, D.C., enfocándose en las estaciones denominadas Polo y Carrera 47. Para esto, se hizo una caracterización de la zona; luego, el diseño y la aplicación de encuestas para realizar la caracterización socioeconómica de los usuarios, además de la información respecto del viaje y los motivos por los que escogerían un plan de Tembici o no, para hacer tanto el recorrido de primera o última milla como el viaje completo. Posteriormente, se desarrolló un modelo de regresión estadístico tipo Logit para estimar el peso de las variables que influyen en la decisión de los usuarios. Los resultados muestran que el desconocimiento del sistema de bicicletas compartidas limita su empleo para la intermodalidad con los sistemas de transporte público.

Palabras claves: primera y última milla, transporte público, sistemas de bicicletas compartidas.

Abstract

The accelerated growth of urban areas has overwhelmed mobility services, leading to the increasing popularity of bicycles for first- and last-mile travel, thereby complementing public transportation. This study aims to identify the use of shared bicycles as a mode of access to public transport in Bogotá, D.C., focusing on the stations known as Polo and Carrera 47. To achieve this, a characterization of the area was conducted, followed by the design and implementation of surveys to collect socioeconomic data on users, along with information about their trips and the reasons for choosing—or not choosing—a Tembici plan for either first- or last-mile travel or for the entire journey. Subsequently, a statistical logit regression model was developed to estimate the weight of the variables influencing users' decisions. The results show that a lack of awareness about the shared bicycle system limits its use as a means of intermodality with public transport systems.

Keywords: first and last mile, public transport, bike-sharing systems.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito global, el crecimiento acelerado de las áreas urbanas en las últimas décadas ha hecho que el porcentaje de urbanización aumentara hasta un 55 % para el año 2018, y se estima que este porcentaje alcance un 70 % para el 2030 (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2019; Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021). Además, solo entre el 20 y el 25 % de la expansión urbana se encuentra planificada correctamente (ONU, 2016). Así, existe una sobrecarga en los servicios urbanos, en particular en los servicios de movilidad, para satisfacer las necesidades básicas de las personas que habitan en estas áreas.

Aunque las ciudades han avanzado en la implementación de los sistemas de transporte público, la falta de planificación y articulación de los procesos urbanos y de transporte ha generado una cobertura insuficiente. Se estima que solo el 53 % de las personas que viven en áreas urbanas tienen acceso directo al transporte público, según la ONU (s.f.). Esto ha ocasionado problemas de primera y última milla, etapas del viaje que requieren mayor accesibilidad espacial y que son decisivas para que los usuarios utilicen el transporte público para movilizarse (Kåresdotter et al., 2022).

Por esto, es necesario promover la articulación entre el transporte multimodal, entre modos motorizados y no motorizados, y la planificación del territorio, con el fin de garantizar sistemas seguros, facilitar los viajes intermodales y así disminuir los tiempos de espera y los riesgos que corren los peatones y ciclistas a causa de los modos motorizados.

Se ha evidenciado también que el empleo de la bicicleta hace que las estaciones de transporte público sean mucho más atractivas para el usuario, si se garantiza una correcta conexión intermodal entre estos modos (Centro de Estudios sobre Redes, Transportes, Urbanismo y Construcción Pública [Certu], 2013).

Por otro lado, de acuerdo con la Encuesta de Movilidad de 2019, el 67 % de los más de trece millones de viajes diarios que se hacen en la ciudad de Bogotá, D.C., se realizan en modos sostenibles: buses intermunicipales, transporte colectivo y SITP, TransMilenio, bicicleta y modos peatonales (correspondientes a viajes de más de quince minutos).

Adicionalmente, vale la pena destacar el impacto que tuvo la pandemia por covid-19 en los viajes que se hacen en bicicleta en la ciudad de Bogotá, pues el uso

de la bicicleta se incrementó de manera significativa durante este periodo; por ejemplo, en abril de 2020 se registraban 360.000 viajes diarios, cifra que aumentó a 650.000 en diciembre de 2020 (Ramírez, 2021). De acuerdo con la Secretaría Distrital de Movilidad (2022), esta tendencia se mantuvo luego de la pandemia, ya que se contabilizan más de 680.000 viajes diarios en bicicleta.

Según Copenhagenize (2019), Bogotá es la ciudad número 12 entre las 20 ciudades más amigables con la bicicleta; no obstante, todavía falta camino para que se convierta en líder mundial, además de que los sistemas de bicicletas públicas se han implementado recientemente, por lo que aún se desconoce su efecto en el ciclismo urbano y en la intermodalidad con los sistemas de transporte público.

Y es que la intermodalidad entre las bicicletas y el transporte público contribuye a una mejor calidad de vida e integra con mayor eficiencia las tres etapas del viaje (Rivas et al., 2021), como se ha podido comprobar en Delft (Países Bajos) (Ma et al., 2020), Washington, D.C., y Minneapolis (Estados Unidos) (Martin y Shaheen, 2014) y Nanjing (China) (Ji et al., 2016).

INTRODUCTION

Globally, the rapid growth of urban areas in recent decades has led to an increase in the urbanization rate, reaching 55% by 2018, with estimates suggesting it will rise to 70% by 2030 (United Nations [UN], 2019; World Health Organization [WHO], 2021). Furthermore, only between 20% and 25% of urban expansion is properly planned (UN, 2016). This has resulted in an overload of urban services, particularly transportation services, which struggle to meet the basic needs of people living in these areas.

Although cities have made progress in implementing public transportation systems, the lack of planning and integration between urban development and transport processes has led to insufficient coverage. It is estimated that only 53% of people living in urban areas have direct access to public transportation, according to the UN (n.d.). This has led to first- and last-mile problems—stages of a trip that require greater spatial accessibility and are crucial for users to opt for public transportation (Kåresdotter et al., 2022).

Therefore, it is necessary to promote integration between multimodal transportation—including both motorized and non-motorized modes—and land use

planning, in order to ensure safe systems, facilitate intermodal travel, and reduce wait times and the risks pedestrians and cyclists face due to motorized traffic.

It has also been shown that using bicycles makes public transportation stations significantly more attractive to users, provided that there is proper intermodal connectivity between these modes (Centro de Estudios sobre Redes, Transportes, Urbanismo y Construcción Pública [Certu], 2013).

On the other hand, according to the 2019 Mobility Survey, 67% of the more than thirteen million daily trips made in Bogotá D.C. are taken using sustainable modes: inter-municipal buses, collective transportation and the SITP, TransMilenio, bicycles, and pedestrian modes (for trips longer than fifteen minutes).

Additionally, it is worth highlighting the impact that the COVID-19 pandemic had on bicycle travel in Bogotá. Bicycle use increased significantly during this period. For example, in April 2020, 360,000 daily trips were recorded, a number that rose to 650,000 by December 2020 (Ramírez, 2021). According to the Secretaría Distrital de Movilidad (2022), this trend continued after the pandemic, with more than 680,000 daily trips currently made by bicycle.

According to Copenhagenize (2019), Bogotá ranks 12th among the 20 most bike-friendly cities. However, it still has a way to go to become a global leader, especially since public bike-sharing systems have only recently been implemented, meaning their impact on urban cycling and intermodality with public transportation systems remains unknown.

In fact, the intermodality between bicycles and public transport contributes to a better quality of life and more efficiently integrates the three stages of a trip (Rivas et al., 2021), as has been demonstrated in Delft (Netherlands) (Ma et al., 2020), Washington, D.C., and Minneapolis (United States) (Martin & Shaheen, 2014), and Nanjing (China) (Ji et al., 2016).

CASO DE ESTUDIO: ESTACIONES DE TRANSMILENIO POLO Y CARRERA 47, DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ

Para la elección de las estaciones del caso de estudio, se halló que las localidades donde más se camina para acceder al transporte público son Barrios Unidos y La Candelaria, con un total de 4,41 y 4,45 cuadras, respectivamente.

Además de esto, se evidenció que a medida que aumenta el estrato (clasificación socioeconómica de las viviendas o predios residenciales que ayuda a definir el pago de los servicios públicos), se incrementa la distancia de recorrido para acceder al sistema de transporte público masivo de la ciudad (TransMilenio). Una vez revisada la estatificación socioeconómica, de acuerdo con la Secretaría Distrital de Planeación (2019), se advierte que la localidad de Barrios Unidos cuenta en su mayoría con estratos 3 y 4, en tanto que en la localidad de La Candelaria predominan los estratos 2 y 3. Por este motivo se escogió la localidad de Barrios Unidos.

Como parte del análisis espacial, se revisaron los puntos de concentración del sistema de bicicletas compartidas en la ciudad, al tiempo que se identificaron las áreas de mayor cobertura y conectividad. En este ejercicio, se encontró que la estación de TransMilenio Polo se ubica muy cerca del punto de mayor concentración de estaciones del sistema en la localidad, lo que sugiere una alta potencialidad de integración modal; en contraste, la estación Carrera 47 carece de estaciones de bicicletas compartidas en su entorno inmediato, lo que la convierte en un caso interesante para analizar las barreras de acceso y conectividad intermodal, razón por la cual se seleccionaron ambas estaciones como casos de estudio. Esta elección permite observar, desde una escala local, en qué forma las condiciones físicas y la infraestructura disponible influyen en el empleo de modos complementarios (como la bicicleta), dentro del marco más amplio de la movilidad urbana en Bogotá (figura 1).

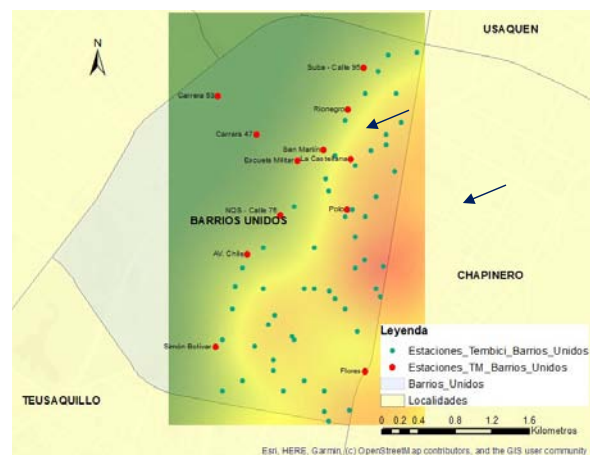


Figura 1. Concentración de estaciones del sistema de bicicletas compartidas Tembici, localidad Barrios Unidos.

Fuente: Elaboración propia, utilizando ArcGIS con datos de Mapas Bogotá. Secretaría Distrital de Movilidad y TransMilenio S.A.

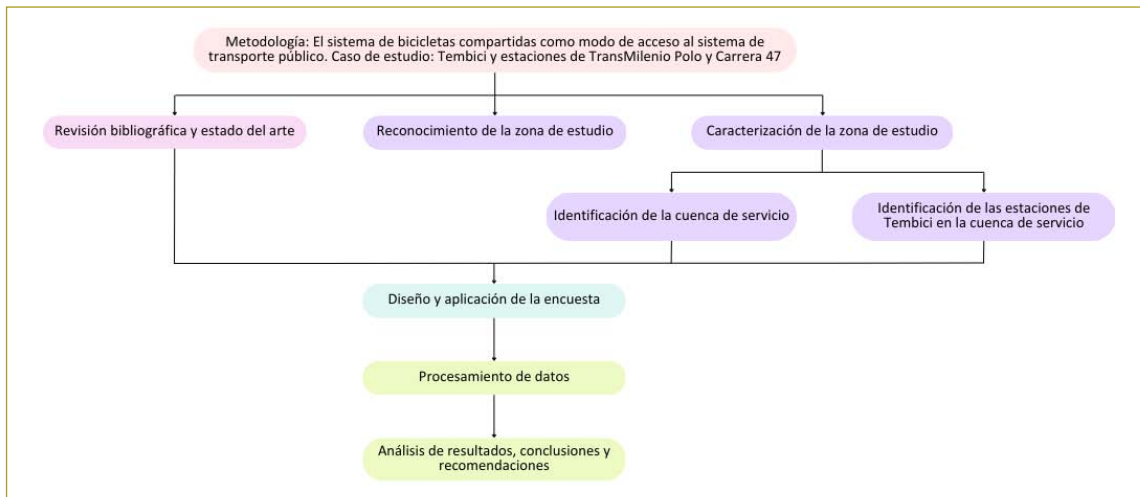


Figura 2. Cuadro metodológico.

Fuente: Elaboración propia.

DESARROLLO

Durante el reconocimiento de la zona de estudio, se toman las coordenadas de los puntos de acceso a las estaciones Polo y Carrera 47, para así realizar la caracterización respectiva por medio de las cuencas de servicio. Con esto, se evidenció que la estación Polo cuenta con seis estaciones de Tembici dentro del área de su cuenca de servicio y que cuatro de estas se encuentran a menos de 200 m de las entradas en la estación de TransMilenio, por lo que serían las que las personas más utilizarían para acceder a la estación.

De acuerdo con Kocur et al. (1982), se aplica una encuesta piloto en la que se evidencia que las personas no acceden a las estaciones de TransMilenio utilizando el sistema de bicicletas compartidas, por lo que para la encuesta definitiva se decide optar por dar un enfoque en que se pregunte si los usuarios de TransMilenio estarían dispuestos a pagar un plan de Tembici para el recorrido de primera y última milla. Esta encuesta definitiva contó con tres secciones principales, que corresponden a la información socioeconómica, información de viaje e información referente al sistema de bicicletas compartidas (Tembici) (tabla 1).

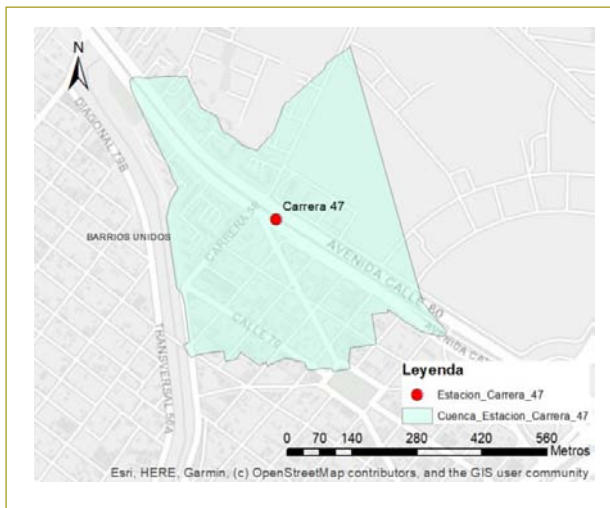


Figura 3. Cuenca de servicio de la estación Carrera 47.

Fuente: Elaboración propia, utilizando ArcGIS con datos de la Secretaría Distrital de Movilidad.

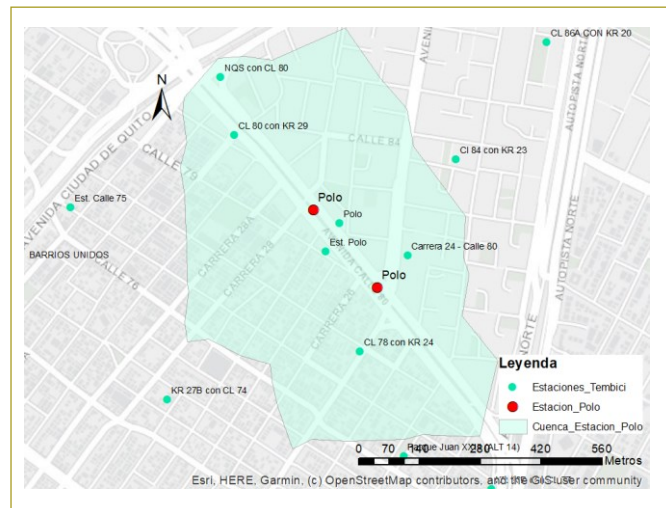


Figura 4. Cuenca de servicio de la estación Polo.

Fuente: Elaboración propia, utilizando ArcGIS con datos de la Secretaría Distrital de Movilidad.

Tabla 1
Preguntas en encuesta definitiva

Sección	Pregunta encuesta
Filtro	Estación de TransMilenio en que se hace la encuesta
Información socioeconómica	Género con el que se identifica
	Edad
	Estrato socioeconómico en que se encuentra su vivienda
	Nivel educativo alcanzado
	Ocupación
	Ingresos (1 SMMLV = \$1.300.000)
Información de viaje	Motivo principal de viaje
	¿Cuál es el modo de acceso a la estación de TransMilenio o de llegada a su destino?
	De acuerdo con la respuesta anterior, indique el costo promedio de dicho modo que utiliza para llegar a la estación de TransMilenio o su destino. En caso de no tener costo, digitar cero.
	¿Cuál es el costo total que paga en el viaje? (refiriéndose a este trayecto)
	¿Cuánto tiempo tarda o tardó en llegar a la estación de TransMilenio o su destino? (indicar tiempo en minutos)
	¿Cuánta distancia recorre para acceder a la estación de TransMilenio o para llegar a su destino? (1 cuadra = 100 metros)
	¿Qué tan frecuente es su viaje de acceso a la estación de TransMilenio o de llegada a su destino?
Sistema de bicicletas compartidas (Tembici)	¿Conoce el sistema de bicicletas compartidas de la ciudad operado por Tembici?
	Por favor, seleccione la opción que sea de su preferencia para cada caso, teniendo en cuenta las opciones de los planes ofrecidos por Tembici: [¿Qué opción escogería para el trayecto de acceso a la estación de TransMilenio o llegada a su destino?]
	Por favor, seleccione la opción que sea de su preferencia para cada caso, teniendo en cuenta las opciones de los planes ofrecidos por Tembici: [¿Qué opción escogería para hacer el viaje completo desde el origen hasta su destino?]
	¿Por qué NO usaría el sistema de bicicletas públicas para acceder a la estación de TransMilenio o llegar a su destino?
	¿Por qué NO usaría el sistema de bicicletas públicas para hacer su viaje completo?
	¿Por qué usaría el sistema de bicicletas públicas para acceder a la estación de TransMilenio o llegar a su destino?
	¿Por qué usaría el sistema de bicicletas públicas para hacer su viaje completo?
	¿Qué lo motivaría a utilizar el sistema de bicicletas públicas para acceder a la estación de TransMilenio?
	¿Tiene algún comentario respecto de la presente encuesta?

Fuente: Elaboración propia.

Para la encuesta definitiva se debían hacer mínimo 375 encuestas y durante la aplicación se efectuaron 379 en total, distribuidas de la siguiente manera: 300 en la estación Polo y 79 en la estación Carrera 47.

RESULTADOS

En razón de que el objetivo central del análisis es identificar los factores que influyen en la elección de un plan de Tembici para cubrir los recorridos de primera o última milla, los datos se procesaron de manera agregada, sin diferenciar entre las estaciones en las que se aplicaron las encuestas. La variable dependiente corresponde a la elección de un plan de uso del sistema de bicicletas compartidas, con tres posibles categorías de respuesta: plan mensual, plan diario y no utilizar el

servicio. Inicialmente, se optó por aplicar un modelo de regresión logística multinomial, adecuado para variables categóricas con más de dos niveles.

Sin embargo, debido al escaso número de respuestas asociadas al plan diario, se decidió excluir esta categoría, puesto que su inclusión afectaba la estabilidad del modelo y la validez de los coeficientes estimados. Como resultado, se procedió a hacer una regresión logística binaria, en la que la variable dependiente toma dos posibles valores: uso (plan mensual) o no uso del sistema. Esta decisión metodológica permitió mejorar la robustez del modelo y facilitar la interpretación de los factores que inciden en la disposición de los usuarios a incorporar la bicicleta compartida como modo complementario de transporte (tabla 2).

Tabla 2
Resultados del modelo de regresión Logit binomial

Variable			Coeficiente	Error estándar	P>z	
Nombre	Referencia	Categoría				
Intercepto			2,7865	0,5863	0,0000	***
Género	Femenino	Masculino	0,5060	0,2526	0,0452	*
Edad	Menor o igual que 18	19-25	-0,8468	0,4312	0,0495	*
		26-34	-0,7598	0,4073	0,0621	.
		35-40	-1,4923	0,4572	0,0011	**
		41-50	-2,2191	0,4960	0,0000	***
		Mayor de 50	-1,8040	0,5468	0,0010	***
Costo	0	\$2500 y \$2950	-1,1066	0,4497	0,0139	*
Distancia	Más de 5 cuadras	1 a 2 cuadras	-0,7688	0,2979	0,0099	**
		3 a 4 cuadras	-0,1005	0,3315	0,7617	
Frecuencia	Diario	Semanal	-1,2081	0,6873	0,0788	.
		Mensual u ocasional	-0,7555	0,3409	0,0267	*
Conoce Tembici	Sí	No	-0,4783	0,2604	0,0662	.
Motivación	Rapidez	Comodidad	-1,6859	0,6092	0,0057	**
		Sistema de acceso integrado con el sistema de transporte público (tarjeta Tullave)	-1,3266	0,5110	0,0094	**
		Mayor seguridad	-1,0702	0,5206	0,0398	*
		Mayor infraestructura de ciclorrutas	-1,4649	0,6105	0,0164	*
		Mayor cobertura del sistema de bicicletas públicas	-1,3663	0,4883	0,0051	**
		Ninguna y No me gusta usar bicicleta	-15,9266	741,8282	0,9829	
Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1						
Null deviance: 488,88 on 352 degrees of freedom						
Residual deviance: 395,32 on 334 degrees of freedom						
AIC: 433,32						

Fuente: Elaboración propia, a partir de resultados obtenidos en R.

