

Universidad de Panamá  
Facultad de Ingeniería

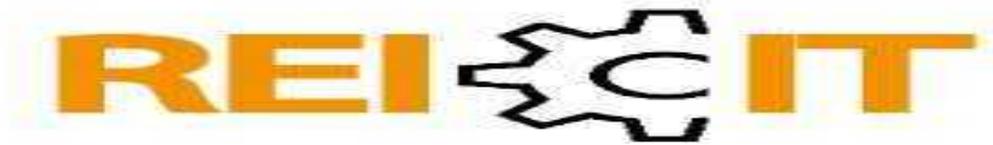


Revista Especializada de Ingeniería y Ciencias de la Tierra

VOL: 5 N° 1 JULIO - DICIEMBRE 2025

ISSN L: 2805-1874





**Revista Especializada de  
Ingeniería y Ciencias de la Tierra  
ISSN L:2805-1874**

**Volumen 5 Número 1  
Julio – Diciembre 2025**

**Publicación semestral**

**Campus Harmodio Arias Madrid  
Domo – Curundu  
523-7500**

**[revistareicitfi@up.ac.pa](mailto:revistareicitfi@up.ac.pa)**

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**

**Eduardo Flores Castro**

Rector

**José Emilio Moreno**

Vicerrector Académico

**Jaime Javier Gutiérrez**

Vicerrector de Investigación y Postgrado

**Mayanín Rodríguez**

Vicerrector de Asuntos Estudiantiles

**Ricardo Him Chi**

Vicerrector de Extensión

**Arnold Muñoz**

Vicerrector Administrativo

**José Luis Solís**

Director de Centros Regionales

Ricardo A. Parker D.

**Secretaría General**

**José Álvaro**

Presidente de la Asociación de Profesores

## **Revista Especializada de Ingeniería y Ciencias de la Tierra (REICIT)**

Campus Universitario Dr. Arias Madrid, Curundu, Universidad de Panamá, Tel +507 523-2189

Correo electrónico: [revistafi@up.ac.pa](mailto:revistafi@up.ac.pa)

### **Consejo Editorial**

#### **Director**

Msc. Elias Lopez Otero

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería

#### **Editor**

Dr. Jorge Martinez

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería

Dra. Elzebir G. Tejedor De León

Universidad de Panamá, Facultad de Humanidades

#### **Comité Científico**

Dra. Maricarmen Gonzalez

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería

Dr. Jose Antonio Simmonds Sheppard

Magister Leonardo Collado

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería

#### **Comité Editorial**

Dr. Francisco Farnum, Universidad de Panamá

Doctora Judith Águila, Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias de la Educación

Doctora Belka Bonnet, docente investigador, UDELAS, Universidad de Panamá

Doctor Alvaro Gonzalez, Universidad de Valencia, Venezuela

Doctor Fernando Obeth Ramirez Corro

Magister Paul Perez, Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería

Magister Enrique Vargas Fanuco, Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería

Ingeniero Exelideth Pitano, Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería

Magister Raúl Ramos, Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería

Magister Geris Medina, docente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Panamá

Magister Michael Castillo, docente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Panamá

Magister Irving Izasa, Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería

#### **Soporte Técnico**

Ing. Victor Poveda Open Journal System (OJS)

Licenciado Rafael Archibold, Universidad de Panamá

Lic. Luis Canto, Registro inscripciones



## **Editorial REICIT**

---

"Ingeniería, Ciencias de la Tierra e Inteligencia Artificial: Convergencia para un Mundo que Cambia"

Nos encontramos en un punto de inflexión histórico. Mientras las ciencias de la Tierra profundizan su comprensión sobre un planeta que expresa con claridad los efectos del cambio climático, la ingeniería enfrenta el reto de diseñar soluciones viables, resilientes y sostenibles. Pero hay un nuevo actor que está redefiniendo los límites de lo posible: la inteligencia artificial.

Lejos de ser una simple herramienta tecnológica, la inteligencia artificial se ha convertido en un catalizador de transformación profunda en nuestras disciplinas. Desde modelos predictivos para desastres naturales hasta sistemas de optimización en tiempo real para infraestructura y recursos, la inteligencia artificial (IA) no sólo mejora los procesos, sino que propone una nueva manera de pensar la ingeniería y de interpretar la Tierra.

Esta convergencia no es trivial. Implica una reformulación de nuestras metodologías tradicionales, exige una alfabetización digital avanzada en nuestros profesionales, y plantea preguntas éticas y epistemológicas de gran calado. ¿Hasta qué punto podemos confiar en sistemas algorítmicos para decisiones críticas? ¿Cómo garantizamos la transparencia de modelos de aprendizaje profundo que influyen en la gestión del riesgo geológico o en el desarrollo urbano?