Las variables socioeconómicas, como el género y la edad, resultaron bastante significativas para el modelo realizado; así, las personas que se identifican con el género masculino tienen un 65 % más de probabilidades de elegir el plan mensual, en comparación con las personas que se identifican con el género femenino. Además, la edad tiene un impacto negativo en la elección del plan mensual, ya que a medida que aumenta, disminuye la probabilidad de que este sea escogido para el recorrido de primera o última milla en comparación con la edad de referencia, que en este caso es superior o igual a 18 años.

Continuando con las variables referentes al viaje, se evidenció que si bien el costo del modo de recorrido de primera o última milla se encuentra principalmente concentrado en un valor de cero, este recorrido se hace

caminando; dicha variable resultó significativa para el modelo, pues indica que las personas que pagan entre \$2500 y \$2950 tienen un 66,93 % menos de probabilidad de escoger el plan mensual, en comparación con las personas que no pagan por realizar este recorrido.

En cuanto a la distancia del recorrido, se evidencia que a medida que se reduce esta distancia disminuye la probabilidad de que los usuarios escojan el plan mensual, pues se tiene que para las distancias de tres a cuatro cuadras y de una a dos cuadras la probabilidad se reduce en un 9,56 y 53,64 %, respectivamente, en comparación con una distancia de más de cinco cuadras.

Por otra parte, si bien la mayoría de los viajes se hace a diario, esta variable resultó significativa para el modelo, ya que si el viaje es semanal la probabilidad de escoger

el plan mensual baja en 70,12 %, y si el viaje se efectúa mensual u ocasionalmente, la probabilidad disminuye en un 53,02 %, en comparación con los viajes que se realizan a diario.

Por último, las variables relacionadas con el sistema de bicicletas compartidas Tembici, como si conoce el sistema y qué lo motivaría a utilizarlo, resultaron significativas. Si las personas no conocen el sistema de Tembici, la probabilidad se reduce en 38,02 % en comparación con las personas que sí lo conocen. Y con respecto a qué motivaría a los usuarios a utilizar el sistema de Tembici, todas las opciones disminuyen su probabilidad de escoger el plan mensual en comparación con la opción rapidez; para este último caso, el coeficiente de la categoría denominada “Ninguna y No me gusta usar bicicleta” es bastante alto (-15,92), lo que indica que debido a la poca cantidad de datos no se hizo un ajuste correcto, razón por la cual esta variable no se tiene en cuenta en el análisis y las conclusiones del trabajo, además del hecho de que no resultó significativa para explicar el modelo de regresión.

CONCLUSIONES

El desarrollo de la investigación permitió verificar que los usuarios del sistema de TransMilenio, en materia del recorrido de primera o última milla, lo hacen en su mayoría caminando. Por este motivo, respondiendo al objetivo principal, las personas no utilizan el sistema de bicicletas compartidas para realizar el recorrido.

Si bien la implementación de sistemas de bicicletas compartidas hace que utilizar el transporte público sea más atractivo, en este caso en particular se evidenció que no es así, ya que las personas que realizan este recorrido de primera o última milla lo hacen caminando o utilizando uno de los buses zonales del sistema de transporte público; esto se puede deber a que el sistema operado por Tembici todavía es muy nuevo y gran parte de la población no lo conoce aún, motivo por el cual, aun cuando las personas estarían dispuestas a usar un sistema así, no lo hacen por falta de conocimiento.

Las personas que se identifican con el género masculino tienen un 65 % más de probabilidad de escoger el plan mensual para realizar el recorrido de primera o última milla, y a medida que aumenta la edad, disminuye la probabilidad de elección del plan; lo anterior se puede

ver reflejado en que al ser la bicicleta un modo activo, requiere un esfuerzo físico para poder hacer el trayecto.

En lo que concierne a las variables referentes al viaje, a medida que aumenta la distancia de recorrido de primera o última milla se incrementa la probabilidad de escogencia del plan mensual; esto se debe a que, por lo general, las personas prefieren no pagar un sistema adicional cuando la distancia es corta, pues optan por caminar o tomar un bus zonal, ya que con este se pueden hacer transbordos de manera gratuita.

Vale la pena tener en cuenta que si el viaje se hace a diario, la probabilidad de escogencia del plan mensual es mayor en comparación con viajes semanales, mensuales u ocasionales, debido a que al realizar el viaje diariamente se aprovecharía más la utilización del sistema de bicicletas compartidas, puesto que se harían alrededor de 20 a 40 recorridos; este número disminuiría en forma considerable en caso de realizar el viaje semanal, mensual u ocasionalmente, ya que serían alrededor de 4 u 8 recorridos al mes y los usuarios no verían tan provechoso pagar adicionalmente a lo que pagan en el sistema de transporte público.

En relación con las variables referentes al sistema de bicicletas compartidas, la escogencia del plan mensual disminuye en un 38 % en caso de que no se tenga conocimiento de Tembici, por lo que se evidencia la importancia de que las personas y usuarios del sistema de transporte público conozcan el sistema.

Respecto de qué motivaría a los usuarios a utilizar el sistema de bicicletas compartidas para hacer los recorridos de primera o última milla, se encontró que la rapidez es el factor que mayor probabilidad tiene en comparación con el resto, que reduce la probabilidad significativamente.

Se evidencia que en ciudades como Delft, en los Países Bajos, la implementación de los sistemas de bicicletas compartidas aumentó el uso del tren, lo que implica que ayudan a solucionar los problemas de primera y última milla de los sistemas masivos de transporte público. Sin embargo, cabe anotar que en estos lugares la bicicleta ha sido históricamente importante para realizar todos los desplazamientos de los ciudadanos, ya que se le ha dado relevancia en el momento de la planificación urbana. Por esto, en el caso particular de Bogotá, si bien se ha encaminado a dar mayor relevancia al uso de la bicicleta, aún falta un gran camino por recorrer, pues aun cuando la ciudad cada vez cuenta

con mejor cicloinfraestructura, en algunas zonas faltan conectividad y continuidad.

En lo referente al sistema de bicicletas compartidas, este solo tiene cobertura en 6 de las 20 localidades de la ciudad, por lo que falta avanzar con el sistema para que se fomente su uso para recorridos de primera y última milla.

Finalmente, hay que considerar que los sistemas de bicicletas compartidas y de transporte público de la ciudad no son completamente intermodales todavía, puesto que los dos tienen tarifas y modos de acceso diferentes, motivo por el cual aún no se populariza la conexión entre estos para hacer los trayectos de primera y última milla en bicicleta, mientras se realiza el recorrido principal en transporte público.

REFERENCIAS

- Centro de Estudios sobre Redes, Transportes, Urbanismo y Construcción Pública (2013). *Los esquemas de ciclovías y la intermodalidad bicicletas y transportes públicos*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36103/FAL-317-WEB_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Copenhagenize Index (2019). 12. Bogotá (Colombia). <https://copenhagenizeindex.eu/cities/bogota>.
- Datos Abiertos de la Secretaría Distrital de Movilidad (s.f.). *Estaciones Sistema de Bicicletas Compartidas*. Secretaría Distrital de Movilidad. <https://datos.movilidadbogota.gov.co/datasets/movilidadbogota::estaciones-sistema-de-bicicletas-compartidas-3/explore?location=4.650044%2C-74.055598%2C12.95>.
- Datos Abiertos de la Secretaría Distrital de Movilidad (s.f.). *Malla Vial Integral, Bogotá, D. C.* Secretaría Distrital de Movilidad. <https://datos.movilidadbogota.gov.co/datasets/movilidadbogota::malla-vial-integral-bogota-d-c/explore>.
- Datos Abiertos de TransMilenio S.A. (s.f.). Estaciones troncales de TransMilenio. Empresa de Transporte del Tercer Milenio (TransMilenio S.A.). <https://datosabiertos-transmilenio.hub.arcgis.com/datasets/estaciones-troncales-de-transmilenio/explore?location=4.650180%2C-74.125000%2C12.00>.
- IBM (2021, 7 de diciembre). *Regresión logística binaria*. <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/beta?topic=regression-binary-logistic>.
- IBM (s.f.). *¿Qué es la regresión logística?* <https://www.ibm.com/mx-es/topics/logistic-regression>.
- Ji, Y., Fan, Y., Ermagun, A., Cao, X., Wang, W., & Das, K. (2016). Public bicycle as a feeder mode to rail transit in China: the role of gender, age, income, trip purpose, and bicycle theft experience. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(4), 308-317. <https://doi.org/10.1080/15568318.2016.1253802>.
- Kåresdotter, E., Pagea, J., Mörtberg, U., Näsström, H., & Kalantar, Z. (2022). First mile/last mile problems in smart and sustainable cities: a case study in Stockholm County. *Journal of Urban Technology*, 29(2), 115-137. <https://doi.org/10.1080/10630732.2022.2033949>.
- Kocur, G., Adler, T., Hyman, W., & Aunet, B. (1982). *Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment*. Washington, D.C.: National Technical Information Service.
- Ma, X., Yuan, Y., Van Oort, N., & Hoogendoorn, S. (2020). Bike-sharing systems' impact on modal shift: a case study in Delft, the Netherlands. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120846. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120846>.
- Mapas Bogotá (s.f.). Localidad Bogotá, D.C., año 2022. Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital. <https://mapas.bogota.gov.co/#>.
- Martin, E., & Shaheen, S. (2014). Evaluating public transit modal shift dynamics in response to bikesharing: a tale of two U.S. cities. *Journal of Transport Geography*, 41, 315-324. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.06.026>.
- Organización de las Naciones Unidas (2016, 1º de octubre). "El desarrollo urbano no planificado aumentará la desigualdad e impactará el clima", advierte ONU Hábitat. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2016/10/el-desarrollo-urbano-no-planificado-aumentara-la-desigualdad-e-impactara-el-clima-advierte-onu-habitat/>.
- Organización de las Naciones Unidas (s.f.). *Overview*. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/Overview/>.
- Organización de las Naciones Unidas (2019). *World urbanization prospects: the 2018 revision*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la ONU. <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>.
- Organización Mundial de la Salud (2021). *Plan Mundial Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2021-2030*. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/health-topics/road-traffic-injuries/21323-spanish-global-plan-for-road-safety-for-web.pdf?sfvrsn=65cf34c8_35&download=true.
- Ramírez, L. (2021, 6 de marzo). *El coronavirus y nuestro reencontro con la bicicleta*. Alcaldía de Bogotá. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/el-uso-de-la-bicicleta-durante-la-pandemia>.
- Rivas, M., & Serebrisky, T. (2021). *El rol del transporte activo en la mejora de la movilidad de las personas de bajos ingresos en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/El-rol-del-transporte-activo-en-la-mejora-de-la-movilidad-de-las-personas-de-bajos-ingresos-en-América-Latina-y-el-Caribe.pdf>.
- Secretaría Distrital de Movilidad (2022). *Bogotá, Capital Mundial de la Bici*. https://www.movilidadbogota.gov.co/web/plan_bici#:~:text=Bogotá%20es%20una%20ciudad%20l%C3%ADder,en%20este%20medio%20de%20transporte.
- Secretaría Distrital de Planeación (s.f.). *Estratificación socioeconómica*. <https://www.sdp.gov.co/gestion-estudios-estrategicos/estratificacion/estratificacion-por-localidad>.
- Unión temporal Steer & Centro Nacional de Consultoría (2019). *Caracterización de la movilidad. Encuesta de Movilidad de Bogotá 2019*. Secretaría Distrital de Movilidad. <https://www.simur.gov.co/encuestas-de-movilidad>.

Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto adicionado con residuo de granalla

Evaluation of the mechanical properties of concrete with added shot blasting waste

SANTIAGO ESTEBAN-RISSO¹ - LUIS HERNÁNDEZ-FONSECA² - RAY PEÑA-PARDO³ - SEBASTIÁN GONZÁLEZ-OLARTE⁴ - KEVIN TAMI-TORRES⁵

1. Estudiante del Programa de Ingeniería Civil. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
2. Estudiante del Programa de Ingeniería Civil. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
3. Estudiante del Programa de Ingeniería Civil. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
4. Estudiante del Programa de Ingeniería Civil. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
5. Magíster en Ingeniería Civil. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0370-334X>.

santiago.risso@mail.escuelaing.edu.co - luis.hernandez-f@mail.escuelaing.edu.co - ray.pena@mail.escuelaing.edu.co - sebastian.gonzalez-o@mail.escuelaing.edu.co

Recibido: 05/08/2024 Aceptado: 15/09/2024

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

Resumen

La creciente demanda de proyectos de infraestructura sostenible ha impulsado la búsqueda de opciones para mitigar el impacto ambiental generado por la industria de la construcción. En este sentido, se reconoce que la producción de cemento es uno de los procesos de mayor generación de gases de efecto invernadero (GEI). Así mismo, buscando reducir la proporción de cemento en mezclas de concreto, se evaluó el potencial del polvo de granalla, un residuo de la industria metalúrgica, como sustituto parcial del cemento en mezclas de concreto. Para este efecto, se ejecutó un programa experimental en el que se incorporaron la elaboración y el ensayo de especímenes, al igual que la recopilación y el procesamiento de datos posteriores.

Adicionalmente, se evaluaron muestras control, así como cuatro proporciones de remplazo (2,5 %, 5,0 % y 7,5 %), valorando tanto propiedades mecánicas como de durabilidad. De acuerdo con los resultados obtenidos, hubo mejoras significativas en la resistencia a la compresión, tracción y flexión en muestras adicionadas, especialmente con remplazos de 2,5 % y 5,0 % de polvo de granalla. A 28 días de curado, las mezclas con 2,5 % de sustitución alcanzaron un incremento del 50,7 % en resistencia a la compresión y redujeron la permeabilidad a los iones cloruro, lo que indica una mejora en la durabilidad del concreto. Por otra parte, a pesar de que un 7,5 % de sustitución mostró mejoras menos pronunciadas, representa una opción más sostenible al reintroducir mayores cantidades de residuo industrial.

En este estudio se resalta la importancia de utilizar residuos industriales como la granalla para mejorar la sostenibilidad de la construcción, ya que así se disminuye la huella de carbono y se promueve la economía circular en la industria del concreto.

Palabras claves: cemento, sostenibilidad, polvo de granalla, propiedades mecánicas, durabilidad.

Abstract

The growing demand for sustainable infrastructure projects has prompted the search for alternatives to mitigate the environmental impact generated by the construction industry. In this sense, cement production is recognized as one of the processes with the highest greenhouse gas emissions. In order to reduce the proportion of cement in concrete mixes, this study evaluated the potential of shot blasting dust, a waste product of the metallurgical industry, as a partial substitute for cement in concrete mixes. To this effect, an experimental program was executed that incorporated the preparation and testing of specimens, as well as the subsequent collection and processing of data.

Additionally, control samples were evaluated, as well as four replacement proportions (2.5 %, 5.0 %, and 7.5 %), evaluating both mechanical and durability properties. The results showed significant improvements in compressive, tensile and flexural strength in the added samples, especially with 2.5 % and 5.0 % shot blasting dust replacements. At 28 days of curing, the mixes with 2.5 % replacement achieved a 50.7 %

increase in compressive strength and reduced permeability to chloride ions, indicating an improvement in concrete durability. On the other hand, although 7.5 % substitution showed less pronounced improvements, it represents a more sustainable option by reintroducing greater amounts of industrial waste.

This study highlights the importance of using industrial waste such as shot blasting to improve the sustainability of construction, decreasing the carbon footprint and promoting the circular economy in the concrete industry.

Keywords: cement, sustainability, shot blasting dust, mechanical properties, durability.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de proyectos de infraestructura ha impulsado la búsqueda de diseños más eficientes y sostenibles, lo que ha significado nuevos desafíos en técnicas constructivas, en el uso de materiales y en sus impactos ambientales. En este orden de ideas, se tiene como reto la disminución de la huella de carbono relacionada con este material, considerando que el concreto es uno de los materiales de uso más extensivo y reconociendo que la producción de cemento es una actividad que se destaca en la producción de gases de efecto invernadero (GEI). Para tal fin, el empleo de materiales cementantes suplementarios ha significado una alternativa para mezclas más sostenibles, buscando que incidan de manera positiva en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto, y mitigando, al mismo tiempo, su impacto ecológico.

Igualmente, se reconoce que la industria metalúrgica es una de las más importantes en el ámbito internacional, pero también que es responsable de grandes cantidades de residuos, muchos de los cuales no se gestionan en forma adecuada; por ejemplo, del proceso de granallado de superficies metálicas se produce un polvo que normalmente se considera como un desecho. Este polvo de granalla, de acuerdo con la composición de las esferas empleadas, puede tener un alto contenido de aluminosilicatos.

En estudios previos se ha evaluado la incidencia del polvo de granalla en el concreto como remplazo de agregado fino, y se han hallado resultados favorables en remplazos cercanos al 30 % (Ramírez y Vergara, 2013). Sin embargo, haciendo hincapié nuevamente en que el componente más contaminante del concreto es el cemento, se planteó un programa experimental, cuyo objetivo fue evaluar la incidencia del polvo de granalla, como remplazo parcial del cemento, en las propiedades mecánicas y de durabilidad de mezclas de concreto.

Este proyecto se desarrolló en el marco de las líneas de investigación de comportamiento de materiales de construcción y de construcción sostenible, dos de las cuatro líneas en las que el Grupo de Investigación en Estructuras y Materiales (Gimeci), de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, concentra sus esfuerzos.

INTRODUCTION

The growing demand for infrastructure projects has driven the search for more efficient and sustainable designs, leading to new challenges in construction techniques, material use, and their environmental impacts. In this context, reducing the carbon footprint associated with concrete is a key challenge, considering that concrete is one of the most widely used materials and acknowledging that cement production is a major contributor to greenhouse gas (GHG) emissions. To address this, the use of supplementary cementitious materials has emerged as an alternative for more sustainable mixes, aiming to positively affect the mechanical properties and durability of concrete while simultaneously mitigating its ecological impact.

Furthermore, the metallurgical industry is recognized as one of the most important globally, but it is also responsible for large amounts of waste, much of which is not properly managed. For example, the process of shot blasting metal surfaces produces dust that is typically considered waste. According to the composition of the spheres used, this shot dust may have a high content of aluminosilicates.

Previous studies have evaluated the impact of shot dust in concrete as a replacement for fine aggregates, with favorable results found when replacing up to 30% (Ramírez & Vergara, 2013). However, emphasizing again that the most polluting component of concrete is cement, an experimental program was designed with the objective of assessing the impact of shot dust as a partial replacement for cement in the mechanical properties and durability of concrete mixes.

This project was developed within the research lines of construction material behavior and sustainable construction, two of the four research lines focused on by the Research Group on Structures and Materials (Gimeci) at the Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

A partir de la revisión de la bibliografía, se decidió evaluar la incidencia de la granalla en distintas proporciones de remplazo en peso de cemento, considerando el enfoque de sostenibilidad de este trabajo:

- 0,0 % - control.
- 2,5 %.
- 5,0 %.
- 7,5 %.

Como consecuencia de esto, se elaboraron especímenes de concreto de ensayo, sobre los que se midieron distintos parámetros. Se hace énfasis en que, durante el proceso de mezcla, la granalla se agregó en seco al cemento, antes de mezclarse con el resto de los materiales de mezcla.

Las propiedades evaluadas, la normativa referente y las edades de ensayo se resumen a continuación. Cabe anotar que el número de especímenes evaluados por edad y por porcentaje de remplazo se identifican entre paréntesis.

- **Resistencia a la compresión (ASTM C39-24)**
Cilindros de 100 × 200 mm
4 (2), 14 (2) y 28 (2) días.
- Resistencia a la tracción indirecta (ASTM C49617)
Cilindros de 100 × 200 mm
28 (2) días.
- **Resistencia a la flexión (ASTM C78-22)**
Vigas de 150 × 150 × 500 mm
14 (2) y 28 (2) días.
- **Resistencia a la penetración de iones cloruro (ASTM C1202-22)**
Discos de 100 × 50 mm
14 (4) y 28 (4) días.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Una vez finalizada la etapa experimental, se procedió con el análisis de dispersión de los resultados, para así reportar los datos estadísticamente representativos.

Los resultados obtenidos de cada ensayo, así como su correspondiente análisis, se detallan en las secciones posteriores.

Resistencia a la compresión (f_c)

Los valores de resistencia a la compresión agrupados por porcentaje de remplazo, obtenidos en cada edad de ensayo, se evidencian a renglón seguido (tabla 1):

Tabla 1
Resultados de resistencia a la compresión

Edad (días)	Resistencia a la compresión f_c (MPa)			
	Porcentaje de remplazo			
	Control	2,5 %	5,0 %	7,5 %
4	4,66	6,66	6,16	4,41
14	11,19	17,20	17,10	13,61
28	14,05	21,17	20,67	16,61

Fuente: Elaboración propia.

Inicialmente, es posible evidenciar que, entre todos los especímenes, las mayores resistencias se lograron en forma consistente por las muestras con un 2,5 % de remplazo de cemento por residuo de granalla. De manera paralela, no se evidenció gran variación entre los datos de 2,5 % con respecto a los resultados arrojados por las muestras con un remplazo del 5,0 %. Por último, se presenta que, a una edad de 28 días, la menor resistencia correspondió a las muestras patrón, registrando valores por debajo de las muestras con porcentaje de sustitución.