La ingeniería y las ciencias de la Tierra han sido históricamente disciplinas de frontera. Hoy, esa frontera se ha desplazado hacia el terreno de los datos, la inteligencia artificial y la toma de decisiones complejas. Y es allí donde esta revista se propone estar: en la vanguardia del conocimiento, sin perder el vínculo con la realidad física del mundo que habitamos

En este número, presentamos investigaciones que cruzan fronteras disciplinarias, demostrando que el futuro no se construirá con ladrillos y concreto solamente, sino también con datos, modelos y algoritmos. Se abordan desde la simulación con redes neuronales hasta el uso de IA para monitorear la salud estructural de obras civiles en entornos extremos.

La Revista especializada de Ingeniería y Ciencias de la Tierra (REICIT) presenta su Volumen 5 Número 1 del año 2025, esto representa, cinco volúmenes y siete números de publicación constante desde el 2022 al 2025, lo significa el compromiso y responsabilidad que tiene la revista de la Facultad de Ingeniería con la comunidad académica, en hacer visible y transparente los resultados de las

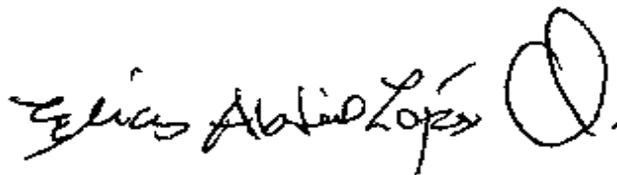
investigaciones, por medio de trabajos científicos de alta calidad.

En esta línea de desarrollo académico, la nueva Edición de la Facultad, pone a la disposición de sus lectores académicos, científicos y público en general, un variado conjunto de investigaciones de gran actualidad en diferentes áreas de competencias. Presentamos en esta edición, artículos en el área de Inteligencia Artificial como: Sobre Redes Neuronales y el Pronóstico de Cargas en Sistemas de Generación y Distribución Eléctrica y Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la Educación Superior. En el área de abastecimiento de agua un artículo que impacta es Fallas Eléctricas y Desabastecimiento de Agua en Panamá, en el área civil tenemos Comparación de Prácticas de Construcción Sostenible en Edificaciones e Infraestructura entre Panamá y Colombia, en procesos se presenta Influencia del Tiempo y Condiciones de Almacenamiento en la Germinación de Semillas de Allium Cepa,

Efectividad del protocolo terapéutico aplicado a pacientes con accidente ofídico atendidos en el cuarto de urgencias de un hospital público ubicado en la Provincia de Veraguas. En ciencias de la tierra, la Importancia del Espectro de Respuesta en el Diseño Sísmico: Guía para su Entendimiento, Origen y Aplicación en Panamá. En el área de ambiente se presenta El Diseño Arquitectónico Sostenible para Reducir el Impacto Ambiental en Edificaciones en Panamá, como también, Resiliencia Climática en Infraestructura Vial Integración de Soluciones Técnicas Basadas en la Naturaleza, para la Sostenibilidad y la Seguridad, Panamá. En administración e industria, Avances en la Gestión Sostenible de las Industrias Panameñas 2023 basados en el ODS 12, Agenda 2030, Hacia un Modelo de Gobernanza de Datos: Diagnóstico y Recomendaciones para el Centro Regional Universitario de San Miguelito,

Es importante destacar, que REICIT, ha sido galardonada este año 2025, por la oficina de publicaciones académicas y científicas de la UP, en el área de sostenibilidad, 1ºer año en LATINEX y 2ºdo año en PANIDEX.

Esta nueva edición, abre las puertas a todos los profesionales de las Ingenierías y Ciencias de la Tierra, para que encuentren en ella una ventana de conocimiento y una apertura constante para divulgar su producción científica.



*M.Sc. Elias H. Lopez Otero  
Decano de la Facultad de Ingeniería  
Presidente del Comité Editorial*