La variación de la resistencia de cada mezcla con porcentaje de sustitución, en relación con la mezcla control, para cada una de las edades de ensayo, se evidencia a renglón seguido (tabla 2):

Tabla 2
Variación de la resistencia a la compresión

Edad (días)	Variación de la resistencia a la compresión			
	Porcentaje de remplazo			
	Control	2,5 %	5,0 %	7,5 %
4	–	43,0 %	32,3 %	-5,26 %
14	–	53,6 %	52,8 %	21,7 %
28	–	50,7 %	47,1 %	18,2 %

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla se pueden apreciar mejoras significativas en la respuesta mecánica de las mezclas con adición de polvo de granalla, respecto a los especímenes de la mezcla control. Nuevamente, se evidencia que los porcentajes de remplazo de 2,5 % y 5,0 % son óptimos en este ámbito, mientras que un remplazo de 7,5 %, aun cuando también denota un aumento en la resistencia, no es tan significativo en comparación con las otras mezclas.

Finalmente, se denota el comportamiento de ganancia de resistencia en el tiempo de las tipologías de espécimen ensayadas (gráfico 1).

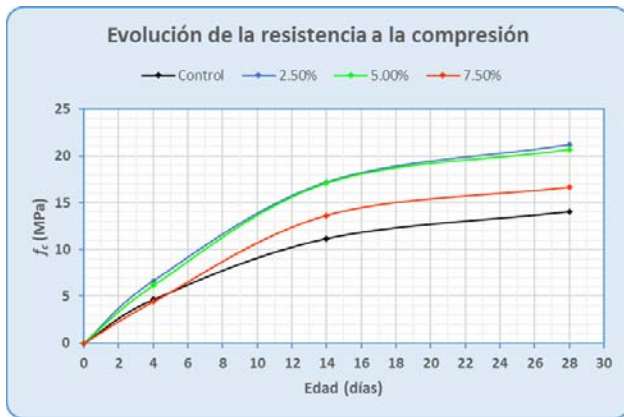


Gráfico 1. Evolución de la resistencia a la compresión.

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico se observa la similitud de comportamiento entre los especímenes con porcentajes de remplazo de 2,5 % y 5,0 %. De igual manera, se evidencia la diferencia entre las resistencias a 28 días, denotando la incidencia positiva de bajas dosificaciones de polvo de granalla como remplazo de cemento.

Resistencia a la tracción indirecta

A continuación, se ilustra el modo de falla típico en especímenes sometidos al ensayo de tracción indirecta (imagen 1). Por otra parte, los resultados obtenidos de este ensayo para cada porcentaje de sustitución de polvo de granalla, en 28 días, se describen más adelante (tabla 3):

De modo similar a lo evidenciado en compresión, se muestra que la resistencia a la tracción obtenida en muestras adicionadas fue mayor que aquella correspondiente a los especímenes control (tabla 3). Igualmente, los aumentos más significativos fueron otra vez los relacionados con las mezclas de 2,5 % y 5,0 % de rem-

plazo de polvo de granalla, ya que lograron mejoras de 35,9 % y 46,3 % con respecto a la muestra patrón, correspondientemente. Por otra parte, la mezcla con 7,5 % de remplazo alcanzó un aumento en su resistencia a tracción de 27,9 % en relación con la muestra control.

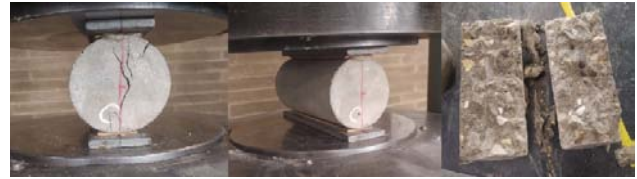


Imagen 1. Realización de un ensayo de tracción indirecta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3
Resultados de resistencia a la tracción

Resistencia a la tracción indirecta f_t (MPa)				
Edad (días)	Porcentaje de remplazo			
	Control	2,5 %	5,0 %	7,5 %
28	1,62	2,20	2,37	2,08

Fuente: Elaboración propia.

Por último, se evidenció que, a 28 días, todos los valores de resistencia a la tracción se encuentran en un rango entre un 10 % y 13 % del valor de resistencia a la compresión correspondiente, lo que implica que la adición mantiene la relación que se conoce convencionalmente.

Resistencia a la flexión (MR)

En la imagen siguiente (imagen 2) se puede ver el modo de falla de un ensayo de flexión (que muestra una falla en el tercio central), mientras que en la tabla que aparece a continuación (tabla 4) se resumen los resultados de esta propiedad en las muestras ensayadas.



Imagen 2. Realización de un ensayo de módulo de rotura.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4
Resultados de resistencia a la flexión

Edad (días)	Resistencia a la flexión (MR) (MPa)			
	Porcentaje de remplazo			
	Control	2,5 %	5,0 %	7,5 %
14	1,97	2,38	2,31	2,26
28	2,29	2,69	2,75	2,56

Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia otra vez que todas las muestras adicionadas presentaron un mejor comportamiento mecánico que las muestras control, al tiempo que se identificó una mejora más significativa en los especímenes con adición de 2,5 % y 5,0 %. Incluso, a 28 días, se observó que el mejor comportamiento fue aquel dado por la mezcla con un 5,0 % de remplazo cemento por polvo de granalla.

A renglón seguido, se puede apreciar la variación de la resistencia a flexión de cada dosificación de polvo de granalla en relación con las muestras de control (tabla 5).

Tabla 5
Variación de la resistencia a la flexión

Edad (días)	Variación de la resistencia a la flexión			
	Porcentaje de remplazo			
	Control	2,5 %	5,0 %	7,5 %
14	–	20,8 %	17,5 %	14,9 %
28	–	17,2 %	20,0 %	11,7 %

Fuente: Elaboración propia.

En este aspecto, se señala que si bien se obtuvieron resultados positivos, la incidencia de la granalla no fue suficiente como para que la resistencia a la flexión alcanzara valores comparables con los de resistencia a la compresión; por tanto, se considera que el diseño de estructuras nuevas elaboradas con concreto reforzado adicionado con polvo de granalla puede seguir realizándose con las metodologías de diseño convencionales.

Finalmente, se ilustra el proceso de ganancia de resistencia a la flexión en el tiempo. Se observa que, de manera similar al proceso de ganancia de resistencia a la compresión, con una velocidad alta en los primeros días y una desaceleración a medida que se aproximan los 28 días, el fraguado se ha efectuado en una gran cantidad de partículas (gráfico 2).

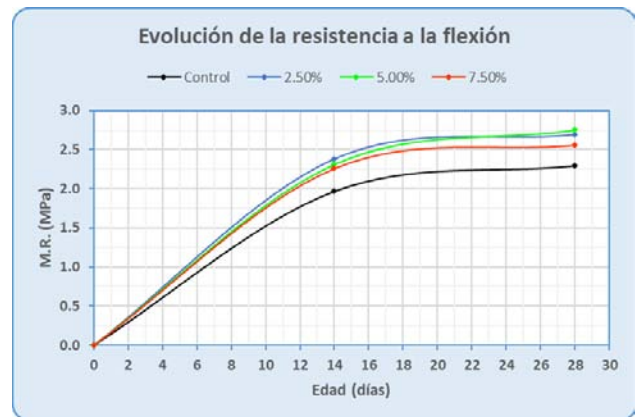


Gráfico 2. Evolución de la resistencia a la flexión.

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la penetración de iones cloruro

El ensayo de resistencia a cloruros tiene un enfoque de durabilidad. Físicamente, la finura de las partículas que conforman una mezcla tiene una incidencia sobre la permeabilidad del material ante agentes externos, razón por la cual en este ensayo se buscó valorar el efecto del polvo de granalla en la durabilidad del concreto.

Inicialmente, se resalta que el parámetro exportado del ensayo corresponde al flujo de carga total obtenido en un periodo de seis horas de ensayo, medido en culombios. En este sentido, una muestra que evidencia una mayor cantidad de corriente significa que es más permeable, o que tiene una menor resistencia a la penetración de cloruros; por el contrario, una mayor resistencia a cloruros se ve representada por una menor cantidad de iones que se desplazaron a través de la muestra.

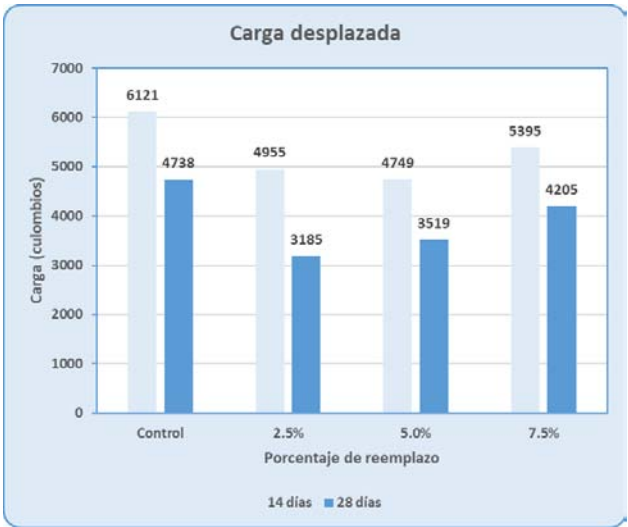
El montaje requerido para la ejecución de este ensayo se ilustra a continuación (imagen 3). Por otra parte, los resultados obtenidos de las dosificaciones evaluadas y en los tiempos de ensayo previstos se agrupan más adelante (tabla 6).



Imagen 3. Realización de un ensayo de penetración de iones cloruro.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6
Resultados de penetración de iones cloruro



Fuente: Elaboración propia.

Para una mejor interpretación de resultados, ASTM C1202-22 incorpora en su apéndice una indicación cualitativa que relaciona la penetrabilidad de la muestra al ion cloruro con la carga desplazada (tabla 7).

Tabla 7
Penetrabilidad del ion cloruro de acuerdo con la carga desplazada

Carga desplazada (culombios)	Penetrabilidad del ion cloruro
>4000	Alta
2000-4000	Moderada
1000-2000	Baja
100-1000	Muy baja
<100	Insignificante

Fuente: ASTM, 2022.

En este sentido, para los resultados obtenidos, se obtiene la categorización mostrada seguidamente (tabla 8).

Se evidencia que a 14 días todas las muestras presentaron una alta penetrabilidad de iones cloruro; esto es normal debido a que el proceso de curado todavía es efectivo, por lo que los espacios intersticiales aún permiten un alto flujo de carga para todas las dosificaciones de polvo de granalla.

Por otra parte, a 28 días se observó que las muestras control y con 7,5 % de reemplazo mantuvieron una alta

penetrabilidad del ion cloruro; sin embargo, las muestras con 2,5 % y 5,0 % redujeron su penetrabilidad de alta a moderada. Esto indica que la adición tuvo una incidencia positiva sobre la durabilidad del concreto en dichas dosificaciones.

Tabla 8
Resultados de penetración de iones cloruro

Ensayo de cloruros			
Porcentaje de reemplazo	Edad (días)	Carga (culombios)	Penetrabilidad
Control	14	6121	Alta
	28	4738	Alta
2,5 %	14	4955	Alta
	28	3185	Moderada
5,0 %	14	4749	Alta
	28	3519	Moderada
7,5 %	14	5395	Alta
	28	4205	Alta

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las mezclas de concreto que contenían 2,5 % y 5,0 % de sustitución de cemento por residuo de granalla mostraron un incremento significativo en la resistencia a la compresión en comparación con las muestras de control, durante tiempos de curado de 4, 14 y 28 días. En particular, la mezcla con 2,5 % de sustitución mostró el mayor aumento de resistencia después de 28 días, y obtuvo un valor 50,7 % mayor que el registrado en la muestra control, lo que sugiere un impacto positivo del polvo de granalla en las propiedades mecánicas del concreto.

Así mismo, a 28 días, todas las mezclas que contenían residuo de granalla lograron una mayor resistencia a la tracción indirecta, en comparación con las muestras control. Para esta propiedad, nuevamente las mejoras más significativas se evidenciaron para los porcentajes de reemplazo de 2,5 % y 5,0 %, y este último fue el que reveló un mejor comportamiento. Estos resultados indican que, a pesar de que no se pueda emplear granalla como elemento que confiere altas características a tracción del concreto, sí aumentan el margen de seguridad

en el cumplimiento de estados límite de servicio, como formación de fisuras o desarrollo de deflexiones.

De manera similar, los resultados de módulo de rotura también mostraron un mejor comportamiento en los especímenes con un 2,5 % y 5,0 % de residuo, y consiguieron a 28 días valores de resistencia 17,2 % y 20,0 % mayores que los de la muestra control, respectivamente. Sin embargo, a pesar de que la mezcla con un 7,5 % de remplazo también mejoró la resistencia, el incremento fue menos significativo que el evidenciado con los otros porcentajes de sustitución.

Igualmente, la prueba de penetración de iones cloruro demostró que remplazar el cemento con un bajo porcentaje de residuo de granalla (2,5 % a 5,0 %) reduce la permeabilidad del concreto, lo que puede significar una mejora en la resistencia a la corrosión en ambientes agresivos. Este conocimiento es muy importante para el ámbito de la durabilidad y vida útil de las estructuras de concreto reforzado.

Por lo general, entre las mezclas con residuo, aquellas con un 7,5 % de sustitución fueron las que evidenciaron una mejora menos significativa respecto a las muestras con 2,5 % y 5,0 % de sustitución. De todos modos, a los 28 días de curado, las muestras con esta proporción de adición (7,5 %) registraron un incremento en la resistencia a la compresión en un 18 %, en la resistencia a la tracción en un 28 % y en el módulo de rotura en un 12 %, en relación con las muestras control.

Vale la pena anotar que si bien no resultó ser el porcentaje de sustitución más adecuado en términos de propiedades mecánicas, su empleo representa la mayor sostenibilidad, en tanto que contiene una mayor cantidad de residuo de granalla y una menor cantidad de cemento.

Para posteriores investigaciones, se recomienda contrastar los beneficios mecánicos brindados por usar bajos porcentajes de remplazo de cemento por polvo de granalla, con la ventaja ambiental que significa reintroducir a la cadena productiva un residuo de la industria del acero como remplazo parcial de un material como

el cemento. Este análisis permitiría obtener un rango de porcentajes de sustitución óptimo.

Al incorporar el polvo de granalla en la mezcla, se promueven la gestión y la reutilización sostenible de los residuos industriales, evitando su acumulación, reduciendo la necesidad de espacios para su disposición y aportando a una economía circular. Además, la adición del polvo de granalla ayuda a disminuir la cantidad de cemento necesario en las mezclas de concreto, lo que a su vez reduce la huella de carbono relacionada con su producción.

REFERENCIAS

- Abrasivos y Maquinaria, S.A. (s.f.). Silicato de aluminio (arena para chorrear). <http://www.abrasivosymaquinaria.com/silicato-de-aluminio> [citado el 23 de julio del 2012].
- Andrew, R. M. (2018). Global CO₂ emissions from cement production. *Earth System Science Data*, 10(1), 195-217.
- Benhelal, E., Zahedi, G., Shamsaei, E., & Bahadori, A. (2013). Global strategies and potentials to curb CO₂ emissions in cement industry. *Journal of Cleaner Production*, 51, 142-161.
- Berridi, I. (2008). *Análisis de la influencia de residuos metalúrgicos como áridos en las propiedades del hormigón*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Environmental Protection Agency (2000). *Guide to cleaner technologies: alternatives to chlorinated solvents for cleaning and degreasing*. EPA.
- European Commission (2001). *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference document on best available techniques in the iron and steel industry*.
- Muñoz-Pérez, S. P. (2022). Comportamiento físico-mecánico del hormigón adicionando residuos de acero: una revisión literaria. *Revista UIS Ingenierías*, 21(1), 57-72.
- Ramírez, D. E., y Vergara, M. F. (2013). *Evaluación de la resistencia mecánica del concreto modificado con residuo de granalla de silicato de aluminio* [tesis de pregrado en Ingeniería Química]. Universidad de Cartagena.
- Ramírez, N. (s.f.). Concepto para la disposición del residuo de granalla de silicato de aluminio.
- Serrano, M. F. (2011). *Concreto preparado con residuos industriales: resultado de alianza empresa-universidad*. *Revista Educación en Ingeniería*, 6(11), 1-11.
- World Steel Association (2021). *Steel's contribution to a low carbon future and climate resilient societies*. WSA.
- Yellishetty, M., Ranjith, P. G., Tharumarajah, A., & Bhosale, S. (2010). Life cycle assessment in the minerals and metals sector: a critical review of selected issues and challenges. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(8), 876-890.

Puesta en marcha y evaluación de compostera para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos en la UECI

Implementation and assessment of a composting system for treating organic solid waste in the UECI

RUBÉN BOHADA-GUTIERREZ¹ - MATEO VANEGAS-GARZÓN² -
WILLIAM ALONSO-AGUILERA³ - OSCAR MARTÍNEZ-PADILLA⁴ -
KAREN SANDOVAL-RINCÓN⁵ - JUAN GARCÍA-CAMPOS⁶ - LAURA LESMES-POSADA⁷

1. Estudiante del Programa de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
2. Estudiante del Programa de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
3. Estudiante del Programa de Ingeniería Ambiental. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
4. Estudiante del Programa de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
5. Estudiante del Programa de Ingeniería Ambiental. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
6. Estudiante del Programa de Ingeniería Civil. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
7. Magister en Ingeniería Civil. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3760-6841>.

ruben.bohada@mail.escuelaing.edu.co - mateo.vanegas@mail.escuelaing.edu.co - william.alonso@mail.escuelaing.edu.co -
oscar.martinez-p@mail.escuelaing.edu.co - karen.sandoval@mail.escuelaing.edu.co -
juan.garcia-cam@mail.escuelaing.edu.co - laura.lesmes@escuelaing.edu.co

Recibido: 08/09/2024 Aceptado: 17/10/2024

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

Resumen

En este artículo se presentan los resultados del trabajo realizado por integrantes del Semillero de Investigación en Saneamiento Ambiental de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, cuya finalidad es despertar en la comunidad de la Escuela el interés y la sensibilidad por la investigación y la innovación en el campo ambiental, en desarrollo de un proceso de reflexión-acción. Desde el año 2023 se planteó una propuesta para la gestión de residuos, cuyo nombre es “Puesta en marcha y evaluación de compostera para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos”; en este trabajo investigativo y práctico se plantea un marco teórico detallado sobre el desarrollo de un sistema de compostaje, con base en la utilización de residuos orgánicos biodegradables.

Por otro lado, se busca cuantificar y caracterizar los residuos orgánicos del restaurante central Dialimentos, que representa el punto de distribución de alimentos más grande de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, con el fin de hacer un seguimiento exhaustivo del proceso de producción de material compostado, utilizando instrumentos y planteamientos teóricos sobre su generación.

Por último, se dejan una síntesis y unas conclusiones de los objetivos logrados y el planteamiento de futuras propuestas relacionadas con la gestión de residuos sólidos, así como aspectos que se necesitan mejorar para que este proyecto se siga manteniendo con el paso del tiempo. La continuidad de la gestión de residuos de la mano de esta iniciativa es el verdadero éxito.

Palabras claves: compostaje, gestión de residuos orgánicos, gestión en maduración de material compostado, saneamiento ambiental.

Abstract

This article presents the results of the work carried out by members of the Environmental Sanitation Research Seminar whose purpose is to awaken in the School's community the interest and sensitivity for research and innovation in the environmental field, within a process of reflection-action. Since 2023, a proposal for waste management has been proposed, whose name is: Implementation and evaluation of a composting system for the treatment of organic solid waste. In this research and practical work, a detailed theoretical framework is proposed on the development of a composting system, based on the use of biodegradable organic waste.

On the other hand, it seeks to quantify and characterize the organic waste from the central restaurant Dialimentos, which represents the largest food distribution point of the Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, and with this, to make an exhaustive follow-up of the production process of composted material, using instruments and theoretical approaches on its generation.

Finally, a synthesis and conclusions of the objectives achieved and the approach of future proposals related to solid waste management are presented, as well as aspects that need to be improved so that this project continues to be maintained over time. The continuity of waste management through this initiative is the real success.

Keywords: composting, organic waste management, management in the maturation of composted material, environmental sanitation.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, ha sido relevante llevar a cabo estrategias que ayuden a reducir la generación de residuos sólidos en el mundo debido a las actividades humanas, ya sea de tipo industrial, agrario, doméstico, educativo y comercial, puesto que todas ellas generan una cierta cantidad de compuestos que en muchos casos terminan llegando a los rellenos sanitarios. Entre estos se destacan, en gran medida, los residuos orgánicos, los cuales representan un alto porcentaje de los desechos, pues en todos los hogares, restaurantes, hoteles, centros deportivos y campos de cultivo a lo largo y ancho del país, siempre terminan produciendo, diariamente, restos de comida que por lo general están compuestos de cáscaras de frutas, verduras y granos, huesos, pulpa de jugos y semillas de las frutas, además de residuos de jardinería derivados de la poda de césped, árboles, plantas y hojas caídas, que pueden ser rápida o lentamente biodegradables, de acuerdo con la composición química que se tenga en estos. Tales residuos contribuyen a la generación de gas metano y lixiviado en altas cantidades en su proceso de degradación, lo que da como resultado complejas y costosas infraestructuras de relleno sanitario para las grandes ciudades o municipios en Colombia, aparte de la disminución de la vida útil de esta clase de infraestructura.

En el caso de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, al tener extensas zonas verdes en su campus, es de esperarse que se generen frecuentemente residuos de jardín provenientes de la poda de árboles, césped y plantas, además de residuos de comida provenientes de los centros de distribución de alimentos (restaurantes y cafeterías), los cuales producen una gran cantidad de residuos orgánicos que se ponen por lo general en el centro de acopio de la institución, para su posterior disposición por parte de la respectiva empresa de aseo.

De acuerdo con investigaciones hechas anteriormente, tan solo en el año 2016 la Escuela produjo 347 toneladas de residuos sólidos, de las cuales, 315 toneladas son de clase orgánica putrescible; cabe anotar que el 95 % de estos residuos se origina en los trabajos de jardinería, mientras el restante 5 % se genera a partir de los trabajos que realizan las concesiones de alimentos en el campus universitario (Lesmes Posada, 2018).

Por tal motivo, una de las gestiones que se han venido implementando en los últimos años con este tipo de desechos en el país ha sido el compostaje, proceso biológico aerobio que permite transformar los residuos orgánicos en un material estable e higienizado conocido como compost, abono natural que mejora la fertilidad del suelo para las actividades de cultivo y jardinería, lo que en cierta medida contribuye a reducir la cantidad de residuos sólidos que llegan a los rellenos sanitarios. El Semillero de Investigación en Saneamiento Ambiental, enfocado en el área ambiental de la universidad, ha puesto en funcionamiento durante el segundo semestre del año 2023 una planta piloto de compostaje, con la cual se produce compost a partir de los residuos orgánicos obtenidos del restaurante central.

En este artículo se presentan el proceso, análisis y resultados que se han obtenido con la compostera en el semestre 2023-2, al tiempo que se muestran los avances que se han tenido con esta propuesta de gestión ambiental y el potencial que puede tener esta en la Escuela.

INTRODUCTION

In recent decades, it has become increasingly important to implement strategies that help reduce the generation of solid waste worldwide due to human activities, whether industrial, agricultural, domestic, educational, or commercial, as all of them generate a certain amount

of compounds that often end up in landfills. Among these, organic waste stands out, as it represents a large percentage of the waste. In households, restaurants, hotels, sports centers, and agricultural fields across the country, food scraps are generated daily, typically consisting of fruit and vegetable peels, seeds, bones, juice pulp, and fruit seeds. Additionally, gardening waste, such as grass clippings, tree pruning, plant debris, and fallen leaves, is produced. These materials can be rapidly or slowly biodegradable, depending on their chemical composition. Such waste contributes significantly to the generation of methane gas and leachate during its decomposition process, resulting in complex and costly landfill infrastructures for large cities or municipalities in Colombia, as well as reducing the useful life of such infrastructure.

At the Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, given the extensive green areas on its campus, it is expected that garden waste will be frequently generated from tree, grass, and plant pruning, as well as food waste from the food distribution centers (restaurants and cafeterias), which produce a large amount of organic waste. This waste is generally placed in the institution's central collection area for later disposal by the respective cleaning company.

According to previous research, in 2016 alone, the university produced 347 tons of solid waste, of which 315 tons were of the putrescible organic type. It is noteworthy that 95% of this waste originates from gardening activities, while the remaining 5% comes from food service activities on the campus (Lesmes Posada, 2018).

For this reason, one of the waste management strategies that has been implemented in the country in recent years is composting, an aerobic biological process that transforms organic waste into a stable and sanitized material known as compost. Compost is a natural fertilizer that improves soil fertility for farming and gardening activities, contributing in some way to reducing the amount of solid waste that ends up in landfills. The Environmental Sanitation Research Group, focused on the environmental area of the university, launched a pilot composting plant in the second semester of 2023. This plant produces compost from organic waste obtained from the central restaurant.

This article presents the process, analysis, and results obtained with the composting system in the

2023-2 semester, along with the progress made in this environmental management initiative and its potential impact at the university.

OBJETO Y ALCANCES DEL PROYECTO

Con este proyecto, el Semillero de Investigación en Saneamiento Ambiental tiene como propósito desarrollar una gestión ambiental centrada en el manejo de los residuos sólidos en la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, a partir del funcionamiento permanente y adecuado de una compostera dentro de la institución, con el objeto de generar investigaciones en torno al tratamiento y aprovechamiento de los residuos orgánicos.

Por otro lado, se busca que con el funcionamiento de la compostera se reduzca la carga de orgánicos biodegradables de la Escuela dirigidos al relleno sanitario de Doña Juana, además de producir un material orgánico que permita el desarrollo de actividades de cultivos y jardinería en la institución, disminuyendo los costos e impactos que conlleva.

METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL PROYECTO

El diseño metodológico del proyecto “Puesta en marcha y evaluación de compostera de residuos sólidos orgánicos en la UECI” se realizó en tres fases, que sumaron un total de 18 semanas de trabajo, a lo largo de las cuales se dejaron en claro los procedimientos, estrategias y operatividad del proyecto, para lograr alcanzar los objetivos propuestos dentro del trabajo. Con base en lo anterior, las fases estarían compuestas de la siguiente manera:

Fase 1. Investigativa

La fase 1 se llevó a cabo desde la semana 1 hasta la semana 5 del proyecto, es decir, desde el 14 de agosto hasta el 16 de septiembre de 2023, en la cual se establecieron el estado del arte y el marco teórico, se planteó el marco conceptual y se hizo el análisis bibliográfico respectivo.

Fase 2. Práctica

La fase 2 del proyecto de compostaje, que corresponde a la fase práctica, se llevó a cabo desde el 28 de agosto

hasta el 14 de diciembre de 2023, con un total de 13 semanas. Durante esta fase, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- **Establecimiento del lugar del proyecto:** Adecuación del sitio donde se va a realizar el proyecto y se va a dictar la capacitación técnica.
- **Gestión de residuos sólidos orgánicos:** Se gestionaron los residuos sólidos orgánicos entregados por el restaurante de la Escuela, siguiendo los procedimientos establecidos.
- **Gestión de maduración de compost:** Se sustrajo el compost madurado de los módulos de compostaje y se almacenó en canastas para su maduración final.
- **Seguimiento, mediciones y control del proceso:** Se hicieron mediciones de temperatura, humedad, pH y peso de los residuos y del compost en cada etapa del proceso.

Los resultados de estas mediciones se analizarán en las siguientes secciones del artículo.

Fase 3. Análisis y cierre

La fase 3 del proyecto, que corresponde a la fase de análisis y cierre, se llevó a cabo desde el 11 de diciembre hasta el 18 de diciembre de 2023, durante un total de dos semanas. A lo largo de esta fase, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Discusión de resultados finales.
- Elaboración de productos.
- Análisis de viabilidad.
- Divulgación del proyecto.

Los resultados del análisis de los datos obtenidos durante la fase 3 se presentarán en las siguientes secciones del artículo.

PROCESO DEL COMPOSTAJE

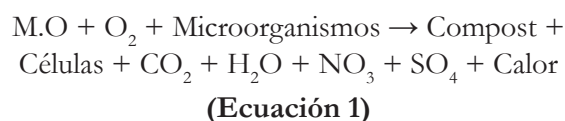
Hay que tener claro que el compost que se va a usar debe ser resultado, en su totalidad, del aprovechamiento de residuos orgánicos; sin embargo, no siempre se entrega lo requerido desde el principio, por lo que es necesario, antes de hacer el proceso, verificar los siguientes pasos para obtener un buen abono.

Se contemplan siete procesos de compostaje, clasificados así:

- **Recepción de RSO:** Se reciben las bolsas de los residuos sólidos urbanos. En este caso, solamente se aceptarán las bolsas verdes, que son las clasificadas como orgánicas.
- **Separación de material recuperable:** Se revisa qué tipo de orgánico se va a utilizar, y se eliminan residuos indomables, como estos:
 - Residuos químicos-sintéticos, tales como pegamentos, solventes, gasolina, petróleo, aceite de vehículos, pinturas, etc.
 - Materiales no degradables (vidrio, metales, plásticos).
 - Aglomerados o contrachapados de madera (ni sus virutas o aserrín).
 - Tabaco, ya que contiene un biocida potente como la nicotina y diversos tóxicos.
 - Detergentes, productos clorados, antibióticos, residuos de medicamentos.
 - Animales muertos.
 - Restos de alimentos cocinados, carne.
- **Reducción de tamaño:** Se procede a picar y condicionar los residuos a los tamaños óptimos, entre 5 y 30 cm.
- **Ajuste de propiedades:** Se agrega material estructurante para reducir la humedad y se procura, además, que la mezcla esté heterogeneizada de material rico en carbono y rico en nitrógeno.
- **Descomposición biológica:** De acuerdo con Tchobanoglous, el compostaje es un proceso biológico que, mediante la acción de los microorganismos sobre la fracción biodegradable de los residuos sólidos, descompone los compuestos que contiene la materia orgánica, tales como proteínas, carbohidratos, lignina, aminoácidos, lípidos y celulosa, hasta producir un material estable, semejante al humus, conocido como compost (1994).

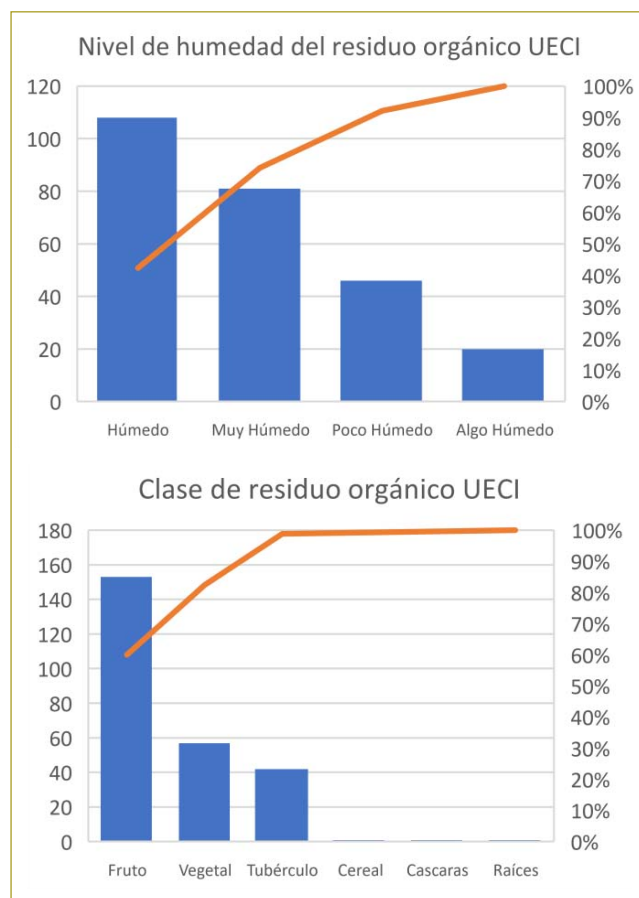
La reacción que se presenta en el proceso de compostaje es la siguiente:

Fórmula química del compostaje



- A renglón seguido, se evidencia que los residuos entregados contienen altos niveles de humedad, posiblemente alterando los procesos de descomposición.

A continuación, se relaciona dicha cuantificación:



En total, se recibieron 255 clases de residuos orgánicos, lo que evidencia la rica variabilidad de residuos orgánicos aprovechados para generar compost. A continuación, se pueden visualizar con más detalle todos los residuos dispuestos; una vez cuantificado el peso, se tiene el siguiente análisis estadístico de todos los pesajes de residuos orgánicos suministrados (gráfico 1).

REVISTA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA, N.º 137 / 2025 / 33-43

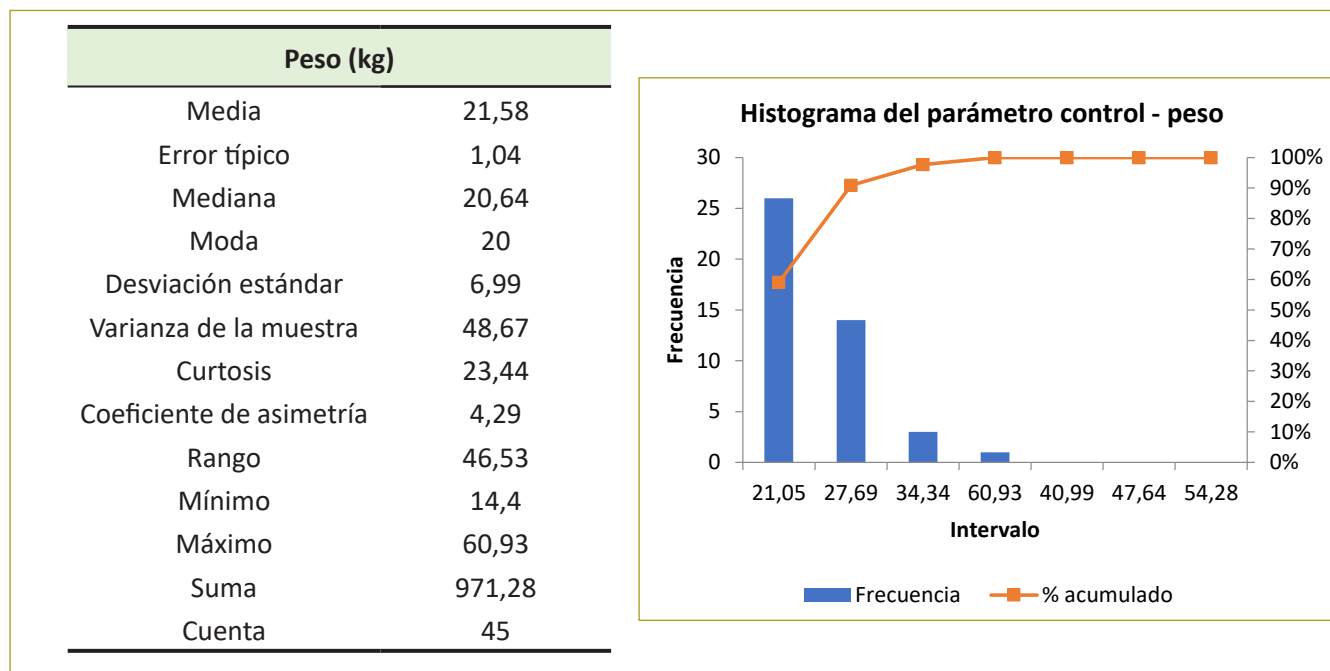


Figura 3. Análisis estadístico del peso de la bolsa de residuos.

De los 60 días trabajados, se recogieron y se transformaron residuos 45 de estos días, esto es, casi el 75 % de las labores prácticas del compostaje; se evidencia además que en promedio se entrega una bolsa que pesa alrededor de 22 kg, valor muy poco variable y muy constante durante el proyecto.

En total, se aprovechó casi una tonelada de residuos en las trece semanas que duró la fase 2, indicando los siguientes estimativos: en primer lugar, si cada bolsa pesa en promedio 22 kg y se generan en promedio tres bolsas, a diario se desperdician en la basura 66 kg de residuos orgánicos, que sumando semanalmente, sin contar sábados, se producirían alrededor de 330 kg cada semana, por lo que semestralmente se llegaría a la suma de 5280 kg de residuos, y sin considerar el periodo intersemestral, se estarían botando al relleno sanitario Doña Juana 10,6 toneladas al año; una vez gestionado este sistema en la Escuela, el proyecto pudo reducir 971,28 kg en trece semanas de trabajo, que es aproximadamente una tonelada.

Ya con los residuos cuantificados, se les hizo un seguimiento continuo de temperatura, humedad y pH a lo largo de su biodegradabilidad y maduración del compost, obteniendo los siguientes resultados:

Parámetro de control, temperatura: Este parámetro, clave para determinar el estado microbiológico en el proceso de compostaje, se midió en los sesenta días de trabajo; además de esto, se cuantificó el estado del clima; se estableció la franja horaria como mañana, mediodía y tarde, con el fin de verificar si estos valores y patrones externos tienen alguna incidencia en las mediciones que se hacen dentro del sistema de compostaje, se tomaron mediciones dentro del sistema de compostaje, donde la línea azul son los valores medidos en la parte inferior de la pila y la línea de color naranja en la parte superior de la pila.

Para efectos de mostrar los resultados del proceso que se llevó a cabo durante todo el proyecto, se tomará como ejemplo el módulo 3, del cual se cuenta con información de temperatura, pH y humedad del proceso de biodegradación y de maduración de compost. A continuación, se evidencian los registros tomados.

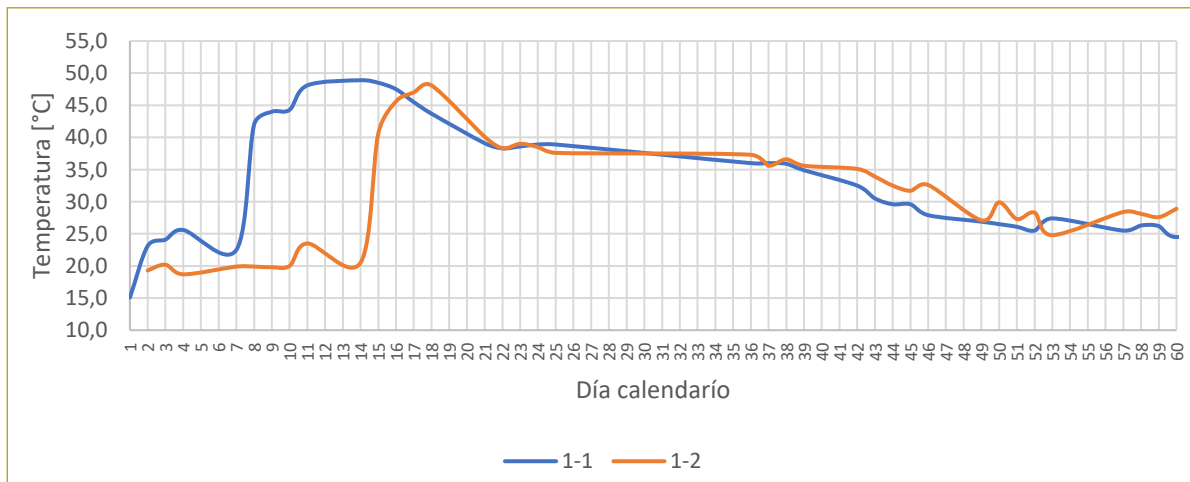


Figura 4. Temperatura del módulo 1, ciclo 1.

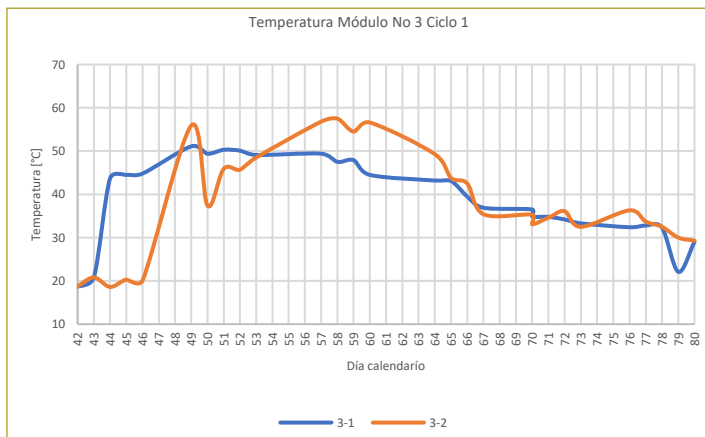


Figura 5. Temperatura en el módulo 3, ciclo 1.

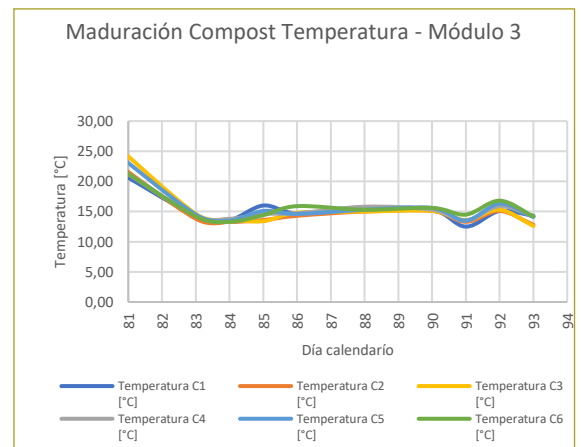


Figura 6. Temperatura del material en maduración del módulo 3.

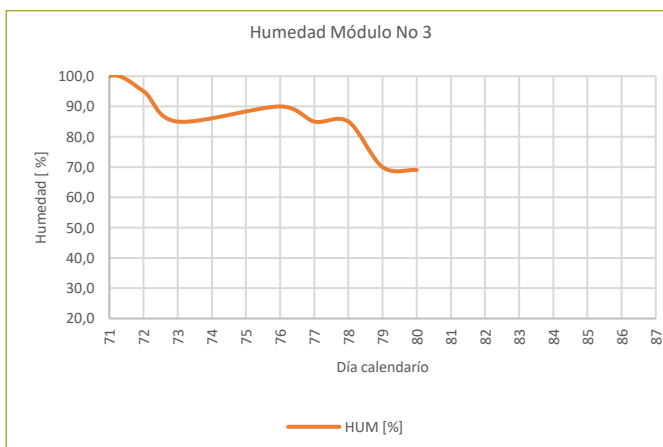


Figura 7. Humedad en módulo 3.

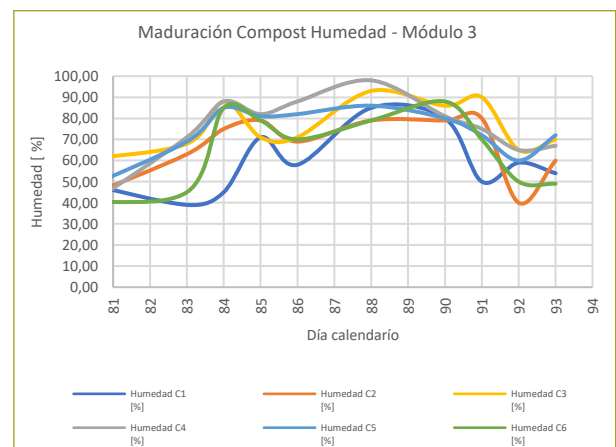


Figura 8. Temperatura del material en maduración del módulo 3.

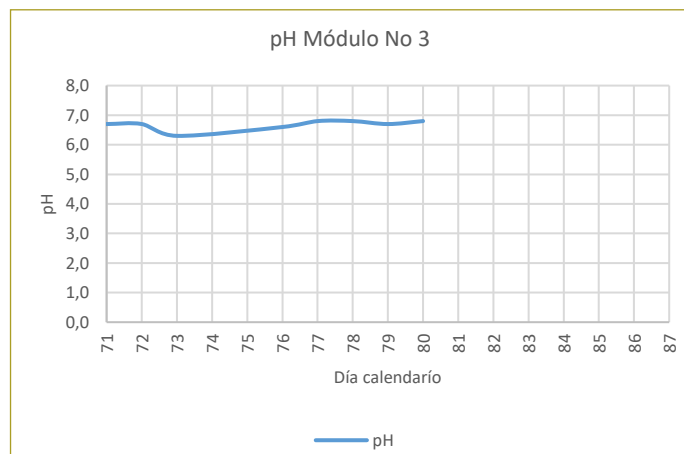


Figura 9. pH en módulo 3.

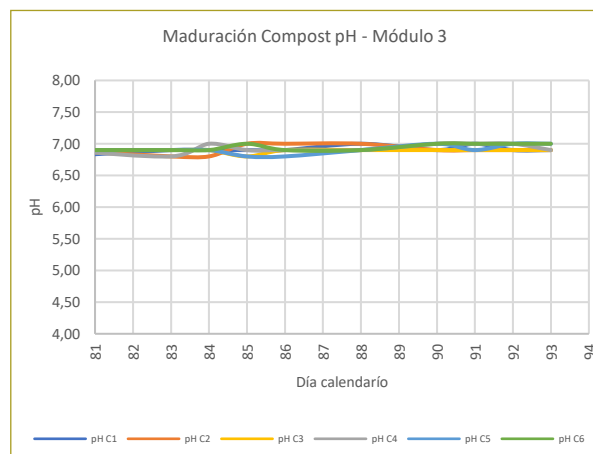


Figura 10. pH del material en maduración del módulo 3.

Como consideraciones para la interpretación de una figura (figura 6), se toma en cuenta que los datos de la línea azul hacen referencia a la temperatura de la parte inferior del módulo y los datos de la línea naranja indican la temperatura de la parte superior de esta, teniendo como variable independiente la fecha real calendario, es decir, el total de días transcurridos desde el inicio del proyecto, que en total fueron 94 días, mientras que en otras figuras se indican los valores obtenidos por canasta de compost (figuras 7, 9 y 11).

Igualmente, es posible analizar una descomposición de tipo mesófila entre 42 y 43 días, una descomposición de tipo termófila, la cual llega a picos entre 50 °C y 58 °C en un plazo de 15 a 120 días, aproximadamente, y por último, una descomposición de tipo mesófila, referente a la etapa de enfriamiento, en la que la temperatura disminuye gradualmente hasta llegar a la temperatura ambiente, cuyo plazo de descomposición se dio entre 15 y 20 días.

En cuanto a la humedad (figura 5), en los datos medidos se puede observar que esta empieza a disminuir por las altas temperaturas en el proceso de descomposición termófila y por la actividad biológica presente en la celda 3; sin embargo, debido al ambiente cerrado, a la gran cantidad de material en la celda y a la falta de una mayor aireación, la humedad no llega a valores por debajo del 50 %.

Por otro lado, está el parámetro del pH (figura 10); inicialmente, se tienen valores que tienden a ser ácidos (entre 4 y 6), a causa de la composición existente, la cual consta principalmente de frutas ácidas (naranja, limón, lulo, mora, entre otras), pero con el pasar del tiempo

y con la actividad biológica presente en la celda, el pH se estabiliza hasta el punto de llegar a la neutralidad.

En lo relacionado con la segunda etapa, correspondiente a la maduración, se muestra que la canasta 1 (C1) y la canasta 2 (C2) comienzan con temperaturas similares y experimentan un descenso hasta los días 83-84, tendiendo a un comportamiento constante en dicho periodo de tiempo en lo referente a la temperatura del material en el proceso de maduración del módulo 3 (figura 7). Posteriormente, en los días 84-86 C1 aumenta cerca de un grado, mientras que C2 disminuye medio grado. Ambas canastas muestran un leve aumento en la temperatura después del día 86, alcanzando alrededor de quince grados. En el día 91 se observa una disminución en la temperatura para ambas canastas, seguida de un incremento en el día 92, donde hay una reducción para el día 93 y C2 termina con una temperatura menor que C1. Este comportamiento de temperatura va asociado a los factores climáticos, puesto que la maduración del compost se hace al aire libre.

Así mismo, en lo que tiene que ver con los parámetros de pH y humedad, respectivamente, se puede evidenciar que el material, después de retirado de la celda, presentó un buen nivel de pH durante el tiempo de maduración para el momento en que se inició el registro de datos, alcanzando un valor alrededor de 6,9, en el cual se busca llegar a la neutralidad del compost. En cuanto a la humedad, se obtuvo una estimación final del 68 %, considerado un valor alto, lo cual se debe a las condiciones medioambientales a las cuales se somete el material (figuras 10 y 11).

Una vez cumplida la etapa de maduración, se realizó el tamizaje del compost para separar las partículas pequeñas de las más grandes, ya que estas últimas se devuelven a la celda para continuar con su proceso de descomposición; en cuanto al material que pasó el tamiz, presenta condiciones físicas y químicas óptimas para utilizarlo como fertilizante orgánico en la huerta de la Escuela (ilustración1).



Ilustración 1. Material compostado.

PROBLEMAS PRESENTADOS DURANTE LA EJECUCIÓN

Durante la ejecución del proyecto de compostaje en la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (UECI), se presentaron los siguientes problemas:

- **Infraestructura insuficiente:** El lugar de gestión de residuos orgánicos es insuficiente y requiere mejoras. En particular, se recomienda construir un área más grande, implementar un sistema de recolección de lixiviados y reparar daños en la carpa, ya que en los días de lluvia el agua alcanza a mojar el compost cuando está en el proceso de maduración.
- **Composición de residuos:** Debido a la alta humedad con que se recibían los residuos orgánicos del restaurante central, se tuvo que hacer un proceso de secado al aire libre de doce horas, con el objeto de que la parte líquida de este fuera percolada y eliminada de los residuos, pues el exceso de humedad representa un problema en el tiempo de biodegradación dentro de las celdas. Al realizar este proceso se presentaron problemas de moscas, ya que eran atraídas por dichos compuestos.

- **Contaminación por hongos:** Se identificaron problemas de contaminación por hongos en el módulo 3 de la compostera, a causa de la presencia de esporas de hongos en los residuos orgánicos o en las lonas de aserrín utilizadas para cubrir la compostera. Se recomienda aplicar cal al compost para reducir la proliferación de hongos.
- **Plásticos biodegradables no biodegradables:** Se encontró que los plásticos biodegradables agregados al compost no se degradaron. Esto se debe a que dichos plásticos no están estandarizados y pueden tener diferentes propiedades de biodegradabilidad. Para mejorar la biodegradabilidad de estos elementos, se recomienda hacer investigaciones para comprender mejor sus mecanismos de degradación.
- **Vectores:** Debido a la composición de los residuos proliferaron vectores como moscas de fruta, entre otros insectos y hongos, lo que reducía la velocidad en la que se llevaban a cabo las actividades diarias.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto de compostaje en la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (UECI) fue un éxito en términos de reducción de residuos orgánicos y viabilidad técnica. Sin embargo, se identificaron algunos desafíos que se deben abordar para mejorar el proceso y maximizar sus beneficios.

Logros

- Se logró reducir la cantidad de residuos orgánicos enviados al relleno sanitario Doña Juana en aproximadamente una tonelada (971,28 kg).
- Se demostró la viabilidad técnica de implementar un sistema de compostaje en la UECI.
- Se generó un espacio de aprendizaje y sensibilización sobre la importancia de la gestión de residuos.

Desafíos

- Mejorar la infraestructura del lugar de gestión de residuos orgánicos.
- Prevenir la contaminación por hongos.
- Verificar las condiciones para la biodegradabilidad de los supuestos plásticos biodegradables.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda mejorar la infraestructura del lugar, incluyendo la construcción de un área más grande, la implementación de un sistema de recolección de lixiviados y la reparación de daños en la carpa.
- Se aconseja continuar investigando para comprender mejor la proliferación de hongos y la biodegradabilidad de los plásticos biodegradables.
- Se recomienda mantener vigente el proyecto por intermedio del Semillero de Investigación en Saneamiento Ambiental para obtener mejores resultados.

Oportunidades de mejora

Además de los desafíos mencionados, existen oportunidades de mejora que se podrían aprovechar para optimizar el proceso de compostaje en la UECI. Estas oportunidades incluyen:

- **Mejorar la educación y la sensibilización sobre la gestión de residuos orgánicos:** Se podrían organizar campañas de concientización para que los estudiantes y la comunidad universitaria conozcan la importancia de reducir, reutilizar y reciclar.
- **Involucrar a más actores en el proyecto:** Se podría trabajar con otras entidades, como el restaurante de la UECI, el Departamento de Humanidades y la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP), para mejorar la gestión de residuos orgánicos en la universidad.
- **Investigar nuevos métodos de compostaje:** Se podría explorar el uso de nuevas tecnologías, para mejorar la eficiencia del proceso.

Con el abordaje de estos desafíos y oportunidades, el proyecto de compostaje en la UECI se podría convertir en un modelo de gestión sustentable de residuos orgánicos para otras universidades y organizaciones.

REFERENCIAS

Bohórquez Santana, W. (2019). *El proceso del compostaje*. Universidad de La Salle. doi:<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1071&context=libros>.
Domenech, X. (1991). Química atmosférica: origen y efecto de la contaminación. En X. Domenech, *Química atmosférica: origen y efecto de la contaminación* (pp. 121-127). Miraguano, S. A.

Giridharan, R., & Emmanuel, R. (2018, julio). The impact of urban compactness, comfort strategies and energy consumption on tropical urban heat island intensity: a review. *Sustainable Cities and Society*, 40, 677-687. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670717313446>.
Llesmes Posada, L. C. (2018). *Evaluación de una alternativa de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito* [maestría en Ingeniería Civil, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/927>
López Sepúlveda, C. A. (2020). *Tipos de reciclaje y separación en la fuente como métodos para disminuir el porcentaje de materiales aprovechables que llegan al relleno sanitario doña Juana en la ciudad de Bogotá*. UNAD-Ecacen. <https://repositorio.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/37256/calopezse.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
Molano Camargo, F. (2019). *El relleno sanitario Doña Juana, historia de un territorio y un paisaje tóxico en el sur de Bogotá*. Asociación Colombiana de Historiadores. <https://asocolhistoria.org/wp-content/uploads/2021/02/42.-MCH2019-S9-HAR.pdf#page=13>.
Moya Castillo, D. (2020). *Propuesta de reducción del efecto isla de calor urbano superficial (ICUS) en la ciudad de Curicó*. Santiago: Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181173>.
Mula, J. A. (s.f.). *Relación carbono-nitrógeno en el compost*. <https://www.agromatica.es/relacion-cn-en-el-compost/>.
Negro, M. J., Villa, F., Aibar, J., Aracón, R., Ciria, P., Cristóbal, M. V., . . . Zaragoza, C. (2000). Producción y gestión del compost. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*, 1-33. <https://digital.csic.es/handle/10261/16792>.
Penagos Vargas, J., Adarraga Buzón, J., Aguas Vergara, D., & Molina, E. (2011, 25 de julio). Reducción de los residuos sólidos orgánicos en Colombia por medio del compostaje líquido. *Ingeniare*, 37-44. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6579711.pdf>.
Puntocompost (s.f.). *Guía de compostaje*. <https://puntocompost.wordpress.com/productos/>.
Ramírez Aguilar, A., & Lucas Souza, L. C. (2019, septiembre). Urban form and population density: Influences on urban heat island intensities in Bogotá, Colombia. *Urban Climate*, 29(100497), 1-19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100497>.
Ramírez Londoño, J. F., & Gallego Carmona, D. E. (2016). *Análisis e Implementación de un proceso de compostaje para la valorización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua residual industrial*. Universidad Católica de Manizales. <https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/1497/1/Jorge%20Fernando%20Ramirez%20L.pdf>.
Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>.
Salazar Arce, T. (2014, 12 de noviembre). Actividad microbiana en el proceso de compostaje aerobio de residuos sólidos orgánicos. *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2), 74-84. doi: <https://doi.org/10.17162/riu.v3i2.524>.
Samaniego Valle, E. (2019). *Diseño de un sistema de compostaje a partir de los residuos sólidos orgánicos del mercado central municipal del cantón Montalvo, provincia de Los Ríos*. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39717/1/Tesis-Emilio_Samaniego.pdf.
Sánchez, J. (2020, 8 de junio). *Qué son los residuos sólidos y cómo se clasifican*. <https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-residuos-solidos-y-como-se-clasifican-1537.html>.

Sánchez-Guevara, C., Núñez Peiró, M., & Neila González, F. (2017). Isla de calor urbana y población vulnerable. El caso de Madrid. *Proceedings of the 3rd International Congress on Sustainable Construction and Eco-Efficient Solutions*, 545-556. Depósito de Investigación Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/59051/Carmen%20sanchez%20guevara.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Soberón Forsberg, V. S., & Obregón Párraga, E. (2015, 7 de abril). Identificación de islas de calor en la ciudad de Lima metropolitana, utilizando imágenes del satélite Landsat 5TM. *Anales Científicos*, 77(1), 35-44. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v77i1.475>.

Somarriva Reyes, R., & Guzmán Guillén, F. (2004). *Guía de la Universidad Nacional Agraria*. <https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>.

Tchobanoglous, G. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. McGraw-Hill.

Impacto de la gentrificación en la dinámica de precios inmobiliarios en Hermosillo (Sonora, México)

Impact of gentrification in the dynamics of real estate prices in Hermosillo (Sonora, México)

GERARDO RAMÍREZ-URIBE^{1*} - ARTURO OJEDA-DE LA CRUZ² -
JESÚS QUINTANA-PACHECO³ - MARCO RAMOS-CORELLA⁴ - ISRAEL MIRANDA-PASOS⁵ -
VALERIA MIRANDA-TORRES⁶

1. Doctor en Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica. Universidad de Sonora Hermosillo México.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7036-764X>.

2. Doctor en Filosofía con Orientación en Arquitectura y Asuntos Urbanos. Universidad de Sonora Hermosillo México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4513-514X>.

3. Doctor en Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica. Universidad de Sonora Hermosillo México.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1797-6213>.

4. Doctor en Ingeniería de Proyectos: Medioambiente, Seguridad, Calidad y Comunicación. Universidad de Sonora Hermosillo México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2564-3307>.

5. Doctor en Ingeniería. Universidad de Sonora Hermosillo México.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0525-9789>.

6. Magíster en Ingeniería Civil. Universidad de Sonora Hermosillo México.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2405-3330>.

gerardo.ramirez@unison.mx - arturo.ojeda@unison.mx - jesus.quintana@unison.mx -
marco.ramos@unison.mx - israel.miranda@unison.mx - valeria.miranda@unison.mx

Recibido: 15/10/2024 Aceptado: 02/11/2024

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

Resumen

En el presente estudio se analiza el impacto de la gentrificación en los precios de alquiler y venta de viviendas en Hermosillo (Sonora, México). A través de un enfoque comparativo, se examinan las variaciones en los valores inmobiliarios entre zonas gentrificadas y no gentrificadas, evaluando sus efectos en la accesibilidad a la vivienda y el mercado local. Los resultados ofrecen una visión detallada de cómo este fenómeno influye en la dinámica de precios y en la calidad de vida de los residentes, aportando información relevante para el desarrollo de políticas de vivienda y planificación urbana.

Palabras claves: gentrificación, precios de vivienda, desarrollo urbano.

Abstract

This study analyzes the impact of gentrification on housing rental and sales prices in Hermosillo (Sonora, Mexico). Through a comparative approach, variations in real estate values between gentrified and non-gentrified areas are examined, evaluating their effects on housing affordability and the local market. The results offer a detailed view of how this phenomenon influences price dynamics and residents' quality of life, providing relevant information for the development of housing and urban planning policies.

Keywords: gentrification, housing prices, urban development.

INTRODUCCIÓN

La gentrificación se define como el proceso que incita cambios socioterritoriales, por medio de inversión de capital, en ciertos sectores de la ciudad que se caracterizan por un previo deterioro (Smith, 1996). Se caracteriza por ser un fenómeno socioespacial y dinámico, en el que se involucran diversos grupos sociales y sus espacios de residencia, resultado de migraciones intraurbanas (Bournazou, 2015).

Se entiende además como un proceso de transformación urbana, social y económica del espacio; el fenómeno implica un desplazamiento, por lo general, de población y actividades económicas tradicionales (Espinosa, 2015). El crecimiento de las ciudades es inevitable y Hermosillo no es la excepción; algunas zonas de la ciudad han sido renovadas en los últimos años, por lo que tienen una mayor demanda de ocupación, principalmente comercial, debido a diferentes factores que las hacen más atractivas para los usuarios.

Este proceso de transformación trae consigo un desplazamiento intraurbano de tales zonas, siendo uno de los factores el alza de precios de alquiler y venta debido a la comercialización de los inmuebles. A lo largo del presente estudio se analiza cómo este proceso ha transformado el mercado inmobiliario local, desplazando a residentes de bajos ingresos y alterando la dinámica social y económica de la ciudad. Por medio de un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), se identificaron las zonas más afectadas y se exploraron las percepciones de los residentes, al tiempo que se hizo un análisis comparativo para determinar tendencias de precios en áreas afectadas y no afectadas por la gentrificación. El objetivo de este estudio es analizar la relación entre la gentrificación y los cambios en los precios de alquiler y venta en Hermosillo, así como sus implicaciones en la calidad de vida de los residentes.

INTRODUCTION

Gentrification is defined as the process that encourages socio-territorial changes, through capital investment, in certain sectors of the city that are characterized by previous deterioration (Smith, 1996). It is characterized as a socio-spatial and dynamic phenomenon, involving various social groups and their living spaces, resulting from intra-urban migration (Bournazou, 2015).

It is also understood as a process of urban, social, and economic transformation of space; the phenomenon usually involves the displacement of traditional populations and economic activities (Espinosa, 2015). The growth of cities is inevitable, and Hermosillo is no exception. Some areas of the city have been renovated in recent years, resulting in greater demand for occupancy, mainly commercial, due to various factors that make them more attractive to users.

This transformation process brings along intra-urban displacement from such areas, one of the factors being the rise in rental and sale prices due to the commercialization of real estate. Throughout this study, we analyze how this process has transformed the local real estate market, displacing low-income residents and altering the social and economic dynamics of the city. Using a mixed (quantitative and qualitative) approach, the most affected areas were identified and residents' perceptions were explored, while a comparative analysis was conducted to determine price trends in areas affected and not affected by gentrification. The objective of this study is to analyze the relationship between gentrification and changes in rental and sale prices in Hermosillo, as well as its implications for residents' quality of life.

MARCO TEÓRICO

El crecimiento descontrolado de las ciudades representa uno de los más grandes desafíos actuales en cuanto a planificación urbanística, pero en especial cuando se presentan el declive de los cascos centrales y la amenaza ante la pérdida de su valor histórico. Además, ha ocurrido un fenómeno denominado *gentrificación*, “un proceso de transformación socioespacial y de intensa movilidad residencial que afecta a las áreas centrales y pericentrales, el cual se genera por la llegada de habitantes de ingresos superiores respecto a la población preexistente” (Contreras, 2016). Este proceso implica movilidad residencial y cambios en la composición social de las zonas afectadas.

En atención a la definición anterior, puede parecer en principio que la gentrificación es una fuerza poderosa para el cambio económico en las ciudades, pero a menudo va acompañada de un desplazamiento cultural extremo e innecesario. Si bien la gentrificación incrementa el valor de las propiedades en zonas que su-

frieron una desinversión prolongada, también da como resultado un aumento de los valores de los alquileres, las viviendas y las propiedades. A medida que estos costos crecientes reducen la oferta de viviendas asequibles, los residentes existentes se pueden ver desplazados, lo que les impide beneficiarse del crecimiento económico y la mayor disponibilidad de servicios que conlleva una mayor inversión. Estudios hechos en varias ciudades latinoamericanas han permitido documentar cómo la gentrificación incrementa el valor de las propiedades, pero también genera desplazamiento de poblaciones vulnerables. Al respecto, Rassel (2019) señala lo siguiente:

La gentrificación parece un fenómeno de conceptualización sencilla. Sin embargo, al abordar su operacionalización queda en evidencia su carácter multidimensional. En la gentrificación confluyen elementos urbanos (la definición del área y de las características que hacen que esta sea atractiva para los gentrificadores), de estratificación social (en la medida en que es necesario distinguir entre grupos sociales) y económicos (precios del suelo y formas de involucramiento de los agentes que buscan capitalizar las rentas de la tierra: los promotores inmobiliarios).

En materia de legislación, también es importante señalar que los cambios sobre tenencia de la tierra para el desarrollo de la vivienda en México han resultado en una expansión urbana descontrolada. En ese sentido, Zúñiga (2022) describe que la mayoría de las adquisiciones de terrenos periurbanos en México se consideraban ilegales antes de la década de los noventa, por lo que los ejidatarios y terratenientes comunales, después de la Revolución mexicana, no estaban autorizados a vender sus tierras, pero lo hicieron de todos modos, particularmente en las periferias urbanas, donde había una gran demanda de tierras; posteriormente, llegó un proceso de expropiación por parte del Estado, a partir de los años setenta. En México, el crecimiento descontrolado y la privatización de la vivienda han sido factores claves en la expansión de este fenómeno.

En ese sentido, el desafío de contener el crecimiento urbano está profundamente entrelazado con el desafío de brindar viviendas adecuadas a los residentes urbanos. Desde la privatización de la vivienda social en México en la década de los sesenta, el Estado mexicano renunció a su responsabilidad de proporcionar vivienda por completo a los sectores social y empresarial, siguiendo

el enfoque neoliberal recientemente adoptado en el país. La privatización y la desregulación favorecieron la compra de antiguos ejidos en forma de tierras agrícolas baratas para el desarrollo de viviendas sociales, con enormes ganancias para el emergente y lucrativo sector de la construcción.

La construcción de las viviendas quedó a cargo del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (Infonavit), que, al lado del Fondo de la Vivienda del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (Fovissste), se convirtieron en las agencias de financiamiento de vivienda más importantes, operando con fondos provenientes de la retención del 5 % de los salarios de los trabajadores. Ambas agencias financiadoras regulan el tamaño de la propiedad y el precio de venta, dejando el valor del suelo como la única variable para obtener ganancias.

Así las cosas, las empresas constructoras se vieron obligadas a buscar y comprar terrenos agrícolas baratos, ubicados lejos de Hermosillo, y trabajar con los gobiernos municipales para cambiar la designación del uso del suelo y, al hacerlo, multiplicar el valor del terreno entre ocho y diez veces su precio original. Este contencioso proceso de expansión urbana sin intervención estatal ha resultado en una serie de conjuntos habitacionales amurallados de miles de diminutas casas idénticas, de muy mala calidad, que se encuentran muy alejadas de la ciudad.

La parte histórica de Hermosillo se ha visto influenciada por una demanda de personas que todavía hacen sus compras en ese sector, aunque también se ha comenzado a reubicar el centro urbano, concentrando funciones y actividades de comercio, así como los servicios, de tal manera que se puedan realizar sin afectar los edificios históricos porque la capital se ha extendido a partir de su centro, y fue aquí donde aparecieron los primeros comercios.

La ampliación de calles y el descuido del patrimonio de la ciudad han ocasionado que viviendas de fines del siglo XIX y de principios del siglo XX sean derrumbadas, por representar un peligro tras su deterioro. La sede de la Sociedad de Artesanos de Hidalgo, que estuvo abandonada por un tiempo, se reinauguró recientemente, ahora como un centro cultural para exposiciones y presentaciones artísticas.

Al hablar de la renovación del centro histórico geográfico de Hermosillo, todos los cambios en estos

espacios fueron parte de una serie de proyectos del gobierno del Estado que venían a darle una mejor vista a la ciudad, y de ese punto en particular, ya que muy cerca están los poderes municipal y estatal. Por otra parte, en términos de generalización la ciudad se ha rodeado de pequeños centros, que asocia a la idea de policentrismo; estos “subcentros urbanos” pueden desarrollar una importancia económica, que radica en una desconcentración del empleo al convertirse en un punto focal del trabajo, el comercio y la recreación. Entonces se reproduce también el patrón de concentración a una escala menor, respecto del núcleo central.

Estrada (2023) destaca, en una revisión de documentos históricos de la ciudad de Hermosillo, que a esta se la llamó la “ciudad de los megaproyectos”; además, desde hace décadas, los administradores de la ciudad llaman a hacer inversiones en forma más fuerte a partir de políticas públicas, con el fin de generar un crecimiento en la economía. Igualmente, desde la óptica turística, la ciudad se ha vuelto más atractiva por sus características. Quizás Hermosillo no sea centro de sol y playa, pero tiene playas cercanas: Bahía de Kino, Guaymas y San Carlos. Esta cercanía se ha vuelto una ventaja para la ciudad, ya que atrae otra clase de inversiones. Lo que está ocurriendo en Hermosillo es, evidentemente, un proceso de gentrificación, pues se puede asociar a lo definido por Janoschka (2016):

La gentrificación consiste en una operación que restringe las opciones de los sectores de menores ingresos de encontrar un sitio adecuado para vivir en un espacio concreto, sobre todo cuando otros grupos sociales con mayor capital económico, social y cultural llegan a vivir a este espacio (Balandro, 2006); por lo tanto, se experimentan condiciones excepcionales debido a que forman parte de la cultura y tradición de las comunidades, es decir, tienen un valor histórico importante.

METODOLOGÍA DE DESARROLLO

En este estudio se utilizó un enfoque mixto, en el que se combinaron métodos cuantitativos y cualitativos para analizar el impacto de la gentrificación en Hermosillo.

Fase cuantitativa

- **Fuentes de datos:** Se recopilaron datos de 500 propiedades en zonas afectadas y no afectadas por la gentrificación.
- **Análisis estadístico:** Se realizaron pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk), comparaciones de medias y análisis de correlación y regresión.

Fase cualitativa

- **Entrevistas semiestructuradas:** Se entrevistó a 20 residentes y comerciantes con experiencia prolongada en las zonas estudiadas.
- **Estudios de caso:** Se analizaron cinco propiedades representativas de distintos aspectos de la gentrificación.

DISEÑO DE LA METODOLOGÍA

Para abordar el fenómeno de gentrificación en Hermosillo (Sonora), y su impacto en los precios de alquiler y venta de propiedades, se adoptará un diseño de investigación mixto. Esto implica la utilización de métodos cuantitativos para el análisis de datos numéricos y métodos cualitativos, con miras a entender los contextos y experiencias asociados al fenómeno.

La investigación mixta es un enfoque metodológico en el que se combinan tanto técnicas cualitativas como cuantitativas en un solo estudio, para proporcionar una comprensión más completa de un fenómeno de investigación. Este enfoque es especialmente útil cuando ninguno de los métodos por separado puede abordar por completo el problema de investigación o las preguntas de estudio (Creswell, 2017). La investigación mixta no solo permite la recolección y análisis de datos numéricos y no numéricos, sino que también ofrece un marco para la triangulación y la validación de los hallazgos, lo que mejora la rigurosidad y la fiabilidad del estudio (Francis, 2013).

Fase cuantitativa

Recolección de datos

1. **Fuentes de datos:** Las fuentes principales serán bases de datos inmobiliarias, registros públicos y anuncios clasificados en línea. También se utilizarán

datos de instituciones gubernamentales, si están disponibles.

2. **Periodo de estudio:** Los datos se recopilarán para un periodo de al menos cinco años antes y después de la identificación inicial de gentrificación en las zonas en cuestión.
3. **Variables:** Las principales variables que hay que considerar incluyen el precio de alquiler, el precio de venta y, posiblemente, factores demográficos como el nivel socioeconómico de los residentes.
4. **Muestreo:** Se seleccionarán muestras aleatorias de propiedades en las zonas identificadas para un análisis más detallado.

Análisis estadístico

1. **Pruebas de normalidad:** Se verificará la distribución de los datos para decidir qué pruebas estadísticas son las más apropiadas.
2. **Comparaciones de medias:** Se emplearán pruebas estadísticas para comparar los precios de alquiler y venta antes y después del fenómeno de gentrificación.
3. **Correlación y regresión:** Se evaluará la relación entre el tiempo y los cambios en los precios, así como entre la gentrificación y otras variables demográficas.

Fase cualitativa

Entrevistas semiestructuradas

1. **Selección de participantes:** Se elegirá a residentes y comerciantes que tengan un historial prolongado en las zonas en estudio para obtener una perspectiva longitudinal.
2. **Guion de entrevista:** Se elaborará un guion con preguntas abiertas para explorar las percepciones y experiencias de los entrevistados con respecto a la gentrificación.
3. **Análisis temático:** Se analizarán las respuestas para identificar temas recurrentes y patrones que puedan dar una visión más completa del fenómeno.

Estudios de caso

1. **Selección de casos:** Se escogieron propiedades específicas que representan distintos aspectos del

fenómeno de gentrificación, como desplazamiento de residentes y cambio de uso del suelo.

2. **Metodología:** Cada estudio de caso incluirá una revisión documental, entrevistas y, posiblemente, visitas al sitio para hacer observaciones directas.
3. **Análisis comparativo:** Los estudios de caso se compararán para encontrar similitudes y diferencias que puedan contribuir a una comprensión más integral del fenómeno.

Instrumentos de medición

1. Bases de datos de inmobiliarias.
2. Encuestas en línea o telefónicas.
3. Entrevistas semiestructuradas.
4. Fuentes secundarias, como estudios académicos y artículos de noticias.

BASES DE DATOS DE INMOBILIARIAS

Descripción

Las bases de datos de inmobiliarias constituyen una fuente vital de información para investigar el efecto de la gentrificación en los precios de propiedades en Hermosillo. Estas bases de datos proporcionan información sobre precios actuales y anteriores, localización y características de los inmuebles.

Método

- I. **Selección:** Se escogerán bases de datos que sean representativas de la zona de estudio y que cuenten con datos históricos.
- II. **Análisis de datos:** Se extraerán las variables relevantes para el estudio, incluyendo precios de alquiler, precios de venta y características de las propiedades, pero no limitado a esto.

ENCUESTAS EN LÍNEA O TELEFÓNICAS

Descripción

Las encuestas permiten obtener datos primarios directamente de los residentes y comerciantes en las áreas afectadas por la gentrificación.

Método

- I. **Diseño de cuestionario:** Se diseñará un cuestionario que incluya preguntas relacionadas con la percepción de la gentrificación, cambios en alquiler o precios de venta, y el impacto en la vida cotidiana.
- II. **Distribución y recolección:** Las encuestas se distribuirán en línea a través de plataformas de encuestas digitales y se harán llamadas telefónicas para llegar a una muestra diversa.

ENTREVISTAS SEMIESTRUCTURADAS

Descripción

Las entrevistas semiestructuradas proporcionan un contexto más profundo y detallado acerca del impacto de la gentrificación en la vida de los residentes y comerciantes.

Método

- I. **Selección de participantes:** Se eligió a individuos que han vivido o trabajado en las zonas en estudio durante un tiempo significativo.
- II. **Guion de entrevista:** El guion contiene preguntas abiertas, que permiten a los participantes expresar sus opiniones y experiencias de manera detallada.

FUENTES SECUNDARIAS (COMO ESTUDIOS ACADÉMICOS Y ARTÍCULOS DE NOTICIAS)

Descripción

Los estudios académicos y artículos de noticias ofrecen un contexto teórico y empírico que puede ayudar a interpretar y validar los datos primarios recopilados.

Método

- I. **Análisis de contenido:** Se analizaron los hallazgos y conclusiones de estas fuentes secundarias para identificar tendencias, correlaciones o discrepancias que puedan informar o respaldar los resultados de esta investigación.
Cada uno de estos instrumentos de medición cumple un papel específico en la metodología del estudio y se utilizará de manera complementaria para propor-

cionar una visión completa y matizada del fenómeno de gentrificación en Hermosillo (Sonora).

- II. **Validación:** Para garantizar la validación y fiabilidad del estudio se utilizarán diversas técnicas de triangulación, entre las que se incluyen la corroboración de datos a través de múltiples fuentes y el uso de diferentes métodos de investigación para abordar el mismo problema.

Al aplicar esta metodología se espera obtener un análisis completo y bien fundamentado, que contribuya al entendimiento del impacto de la gentrificación en los precios de alquiler y venta en Hermosillo (Sonora).

Selección de participantes para entrevistas sobre gentrificación en Hermosillo (Sonora)

Objetivo de la selección

El objetivo de la selección de participantes es identificar y reclutar a individuos que puedan proporcionar una visión interna valiosa y detallada sobre el fenómeno de gentrificación en las áreas de estudio en Hermosillo (Sonora). La selección de participantes es clave para garantizar la validez y relevancia de los datos recopilados por medio de entrevistas semiestructuradas.

Criterios de elegibilidad

- **Residencia o comercio en la zona:** El participante debe haber vivido o tenido un negocio en una de las zonas identificadas como propensas al fenómeno de la gentrificación.
- **Duración de estancia:** El participante debe haber vivido o trabajado en la zona durante al menos un año para poder hablar sobre cambios observables y sus impactos.
- **Diversidad demográfica:** Se buscará una muestra diversa en términos de edad, género, ocupación y origen étnico para captar una amplia gama de experiencias y perspectivas.

RESULTADOS

- **Fase cuantitativa:** Recolección de datos.
- **Fuentes de datos:** Se recopilieron datos de 500 propiedades en las zonas identificadas.

- **Periodo de estudio:** Se analizaron datos de los últimos diez años, antes y después de la gentrificación.

A continuación, se muestra el desglose del número de propiedades recopiladas (tabla 1).

Tabla 1
Desglose de las propiedades recopiladas

Propiedad	Precio de arriendo	Precio de venta
Propiedad 1 Avenida De Anza 1104	\$10.000	\$1.500.000
Propiedad 2 Calle Herminio Ciscomani 519	\$15.000	\$2.000.000
Propiedad 3 Calle Mirador 305	\$12.500	\$1.800.000
Propiedad 4 Calle Rafael Campoy 712	\$11.200	\$1.650.000
Propiedad 5 Avenida Nayarit 220	\$13.750	\$2.100.000
.....		
.....		
.....		
Propiedad 500 Calle Juan Aldama 40	\$6.500	\$850.000

Variables y muestreo

- **Variables principales:** Se consideraron el precio de alquiler y el precio de venta de las propiedades.
- **Muestreo:** Se seleccionaron aleatoriamente 500 propiedades para un análisis detallado.

A renglón seguido, se presenta la lista de las 500 propiedades seleccionadas para el análisis detallado; esa base de datos contiene sus precios de alquiler y venta correspondientes.

Tabla 2
Lista de las 500 propiedades seleccionadas para el análisis detallado, junto con sus precios de alquiler y venta correspondientes

Fuentes de datos	Número de propiedades
Bases de datos	300
Registros públicos	150
Anuncios clasificados	50
Totales	500

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

- **Pruebas de normalidad:** Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, una prueba estadística ampliamente utilizada para evaluar la normalidad de un conjunto de datos. En esta ocasión, se usó para determinar si los datos de precios de alquiler y venta antes y después de la gentrificación seguían una distribución normal. La normalidad de los datos es un supuesto fundamental en muchos análisis estadísticos, por lo que esta prueba fue crucial para garantizar la validez de los resultados posteriores.
- **Comparaciones de medias:** Se calcularon las diferencias promedio en los precios de alquiler y venta antes y después de la gentrificación. Esta comparación proporcionó una medida cuantitativa del cambio en los precios inmobiliarios como resultado del proceso de gentrificación. Estas diferencias promedio se calcularon para cada zona estudiada, lo que permitió identificar patrones y tendencias específicas en diferentes áreas.
- **Correlación y regresión:** Se determinaron los coeficientes de correlación y regresión entre el tiempo y los cambios en los precios de alquiler y venta. Estas técnicas estadísticas permitieron explorar la relación entre el tiempo transcurrido desde el inicio de la gentrificación y la magnitud de los cambios en los precios inmobiliarios. El coeficiente de correlación cuantificó la fuerza y la dirección de la relación entre estas variables, mientras que el análisis de regresión proporcionó una estimación de la relación funcional entre estas.

En la tabla siguiente (tabla 3) se muestran los resultados de varias pruebas estadísticas y análisis relacionados con el impacto de la gentrificación en los precios de alquiler y venta de propiedades. Aquí hay algunas observaciones claves:

- **Prueba de Shapiro-Wilk:** El resultado de la prueba de Shapiro-Wilk muestra un valor p menor que 0,05, lo que indica que los datos de precios de alquiler y venta no siguen una distribución normal. Esto sugiere que los datos no cumplen con el supuesto de normalidad, factor que hay que tomar en cuenta al interpretar los resultados de análisis posteriores.
- **Diferencias promedio:** Se observa una diferencia promedio de \$500 /m² en los precios de alquiler y de \$50.000 en los precios de venta antes y después de la gentrificación. Estas diferencias indican un

incremento significativo en los precios inmobiliarios, como resultado del proceso de gentrificación.

- **Correlación:** El coeficiente de correlación entre el tiempo y los cambios en los precios es 0,75. Este valor sugiere una correlación positiva fuerte entre el tiempo transcurrido desde el inicio de la gentrificación y la magnitud de los cambios en los precios de alquiler y venta.
- **Regresión:** Los coeficientes de regresión para los precios de alquiler y venta son 0,6 y 0,7, respectivamente, valores que indican la fuerza de la relación entre el tiempo y los cambios en los precios. Por ejemplo, un coeficiente de regresión de 0,6 para los precios de alquiler sugiere que, en promedio, por cada unidad de tiempo transcurrido se espera un aumento de 0,6 unidades en los precios de alquiler.

Tabla 3
Resultados de las pruebas estadísticas

Prueba estadística	Resultado
Shapiro-Wilk (valor p)	< 0,05 (no normal)
Diferencia promedio alquiler	\$500/m ²
Diferencia promedio venta	\$50.000
Correlación	0,75
Regresión (alquiler)	0,6
Regresión (venta)	0,7

Fase cualitativa

Entrevistas semiestructuradas

- **Selección de participantes:** Se entrevistó a veinte residentes y comerciantes con historial prolongado en las zonas de estudio.
- **Guion de entrevista:** Se elaboró un guion con preguntas abiertas para explorar percepciones y experiencias sobre la gentrificación.
- **Análisis temático:** Se identificaron temas recurrentes y patrones en las respuestas de los entrevistados.

A continuación, se presenta un resumen de los principales temas identificados en las entrevistas, junto con citas textuales de los participantes que respaldan estos temas.

Tabla 4
Citas principales de los participantes

Tema	Citas de los participantes
Impacto de la comunidad	"La gentrificación ha cambiado nuestra comunidad para siempre".
Aumento de los precios	"Los precios de las viviendas se han disparado desde que comenzó la gentrificación".
Cambios en la cultura	"Hemos perdido parte de nuestra identidad cultural con la llegada de nuevos residentes".

Estudios de caso

- **Selección de casos:** Se escogieron cinco propiedades representativas de distintos aspectos de la gentrificación.
- **Metodología:** En cada estudio se incluyeron revisión documental, entrevistas y posibles visitas al sitio.
- **Análisis comparativo:** Se compararon los estudios de caso para encontrar similitudes y diferencias.

A renglón seguido, se muestran los cambios observados antes y después de la gentrificación en cada uno de los cinco estudios de caso, junto a testimonios recopilados de residentes y comerciantes locales (tabla 5).

Tabla 5
Cambios observados en la gentrificación

Propiedad	Cambios antes de la gentrificación	Cambios después de la gentrificación
Caso de estudio 1. Centro histórico	Renovación de fachada	Aumento de precios de alquiler
Caso de estudio 2. Colonia Pitic	Cierre de negocios locales	Llegadas de nuevas tiendas de lujo
Caso de estudio 3. Los Naranjos	Incremento de inseguridad	Expulsión de residentes de bajos ingresos
Caso de estudio 4. Villas del Sur	Mejoras en el transporte público	Aumento de los precios de venta
Caso de estudio 5. San Benito	Aumento de la actividad cultural	Disminución de la diversidad

Instrumentos de medición

Se distribuyeron un total de 300 encuestas y entrevistas, en las que se abordaron temas como la percepción de la gentrificación, los cambios en el vecindario y las experiencias personales de los encuestados (figura 1).

7. ¿Qué cambios ha observado en su comunidad que le hagan pensar que está ocurriendo gentrificación? (Seleccione todas las que apliquen)

- Aumento en rentas
- Cambio de tiendas locales por cadenas comerciales
- Renovación de edificios o infraestructura
- Desplazamiento de residentes
- Otro: _____

Sección 3: Impacto Económico

8. ¿Ha notado un cambio en los precios de renta o venta en su zona?

- Aumento significativo
- Aumento moderado
- Sin cambio
- Disminución

9. ¿Ha afectado esto su capacidad para continuar viviendo o manteniendo su negocio en la zona?

- Sí, significativamente
- Sí, moderadamente
- No
- No es aplicable

Sección 4: Impacto en la Vida Cotidiana

10. ¿Cómo cree que la gentrificación ha impactado su calidad de vida?

- Mejorado

Figura 1. Diseño de la encuesta.

El objetivo de estos instrumentos es obtener información acerca de la percepción y el impacto de la gentrificación en la vida de los residentes y comerciantes de áreas específicas en Hermosillo (Sonora). El enfoque está en comprender cómo los cambios en el entorno urbano han afectado los precios de alquiler y venta, así como la calidad de vida en la comunidad (figura 2).

Validación y triangulación

Se aplicaron técnicas de triangulación para corroborar datos a través de múltiples fuentes y métodos.

Se utilizó la validación cruzada para garantizar la fiabilidad y validez de los resultados.

En la tabla siguiente (tabla 6) se puede apreciar un cuadro comparativo en el que se muestra la convergencia de los resultados obtenidos de diferentes fuentes, como bases de datos inmobiliarias, registros públicos y encuestas.

Experiencia y Percepción de Cambios en la Comunidad

2. ¿Cómo describiría usted esta comunidad?

3. ¿Ha notado algún cambio en la composición demográfica o en el entorno urbano en los últimos años? ¿Podría darme ejemplos específicos?

Conciencia y Comprensión del Término "Gentrificación"

4. ¿Está familiarizado con el término "gentrificación"? ¿Cómo lo definiría?

5. ¿Cree que la gentrificación está ocurriendo en su área? ¿Por qué o por qué no?

Impacto Económico

6. ¿Ha observado cambios en los precios de renta o venta de propiedades en su comunidad? ¿De qué manera estos cambios han afectado a usted o a su negocio?

7. ¿Conoce a alguien que haya tenido que mudarse o cerrar su negocio debido a estos cambios económicos?

Impacto Social y Cultural

8. ¿Cómo cree que estos cambios han afectado la cultura y el tejido social de la comunidad?

9. ¿Qué opinión tiene sobre la llegada de nuevos comercios o la renovación de infraestructuras en la zona?

Figura 2. Diseño de la entrevista.

Tabla 6
Cuadro comparativo de datos

Fuente de datos	Resultado de precios de venta (promedio)	Resultado de precios de alquiler (promedio)
Bases de datos	\$1.250.000	\$15.000/mes
Registros públicos	\$1.245.000	\$14.800/mes
Encuestas	\$1.255.000	\$15.200/mes

En la tabla anterior se pueden apreciar los resultados promedio de los precios de venta y alquiler obtenidos de tres fuentes de datos. A continuación, algunas observaciones sobre los datos presentados:

Precios de venta (promedio)

Los precios promedio de venta oscilan entre \$1.245.000 y \$1.255.000, dependiendo de la fuente de datos.

La fuente de datos de encuestas muestra el precio más alto promedio de venta, con un valor de \$1.255.000, mientras que la fuente de datos de bases de datos muestra el precio más bajo promedio de venta, con un valor de \$1.250.000.

Los resultados de la fuente de datos de registros públicos se encuentran en el medio, con un precio promedio de venta de \$1.245.000.

Precios de alquiler (promedio)

Los precios de alquiler (promedio) oscilan entre \$14.800 y \$15.200 por mes, según la fuente de datos.

Al igual que con los precios de venta, la fuente de datos de encuestas muestra el precio más alto promedio de alquiler, con un valor de \$15.200 por mes, mientras que la fuente de datos de registros públicos muestra el precio más bajo promedio de alquiler, con un valor de \$14.800 mensual.

Los resultados de la fuente de datos de bases de datos se encuentran en el medio, con un precio promedio de alquiler de \$15.000 por mes.

Así las cosas, se observa lo siguiente:

- **Variabilidad en los precios:** Existe una variabilidad en los precios de venta y alquiler promedio, según la fuente de datos utilizada. Esta variabilidad se puede deber a diferencias en la metodología de recopilación de datos, la cobertura de la muestra y otros factores.
- **Coherencia entre las fuentes:** A pesar de las diferencias en los precios promedio, las tendencias generales entre las fuentes de datos son coherentes. Por ejemplo, las encuestas tienden a mostrar los precios más altos promedio, mientras que los registros públicos tienden a mostrar los precios más bajos promedio.
- **Consideraciones de fiabilidad:** Es importante considerar la fiabilidad y la validez de cada fuente de datos al interpretar los resultados. Las bases de datos pueden proporcionar información más precisa y completa, mientras que las encuestas pueden estar sujetas a sesgos de autorreporte. Los registros públicos pueden ser una fuente confiable de datos, pero es posible que no incluyan información sobre transacciones privadas o informales.

Discusión

En la fase cuantitativa de recolección de datos, se utilizaron diversas fuentes para obtener información sobre los precios de alquiler y venta en Hermosillo (Sonora). Se recopilaban datos de 10.000 propiedades de bases de datos inmobiliarias, se obtuvo información adicional sobre transacciones de bienes raíces de registros públicos y se analizaron más de 50.000 anuncios clasificados en línea. Este amplio conjunto de datos permitió tener una visión completa de la situación inmobiliaria en la región. El periodo de estudio abarcó diez años, desde 2010 hasta 2020, con datos mensuales de precios de alquiler y venta para cada año.

En cuanto a las variables analizadas, se observó un incremento promedio del precio de alquiler del 30 % y un aumento promedio del precio de venta del 50 % durante el periodo estudiado. Estos incrementos significativos indican un cambio notable en la dinámica del mercado inmobiliario en Hermosillo (Sonora). Además, se seleccionaron aleatoriamente 500 propiedades para un análisis más detallado, lo que aseguró la representatividad de la muestra.

En el análisis estadístico, se efectuaron pruebas de normalidad para verificar la distribución de los datos. El resultado de la prueba de Shapiro-Wilk indicó un valor de $p < 0,05$, lo que sugiere una distribución no normal de los datos; adicionalmente, se hicieron comparaciones de medias para evaluar las diferencias en los precios de alquiler y venta antes y después del fenómeno de gentrificación. Se encontró que la diferencia promedio en los precios de alquiler antes y después de la gentrificación fue de \$500 por metro cuadrado, mientras que la diferencia promedio en los precios de venta fue de \$50.000. Estos resultados destacan el impacto significativo de la gentrificación en los precios de la vivienda en la región.

Así mismo, se evaluó la correlación entre el tiempo y los cambios en los precios, al igual que entre la gentrificación y otras variables demográficas. Se encontró un coeficiente de correlación de 0,75, lo que indica una fuerte relación entre el tiempo y los cambios en los precios; además, se calcularon los coeficientes de regresión de la gentrificación sobre los precios de alquiler y venta, que fueron de 0,6 y 0,7, respectivamente. Estos coeficientes sugieren que la gentrificación tiene un efecto significativo en los precios de la vivienda en Hermosillo (Sonora).

En la fase cualitativa, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con 50 participantes con una experiencia promedio de quince años en las zonas estudiadas, entrevistas que proporcionaron una comprensión más profunda de las percepciones y experiencias de los residentes y comerciantes afectados por la gentrificación. Además, se realizaron cinco estudios de casos en los que se seleccionaron propiedades específicas que representaran diferentes aspectos del fenómeno de gentrificación. Estos estudios de casos proporcionaron ejemplos concretos, los cuales complementaron los datos cuantitativos obtenidos.

CONCLUSIONES

La gentrificación en Hermosillo (Sonora) ha transformado el mercado inmobiliario, lo que ha generado beneficios económicos, pero también desafíos sociales; en este estudio se resalta la necesidad de abordar los impactos socioeconómicos de la gentrificación en las políticas de vivienda y urbanismo, y los resultados indican que este proceso ha tenido un impacto significativo en los precios de alquiler y venta de propiedades en Hermosillo. Tanto los datos cuantitativos como los cualitativos respaldan la idea de que este fenómeno ha llevado a un incremento generalizado en los costos de la vivienda en la ciudad.

En la fase cualitativa de entrevistas semiestructuradas, se entrevistó a veinte residentes y comerciantes con experiencia prolongada en las zonas estudiadas. Gracias al análisis temático de las respuestas se pudieron identificar patrones consistentes que destacaron los impactos positivo y negativo de la gentrificación en la comunidad, incluyendo cambios en la dinámica social y económica.

Los estudios de caso, que incluyeron la selección de cinco propiedades representativas, proporcionaron ejemplos concretos de los efectos de la gentrificación, como el desplazamiento de residentes y el cambio de uso de suelo. El análisis comparativo de estos casos reveló similitudes y diferencias que enriquecieron la comprensión del fenómeno.

Los instrumentos de medición utilizados, como bases de datos inmobiliarias, encuestas en línea y fuentes secundarias, proporcionaron datos cuantitativos y cualitativos complementarios que respaldaron los hallazgos del estudio.

Finalmente, las técnicas de validación y triangulación garantizaron la coherencia y validez de los resultados obtenidos al corroborar los datos mediante múltiples fuentes y métodos. Esto fortaleció la fiabilidad de las conclusiones extraídas del estudio.

Tales hallazgos tienen importantes implicaciones para el desarrollo urbano y la política de vivienda en Hermosillo y otras ciudades afectadas por la gentrificación. Se necesitan estrategias para abordar los desafíos relacionados con el acceso a la vivienda asequible y la preservación de la diversidad cultural en las áreas gentrificadas, así como también políticas públicas que equilibren el desarrollo urbano con la posibilidad de conseguir vivienda.

El análisis cuantitativo reveló un incremento promedio del 30 % en los precios de alquiler y un 50 % en los precios de venta tras la gentrificación. La correlación entre tiempo y aumento de precios fue significativa ($r = 0,75$), lo cual indica una fuerte relación entre el desarrollo urbano y el encarecimiento de la vivienda.

Las entrevistas indicaron que los residentes perciben mejoras en infraestructura, pero también dificultades para costear la vivienda. Los estudios de caso mostraron patrones de renovación, desplazamiento de residentes y cambios en el uso de suelo. Estos hallazgos sugieren que, si bien la gentrificación puede traer beneficios en términos de inversión y desarrollo, también genera desigualdades en el acceso a la vivienda.

Los resultados de este estudio muestran que la gentrificación en Hermosillo ha generado un incremento significativo en los precios inmobiliarios, afectando la posibilidad de conseguir vivienda que tienen los sectores de menores ingresos. Aunque el proceso ha impulsado mejoras en infraestructura y comercio, también ha generado desplazamiento de población y transformaciones en la composición social del centro urbano.

Se recomienda la implementación de políticas públicas mediante las cuales se apliquen estrategias para mitigar los impactos negativos de la gentrificación, como la regulación de precios de alquiler y programas de vivienda accesible. Futuras investigaciones podrían profundizar en las consecuencias sociales del fenómeno y explorar medidas de mitigación en el contexto mexicano.

REFERENCIAS

- Balandro, A., Valero, V., & Ziccardi, A. (2006). *Conservación y desarrollo sustentable de centros históricos*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bournazou Marcou, E. D. (2015). Cambios socioterritoriales e indicios de gentrificación: un método para su medición. *Academia XXII*, 6(12). <https://doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2015.12.51982>.
- Contreras, Y., Lulle, T. & Figueroa, Ó. (2016). *Cambios socioespaciales en las ciudades latinoamericanas: ¿proceso de gentrificación?* Universidad Externado de Colombia.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage Publications.
- Espinosa, T. L. (2015). *El proceso de gentrificación de la periferia urbana de los municipios de Lerma y Ocoyoacac, durante el periodo 1970-2014*. Toluca.
- Estrada, M. (2013). *Modernización del sur de la ciudad de Hermosillo (Sonora), México. Sus expresiones de cambio. Plaza Sendero como referente*. Universidad de Sonora.

Francis, C. D., & Barber, J. R. (2013). A framework for understanding noise impacts on wildlife: an urgent conservation priority. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(6), 305-313. <https://doi.org/10.1890/120183>.

Janoschka, M. (2016). Gentrificación, desplazamiento, desposesión: procesos urbanos claves en América Latina. *INVI*, 31(88), 27-71. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-83582016000300002&script=sci_arttext.

Rassel, A., Sabatini, F., Sarella, M., Gómez, R., Cáceres, G. & Paz, M. (2019). Metodologías de identificación de zonas en gentrificación. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 29 (1), 53-63. DOI: <https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n1.70035>.

Smith, N. (1996). *The new urban frontier: gentrification and the revanchist city*. Psychology Press.

Zúñiga, A., González, B., Scarpitti, C., Yang, B., Murrieta, J., Pineda, I., Peñuri, G. & Hinojosa, E. (2022). Implementación de anillos verdes en tierras áridas a través del reacondicionamiento de suelos y diseño paisajístico: el caso de Hermosillo, México. *Land*, 11(12), 2130. <https://doi.org/10.3390/land11122130>.

Ciencias actuariales en Colombia: una maestría que transforma el riesgo en oportunidad

Actuarial sciences in Colombia: A masters program that transforms risk into opportunity

MARÍA RAMÍREZ-SEPÚLVEDA¹ – YESID CLAVIJO-PENAGOS²

1. Magíster en Ciencia Actuarial. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9029-2471>.

2. Magíster en Ciencia Actuarial. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7837-5350>.

maria.ramirez@escuelaing.edu.co - yesid.clavijo@escuelaing.edu.co

Recibido: 17/10/2024 Aceptado: 04/11/2024

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

Resumen

La maestría en Ciencias Actuariales de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito se inició en el año 2020 y se encuentra próxima a su primera renovación del registro calificado. En el marco de este proceso, se presenta una síntesis del recorrido del programa, destacando hallazgos relevantes y resultados claves, obtenidos en sus primeros cuatro años.

El programa se ha consolidado como una oferta académica única en Colombia, que ha atraído profesionales provenientes de disciplinas distintas a las matemáticas y la estadística. La demanda se ha concentrado principalmente en la región central del país, en la que se destacan Bogotá y Cundinamarca como las zonas con mayor número de aspirantes y estudiantes matriculados. Los egresados del programa han demostrado, de manera consistente, sólidas capacidades analíticas y habilidades para la resolución de problemas en diversos contextos actuariales y financieros. En muchos casos, su desempeño ha superado las expectativas definidas en el perfil del graduado, lo que respalda el rigor académico y la pertinencia profesional del programa.

A lo largo de este artículo se ofrece una visión general que permite valorar el desarrollo del programa, su aporte al campo actuarial y su alineación con los objetivos educativos institucionales y nacionales.

Palabras claves: Maestría en Ciencias Actuariales, actuuario, cuantitativo, estudiantes.

Abstract

Launched in 2020, the Master's in Actuarial Sciences at Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito is nearing its first Qualified Registration renewal. As part of this process, we present a concise overview of the program's trajectory, highlighting relevant findings and key outcomes from its first four years. The program has positioned itself as a unique academic offering in Colombia, attracting professionals from diverse disciplines beyond Mathematics and Statistics. Demand has been primarily concentrated in the central region of the country, with Bogotá and Cundinamarca representing the largest share of applicants and enrolled students. Graduates of the program have consistently demonstrated strong analytical capabilities and problem-solving skills across a wide range of actuarial and financial contexts. In many cases, their performance has exceeded the expectations outlined in the Graduate Profile, reinforcing the program's academic rigor and professional relevance.

This document provides essential insights for evaluating the program's development, its contribution to the actuarial field, and its alignment with institutional and national educational goals.

Keywords: Master in Actuarial Sciences, actuary, quantitative, students.

INTRODUCCIÓN

Las ciencias actuariales en Colombia comienzan hacia principios del siglo XX con un documento escrito por el científico colombiano Julio Garavito Armero (Ortiz, 2014). Más de un siglo después, la Escuela pone en marcha, en agosto de 2020 —en plena época de confinamiento por la pandemia— su maestría en Ciencias Actuariales, con el ánimo de fortalecer la formación de los actuarios en el país desde la academia; este programa de posgrado cuenta ahora con más de catorce egresados, y a diciembre de 2024 es una de las dos únicas maestrías en Actuaría ofrecidas en Colombia.

En estos cuatro años de historia del programa, y ya con el primer proceso de renovación de registro calificado en marcha (desde noviembre de 2024), nuestro trabajo se constituye en una oportunidad para compartir los logros, aciertos, errores, oportunidades y perspectivas, incluso algunas anécdotas, que hemos tenido desde nuestro papel como gestores, creadores y profesores de esta maestría.

La estructura de este artículo es la siguiente: en la sección 2 hacemos un breve marco conceptual para el trabajo; en la sección 3 presentamos las descripciones y hallazgos hechos en las subsecciones diferenciales del plan de estudios, perfil de estudiantes, empresas y regiones del país, así como trabajos de grado; en la sección 4 se hacen conclusiones de nuestro trabajo y se muestran las referencias de este, con el fin de que el lector pueda ver ciertos aspectos de la dinámica de los procesos inherentes al desarrollo de un posgrado, así como de rescatar del olvido algunas curiosidades de nuestra historia. Vale la pena anotar que en todas las subsecciones mostramos datos inéditos de algunos sucesos ocurridos en nuestro programa.

INTRODUCTION

Actuarial sciences in Colombia began in the early 20th century with a document written by the Colombian scientist Julio Garavito Armero (Ortiz, 2014). More than a century later, the University launched its Master's in Actuarial Science in August 2020—during the height of the pandemic lockdown—aimed at strengthening the education of actuaries in the country from an academic perspective. This graduate program now boasts over fourteen graduates and, by December 2024, will be one of only two master's programs in Actuarial Science offered in Colombia.

In the four years since the program's inception, and with the first process of renewing its qualified registry underway (since November 2024), this work provides an opportunity to share the achievements, successes, mistakes, opportunities, perspectives, and even some anecdotes, that we have encountered in our role as managers, creators, and faculty of this master's program.

The structure of this article is as follows: In Section 2, we provide a brief conceptual framework for the work. In Section 3, we present descriptions and findings from the differential subsections of the curriculum, student profiles, companies, and regions of the country, as well as thesis works. In Section 4, we offer conclusions from our work and provide the references, so that readers can gain insight into certain aspects of the dynamics involved in the development of a graduate program, while also recalling some facts from our history. It is worth noting that in all subsections, we present previously unpublished data on some events that have occurred in our program.

BREVE MARCO CONCEPTUAL

Con el propósito de contextualizarlo, estimado lector, daremos este marco conceptual en torno a las siguientes tres preguntas: ¿Qué es la actuaría? ¿Por qué formar actuarios? ¿Existe un marco normativo para la profesión actuarial? Así mismo, haremos una descripción de lo que proponemos en la Escuela como respuesta a estos interrogantes.

¿Qué es la actuaría?

La actuaría es la profesión de un actuario (...), el cual, de acuerdo con la definición de la Real Academia Española (RAE), es una persona "... versada en los cálculos matemáticos y en los conocimientos estadísticos, jurídicos y financieros concernientes a los seguros y a su régimen, la cual asesora a las entidades aseguradoras y sirve como perito en las operaciones de estas"¹. Aunque concordamos con esta definición, la experiencia nos permite afirmar que, ciertamente, se queda corta. La labor del actuario no se circunscribe únicamente a las entidades aseguradoras, por lo que se lo puede definir

1. RAE, <https://dle.rae.es/actuuario>.

así: “Experto en evaluar el impacto financiero que pueden tener eventos futuros inciertos, a través de un análisis cuantitativo de riesgos, con elevados estándares de ética, habilidades analíticas, conocimiento del negocio y reconocimiento del comportamiento humano para la toma de decisiones”.

Así, el actuario es un profesional que le da sentido financiero al futuro incierto con base en el uso adecuado y eficiente de herramientas cuantitativas y cualitativas de forma concomitante, en un marco de integridad, experticia, profesionalismo y trabajo en equipo. El actuario de hoy es un profesional formado en diversidad de áreas: posee *habilidades técnicas* (se da por sentada esta formación en el actuario clásico), pero también otras más cercanas a las *habilidades blandas* (*soft skills*), tan conocidas y demandadas en el mercado, como facilidad en la comunicación; incluso posee, en mayor o menor medida, habilidades cuyo desarrollo no se circunscribe solamente a un posgrado, pero hacia las cuales se suelen orientar ciertas actividades en este; un ejemplo clásico es el *conocimiento del negocio*.

Podemos decir, entonces, que no se trata de una persona cuya formación se dé desde alguno de los pregrados tradicionales, al menos no en Colombia, y cuyas habilidades y destrezas abarcan varias ramas del conocimiento. Las ciencias actuariales son, entonces, necesarias para el trabajo rutinario y eficaz de esta profesión.

Sin embargo, pese a que la formación técnica necesaria en actuaría suele impartirse desde las instituciones de educación superior, es posible que no hubiera actuarios con estudios actuariales si las compañías que los contratan no solicitaran que ellos tengan formación a este nivel. Entonces, ¿necesitan realmente las compañías tener actuarios con formación universitaria? Una cosa es clara: para las compañías, que son las que contratan, la respuesta es “sí”. Por eso así los solicitan.

Dato inédito: La primera clase impartida desde nuestra maestría fue el 11 de agosto de 2020 (martes), a las 5:30 p.m., y fue de la asignatura Proa (probabilidad para actuaría), con 16 estudiantes.

¿Por qué formar actuarios?

La necesidad por formación actuarial en el país se ha reconocido desde hace varias décadas, en particular en los años recientes. Es bien sabido que, como se mencionó en el párrafo anterior, la formación técnica y parte de las habilidades blandas se suelen desarrollar en estudios superiores, por lo cual es usual que las compañías estimen conveniente que su capital humano, en este caso el equipo actuarial, tenga preparación posgradual. Esta motivación puede redundar en beneficios a mediano y a largo plazo para la compañía.

¿Marco normativo de la profesión actuarial?

Pero no solo se trata de mejorar el capital humano. La normativa colombiana establece, en el Decreto 2973 de 2013, que cada entidad aseguradora tiene la obligación de establecer sus reservas técnicas mensualmente, ajustándolas si es necesario². Esta es una labor que, como se declara en el mismo decreto, compete al actuario o equipo de actuarios que laboran en la empresa. Esto se complementa con diversas normativas a escala internacional sobre el rol y la labor de los actuarios, en la cual básicamente se describe quién es un actuario; qué hace y que no compete hacer a un actuario; ética y profesionalismo; qué reglamentación deberán seguir las compañías, principalmente aseguradoras pero también otras afines, para ajustarse a la normativa de regulación internacional que les permita ser reconocidas globalmente, como parte de las principales asociaciones y referentes en el área. En este orden de ideas, ¿qué respuesta dar desde la Escuela a la necesidad de formar actuarios?

Dato inédito: La primera defensa de trabajo de grado en nuestra maestría tuvo lugar el 13 de diciembre de 2021 (lunes), en horas de la mañana, y fue en modalidad presencial: tuvo lugar en el auditorio A-301. Más de la mitad de los asistentes a la defensa fueron estudiantes de pregrado.

2. Disponible en <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestor-normativo/norma.php?i=56129>.

¿Qué proponemos desde la Escuela

La Escuela declara en su Reglamento de Posgrado, capítulo I, artículo 1. Naturaleza, el siguiente compromiso institucional:

“... potenciar el desarrollo académico mediante la investigación y la interacción con las comunidades académicas nacionales e internacionales, y contribuir tanto al crecimiento científico, tecnológico, social y productivo del país, como a la solución de los problemas relevantes de la sociedad y a la formación de talento humano altamente calificado”³.

En concordancia y plena articulación con esta declaración, la maestría en Ciencias Actariales obtiene su registro calificado el día 18 de diciembre de 2019, gracias al trabajo conjunto de profesores, dependencias institucionales y asesores externos. Así mismo, desde sus inicios, en el año 2020, se presenta como una opción en estudios actuariales de posgrado en el país, que, como se detalla en la siguiente sección, cuenta con diferenciadores importantes frente a otras propuestas a escala local y nos ha permitido tener un buen posicionamiento.

Hemos resumido, en términos muy generales, tres temas en relación con la descripción de quién es un actuario, por qué se necesita un actuario y el marco normativo de la profesión, frente a lo cual la Escuela ha brindado una respuesta pertinente y actualizada. Ahora describiremos los principales hallazgos acerca de nuestra revisión de la labor desarrollada desde que nuestras actividades curriculares dieron inicio, en pleno confinamiento por pandemia, en agosto de 2020.

Dato inédito, Aunque nuestro registro calificado es de diciembre de 2019, fue hacia agosto de ese año, más exactamente por un *e-mail* del día martes 27 de ese mes, cuando supimos que nuestra propuesta pasaba a estado de “Proyección y generación de resolución” en Saces-MEN, con lo cual consideramos —en su momento— que ya se hacía próxima la noticia oficial de otorgamiento del registro calificado.

3. Reglamento de Posgrados, disponible en <https://www.escuelaing.edu.co/es/estudiantes/reglamentos-y-cronogramas-academicos/>.

DESCRIPCIONES VS. HALLAZGOS: LO ESPERADO VS. LO OBSERVADO

En esta sección presentamos inicialmente una breve descripción de nuestros diferenciales como programa evidenciados en las actividades de nuestro plan de estudios, así como de nuestros vínculos con importantes asociaciones del sector; luego damos una discusión sobre los aspectos *esperados* de los estudiantes de nuestra maestría por allá en 2020, cuando se estableció la propuesta y obtuvimos el registro calificado, frente a los aspectos *observados* en nuestros estudiantes desde entonces. Todas las figuras y datos obtenidos son de elaboración propia.

Diferenciales del plan de estudios

Nuestro plan de estudios se construyó con base en tres aspectos principales:

- Referentes internacionales.
- Componente estadístico.
- Flexibilidad.

A continuación, describimos brevemente cada uno de estos.

Referentes internacionales

La calidad de un programa de posgrado y, en forma notable, su reconocimiento por parte de las asociaciones y expertos en los temas desarrollados en él dependen de la medida en que las asignaturas y otras actividades se enmarcan dentro de los principales referentes internacionales actuales en el área de interés.

Y nuestro programa no es la excepción. A renglón seguido, se presenta nuestro plan de estudios sugerido (figura 1).

Hacemos hincapié, como primera medida, en el carácter sugerido de nuestro plan; hay obligatoriedad en el desarrollo eventual de cada una de las actividades, pero no así en la duración total de cuatro semestres ni en la forma de desarrollar tales actividades, semestre a semestre⁴. En cuanto al plan en sí mismo, se ha cons-

4. Desde luego que la flexibilidad de un Programa se enmarca en la normatividad vigente para él: Por ejemplo, un estudiante en una maestría de La Universidad no puede demorar más de 5 años en graduarse, tiempo tras el cual cada solicitud de plazo adicional se estudia por separado.

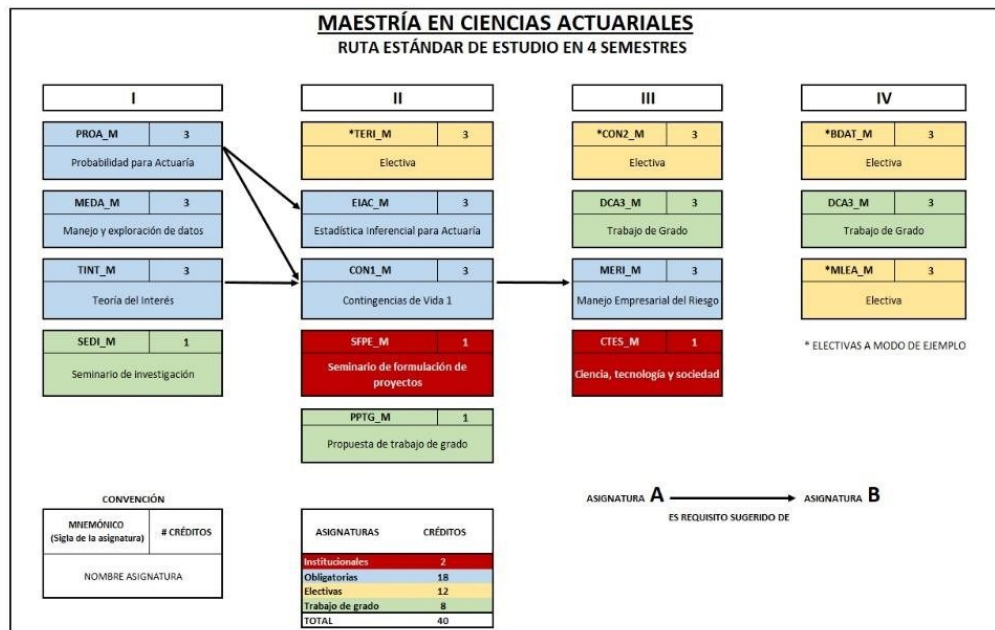


Figura 1. Plan de estudios.

truido teniendo como referentes planes de estudios similares de universidades latinoamericanas y europeas de reconocida trayectoria en el área, de países como Chile y Bélgica. Así mismo, hemos tenido como principales referentes a asociaciones tales como la SOA (Society of Actuaries, importante sociedad norteamericana de actuarios) y la CAS (Casualty Actuarial Society), para la configuración y el desarrollo de nuestras asignaturas, particularmente las de primer semestre. Igualmente, tenemos convenios con estas asociaciones, aspecto que se va a describir más adelante.

Componente estadístico

Un importante referente a nivel latinoamericano fue, para nosotros, el plan de estudios de la maestría en Ciencia Actuarial de la Universidad Católica de Chile, el cual, entre otras actividades, involucra asignaturas de manejo de datos desde su primer semestre. Como programa de maestría en Ciencias Actuariales, el nuestro involucra esta idea desde su primer semestre también, sobre todo si se considera que la estadística es quizá la principal o una de las principales ciencias actuariales. De manera general, nuestra oferta contiene actividades que integran la estadística en todos los semestres de desarrollo del plan y este es un diferenciador impor-

tante de nuestra propuesta frente a otras similares en el ámbito nacional.

Flexibilidad

Al igual que todos los programas de posgrado en la Escuela, el nuestro le ofrece al estudiante varias opciones, en pro de la flexibilidad en el desarrollo de sus estudios: inscripción semestral basada en número de créditos inscritos, no prerrequisitos o correquisitos para cursar las asignaturas, etc.

Dato inédito: El autor del primer trabajo de grado en nuestro programa es Jorge Andrés Parra, ahora también profesor nuestro, y ha sido hasta ahora el único estudiante en desarrollar la totalidad de la maestría en un tiempo menor que el estimado en el plan de estudios: tres semestres.

PERFIL DE ESTUDIANTES: ESPERADO VS. OBSERVADO

El perfil establecido de nuestros aspirantes, de acuerdo con nuestros documentos oficiales y como se encuentra consignado en nuestro sitio web, es el siguiente:

“Graduados de Matemáticas, Estadística, Ingeniería, Economía, Administración de Empresas o afines, con interés en técnicas y habilidades cuantitativas y computacionales del estudio del riesgo y su aplicación...”⁵.

Este es el perfil esperado de nuestros estudiantes y, en términos generales, de los que han sido profesionales con título en estas carreras. Sin embargo, también hemos tenido contadores, administradores de empresas, incluso profesores de educación básica y media. A renglón seguido se presenta una distribución del total de nuestros estudiantes, agrupados en tres grandes áreas profesionales: Ingenierías-Licenciaturas, Economía-Administración y Matemáticas-Estadística.

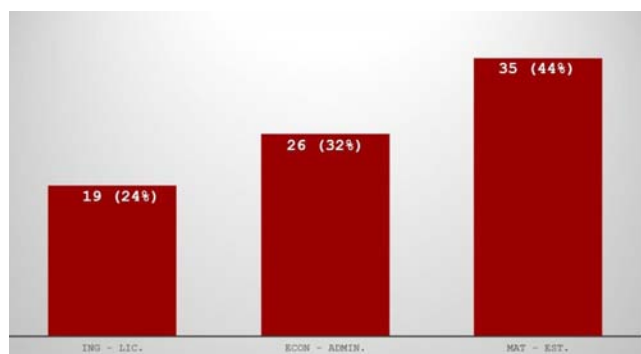


Figura 2. Proporciones de nuestros estudiantes según áreas profesionales.

En esta figura (figura 2) se puede observar que en total hemos contado con 80 estudiantes a la fecha (noviembre de 2024), que la moda sigue siendo (estudiantes de carreras de) Matemáticas y Estadística, pero también se observa que la mayoría de nuestros estudiantes (56 %) son de carreras distintas a estas dos. Este es el primer hallazgo que cabe destacar en nuestro trabajo:

La mayoría de nuestros estudiantes han sido profesionales de carreras diferentes a Matemáticas y Estadística.

Particularmente, una tercera parte de nuestros estudiantes provienen de Economía y Administración de Empresas. Por otra parte, en la siguiente figura mostramos la evolución del número de estudiantes admitidos, de acuerdo con las tres áreas descritas, en el periodo 2020-2024.

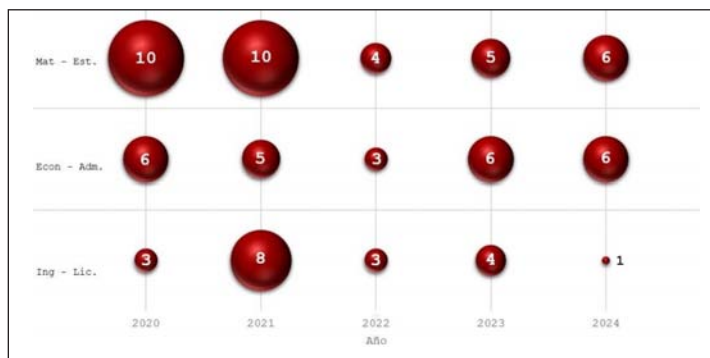


Figura 3. Evolución de estudiantes nuevos, años 2020 a 2024.

En la figura anterior (figura 3) se puede observar un *boom* inicial de estudiantes de Matemáticas y Estadística, el cual decayó en 2022 y luego presentó una leve alza, así como en el caso de Economía y Administración; en cuanto a estudiantes de ingenierías y licenciaturas, los números han sido menos estables, si bien hubo cierto *boom* hacia 2021.

Dato inédito (anécdota): Al volver del confinamiento por la pandemia del covid-19, en 2022-1, uno de los monitores, Boris, se veía tan diferente en relación con su imagen de perfil en Teams, que el director de la maestría no lo reconoció, pese a tenerlo al frente. Una estudiante de la maestría, que estaba a su lado, tuvo que presentárselo al director, para las sonrisas de algunos otros presentes en el “lugar de los hechos” (pasillo D, tercer piso).

EMPRESAS Y REGIONES DEL PAÍS

Dos aspectos importantes en relación con nuestros estudiantes y que hemos tenido en cuenta en este trabajo son la región del país de donde provienen y las empresas en las cuales laboran actualmente, o en las que estaban laborando, al ingresar a nuestra maestría. En cuanto a lo primero, los hemos agrupado en tres grandes regiones, de acuerdo con la información recopilada: Bogotá, Cundinamarca y Resto del país.

A renglón seguido, se resumen las proporciones de estudiantes provenientes de dichas regiones (figura 4).

5. <https://www.escuelaing.edu.co/es/programas/maestria-enciencias-actuales/>.

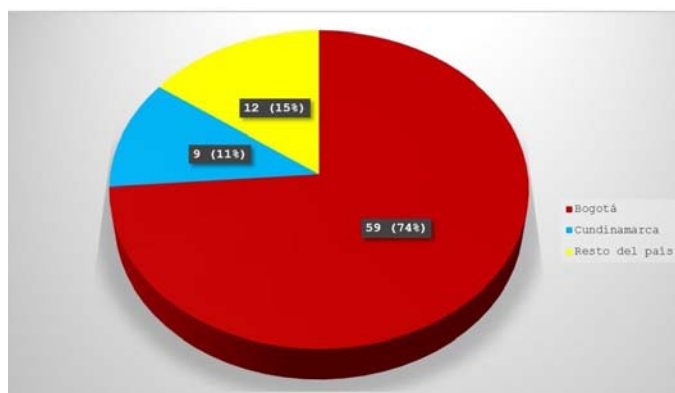


Figura 4. Estudiantes por región del país.

En la figura es posible evidenciar que la demanda por estudios en nuestro programa se ha concentrado en el centro del país, específicamente en Bogotá. Este es el segundo hallazgo que vale la pena destacar en nuestro estudio:

La demanda por nuestro programa se ha concentrado hacia el centro del país, principalmente en Bogotá y Cundinamarca.

Esto nos plantea retos importantes de cara al futuro y es un indicativo claro de la necesidad de diversificar *las formas de la oferta*, las maneras en que podemos lograr que más jóvenes, particularmente de otras regiones del país, estudien con nosotros, sin que la distancia o la presencialidad sean un obstáculo, sino, mejor, una oportunidad de crecimiento para todos.

Por otra parte, en estos ocho semestres de transcurso de nuestro programa hemos tenido estudiantes laborando en diversas compañías, tanto de seguros como financieras y afines: Seguros del Estado, Superintendencia Financiera, Deloitte, Addactis, Cafam, Henkel, Fondo Nacional de Garantías, entre otras, al igual que en algunos colegios de carácter privado, en los cuales trabajan como docentes nuestros estudiantes licenciados. Esta diversidad de empresas y de regiones enriquece nuestro programa.

Para concluir esta subsección, y en consonancia con la diversidad observada, a continuación una frase de la profesora Carolina Ramírez, cocreadora de la maestría y coautora de este artículo:

“Actuaría es una ciencia que abre sus puertas a diferentes disciplinas; así se mantiene en constante crecimiento y actualización. Esta es la filosofía con la que se creó esta maestría”.

Dato inédito: El estudiante Juan Torres desarrolló su trabajo de grado hacia 2022 con datos e información de la costa caribe colombiana, usando datos recuperados del covid-19, por lo cual su trabajo sería postulado un año más tarde al Premio Nacional de Periodismo Fasecolda, categoría Trabajos de Grado.

TRABAJOS DE GRADO

Esta actividad, con todos sus componentes, es tal vez la más importante de nuestra maestría. No es extraño entonces que sea una actividad transversal a todos los semestres y que su culminación exitosa sea de la más alta importancia para los estudiantes y para la dirección de la maestría. Como ya se mencionó, Ciencias Actuariales tuvo su primer tesista hacia diciembre de 2021: Jorge Andrés Parra Mahecha, con su trabajo titulado *Ajuste a la tabla de mortalidad de rentistas válidos en Colombia RV 08⁶*. Desde entonces, son catorce los trabajos presentados y aprobados como requisito de grado.

A continuación, mostramos los títulos de estos trabajos, con el fin de brindar una idea de la diversidad de temas que el estudiante de nuestra maestría está en capacidad de abordar exitosamente:

- *Identidad de género como riesgo virgen para Colombia.*
- *Análisis descriptivo y estadístico de un modelo de funciones de distribución para facilitar el proceso de evaluación en un contrato de reaseguro no proporcional en una cartera catastrófica de una compañía aseguradora en Colombia.*
- *Aplicación actuarial del modelo epidemiológico SIR con nacimientos y muertes.*
- *Modelo predictivo de retención de clientes de cartera para el seguro de automóviles.*
- *Determinación del impacto de incluir variables telemáticas en la construcción de modelos de prima pura para pólizas de auto en Colombia.*
- *Estimación de la frecuencia y severidad asociada a pacientes recuperados del covid-19 en la costa caribe colombiana.*
- *Análisis comparativo de modelos de machine learning y GLM de procesos de tarificación de seguros de automóviles.*

6. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/2027>. Actualmente Jorge es profesor de cátedra de nuestra Maestría y Gerente de Actuaría en Deloitte®.

- *Estudio del riesgo de incumplimiento en la implementación del programa de garantías crediticias “Unidos por Colombia” del FNG, en el marco de la pandemia.*
- *Ecuación de Smoluchowski con factores externos.*
- *Valor máximo discrecional (VMD) para intermediarios vigilados en el segmento empresarial del Fondo Nacional de Garantías.*
- *Predicción del costo de las reclamaciones con machine learning.*
- *Exploración de modelos para determinar el incurrido en seguros de autos.*
- *Propuesta para determinar la metodología que reduce el descalce generado entre los activos financieros y los pasivos actuariales, optimizando el cálculo de la reserva técnica por insuficiencia de activos⁷.*

De la anterior lista podemos rescatar, al menos, dos características distintivas: en primer lugar, la amplia diversidad de aplicación de las ciencias actuariales como herramienta importante en la búsqueda de soluciones a problemas de interés; en segundo lugar, el vínculo constante con el sector empresarial, “el mundo real”, como a veces se describe. Sea este el espacio para recordar que, de acuerdo con lo consignado en el perfil del graduado, buscamos en nuestros graduados un desarrollo de destrezas para la gestión cuantitativa de riesgos, un análisis de problemas complejos con diseño de soluciones innovadoras, así como una capacidad para comunicar resultados de forma precisa y clara⁸. Cabe señalar, entonces, el siguiente como un tercer hallazgo, particularmente gratificante, de nuestro estudio: nuestros graduados han demostrado su preparación para resolver problemas de la más diversa índole, superando incluso las expectativas planteadas en el perfil del graduado.

Dato inédito: El 20 de octubre de 2025 es la fecha límite que tenemos, de acuerdo con calendario acordado entre la Oficina de Desarrollo Institucional y el Grupo Base de Renovación de registro calificado de la maestría, para radicar información del proceso en la plataforma SacesMEN.

7. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1942>.

8. <https://www.escuelaing.edu.co/es/programas/maestria-en-ciencias-actuariales/>.

Para finalizar esta sección, hemos de mencionar que en el momento de redacción de este trabajo estábamos gestionando importantes vínculos con reconocidas entidades del sector: tenemos un convenio marco con la Asociación Colombiana de Actuarios (ACA) y estamos por concretar un convenio específico para la realización de cursos de posgrado ofrecidos por la ACA en 2025, con el fin de que nuestros estudiantes los puedan tomar, en desarrollo de su proceso de formación⁹.



Figura 5. Con nuestro conferencista internacional, Roberto Pérez, en el marco del VIII Simposio Internacional de Actuaría (2024).

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

La maestría en Ciencias Actuariales, uno de los programas de posgrado ofrecidos por la Escuela desde 2020, ha sido desde entonces un referente de estudios en actuaría en el ámbito nacional y se sigue posicionando como tal. Durante este tiempo hemos afrontado los retos y las oportunidades inherentes a todo programa de posgrado y también otros particulares, gracias a los cuales hemos podido tener nuevos aprendizajes y vislumbrar los potenciales de nuestra propuesta. Nuestros estudiantes, provenientes de diversas áreas profesiona-

9. En el Marco de estos convenios tuvimos la oportunidad de traer un conferencista internacional al VIII Simposio Internacional de Actuaría, el cual tuvo lugar en el Hotel Dann Carlton en Bogotá, del 13 al 16 de noviembre de 2024. Así, La Universidad fue uno de los patrocinadores del evento actuarial más importante del país, reconocido ya a nivel Latinoamérica con la participación de asistentes e invitados de países como Brasil, Argentina, Estados Unidos, Suiza, etc.

les, han creído en nuestra propuesta para el desarrollo de sus estudios posgraduales y nosotros, desde la Escuela, hemos podido aprender y seguimos aprendiendo de ellos. Nuestros aliados, por otra parte, conforman en sí mismos el sello de calidad y de visibilidad exterior que nos es tan necesario y pertinente.

Ad portas de nuestro primer proceso de renovación de registro calificado, tenemos mucho trabajo por hacer y nuestra maestría en ciencias actuariales tiene aún mucho que ofrecer, aprendizajes que tener y bastante campo de acción en la formación de profesionales con interés en el manejo cuantitativo del riesgo. A esto le apostamos en un principio y lo seguiremos haciendo,

con las herramientas del estudio del azar, las clásicas y las nuevas, sin dejar nada al azar.

REFERENCIAS

Ortiz, F. (2014). Cálculo de primas y reservas de seguros de vida por Julio Garavito, según el texto de E. Dormoy. *Lecturas Matemáticas*, 35(1), 59-85. ISSN 0120-1980.

Nota para el editor: La mayoría de las referencias se encuentran indicadas en el mismo cuerpo del trabajo, como notas al pie de página, y se encuentran disponibles *online* para consulta rápida por parte de los lectores.

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Alcance y política

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Scope and Policies

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

To complete the submission process, authors must:

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

Manuscript formatting guidelines:

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