## ÍNDICE

	Artículo	Página
1	Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la Educación Superior: Estudio de Caso en la Facultad de Ingeniería, Universidad de Panamá, 2025. Arnold Osvaldo Muñoz Escudero	9-29
2	Influencia del Tiempo y Condiciones de Almacenamiento en la Germinación de Semillas de Allium Cepa, 2025 Rubén Darío Collantes-González, Javier Ernesto Pittí-Caballero	30- 39
3	Fallas Eléctricas y Desabastecimiento de Agua en Panamá: Análisis y Propuestas de Solución, 2025. Gabriel Jesús Montúfar Chiriboga	40- 51
4	Comparación de Prácticas de Construcción Sostenible en Edificaciones e Infraestructura entre Panamá y Colombia, 2025. Gabriel Jesús Montúfar Chiriboga	52-63
5	La Importancia del Espectro de Respuesta en el Diseño Sísmico: Guía para su Entendimiento, Origen y Aplicación en Panamá, 2025. Isaac Abdiel Salazar Moreno	64-76
6	Hacia un Modelo de Gobernanza de Datos: Diagnóstico y Recomendaciones para el Centro Regional Universitario de San Miguelito, 2025. <i>Javier Garrido Córdoba</i>	77-93
7	Diseño Arquitectónico Sostenible para Reducir el Impacto Ambiental en Edificaciones en Panamá, 2025. Daniel Champsaur Sánchez	94-109
8	Sobre Redes Neuronales y el Pronóstico de Cargas en Sistemas de Generación y Distribución Eléctrica, Panamá, 2010. Jose Simmonds, Jorge Luis Martínez Ramírez	110-127
9	Efectividad del protocolo terapéutico aplicado a pacientes con accidente ofídico atendidos en el cuarto de urgencias de un hospital público ubicado en la Provincia de Veraguas. Enero-diciembre, 202. Serena Pérez Aguilar, Andrea Mojica, Danila Rodríguez, Betzy Camarena, Suseth Bósquez, Yamila Robles, Lisbeth López, Víctor Parada.	128-146
10	La inteligencia artificial y su uso efectivo en el aula. Caso de estudio Bachillerato. Angelica Patricia Díaz Villavicencio, Rocío Lara Suárez, Reyes Johan Calderón Angulo	147-160



Revista Especializada de Ingeniería  
y Ciencias de la Tierra

VOL: 5 N° 1 Julio - Diciembre 2025  
ISSN L: 2805-1874

## **Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la Educación Superior: Estudio de Caso en la Facultad de Ingeniería, Universidad de Panamá, 2025.**

### **Applications of Artificial Intelligence in Higher Education: A Case Study at the Faculty of Engineering, University of Panama, 2025.**

**Arnold Osvaldo Muñoz Escudero**

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá

arnold.munoz01@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0001-2589-9599>

**Recibido: 9/2/2025 Aceptado: 10/6/2025**

**DOI <https://doi.org/10.48204/reicit.v5n1.7675>**

#### **RESUMEN**

La inteligencia artificial (IA) está transformando rápidamente los métodos de enseñanza y aprendizaje en la educación superior. Este estudio se enfoca en analizar el impacto de la IA en los procesos de enseñanza-aprendizaje en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Panamá. A través de una revisión bibliográfica, recolección de datos cualitativos y encuestas aplicadas a estudiantes, se identificaron las principales herramientas utilizadas, su frecuencia de uso y su percepción sobre su efectividad académica. Los resultados evidencian que las tecnologías basadas en IA, como los tutores inteligentes, el aprendizaje adaptativo y los chatbots, han mejorado la personalización del aprendizaje, la retroalimentación y el acceso a recursos educativos. Sin embargo, también se identificaron desafíos como el uso indebido, la falta de regulación institucional y las desigualdades en el acceso tecnológico. Este estudio concluye que, si bien la IA ofrece grandes beneficios para la educación, su implementación requiere un enfoque ético, regulado y equitativo para garantizar una verdadera optimización del aprendizaje.

**Palabras clave:** inteligencia artificial, educación superior, aprendizaje adaptativo, métodos de enseñanza, tecnologías educativas.

### **Abstract**

Artificial intelligence (AI) is rapidly transforming teaching and learning methods in higher education. This study focuses on analyzing the impact of AI on teaching-learning processes at the Faculty of Engineering, University of Panama. Through literature review, qualitative data collection, and surveys administered to students, the study identified the main AI tools used, their frequency of use, and students' perceptions of their academic effectiveness. The findings show that AI-based technologies—such as intelligent tutors, adaptive learning platforms, and chatbots—have improved learning personalization, feedback, and access to educational resources. However, challenges such as misuse, lack of institutional regulation, and inequalities in technological access were also highlighted. The study concludes that while AI presents significant benefits for education, its implementation requires an ethical, regulated, and equitable approach to truly optimize learning outcomes.

**Keywords:** artificial intelligence, higher education, adaptive learning, teaching methods, educational technology.

### **INTRODUCCIÓN**

En los últimos años, la inteligencia artificial (IA) ha dejado de ser un concepto relegado a la ciencia ficción para convertirse en una realidad palpable en nuestra vida cotidiana. Lo que antes parecía propio de películas futuristas, hoy se encuentra al alcance de cualquier persona con un teléfono móvil o una computadora conectada a Internet. Desde asistentes virtuales hasta sistemas de recomendación y plataformas educativas, la IA se ha integrado silenciosamente en múltiples aspectos de nuestra rutina diaria.

No obstante, aunque su uso se ha vuelto común, pocas veces nos detenemos a reflexionar sobre qué es realmente la inteligencia artificial. Si bien no existe una definición única y definitiva, podemos entenderla como un conjunto de tecnologías diseñadas para realizar tareas que tradicionalmente requieren de la inteligencia humana. Según el *EDUCAUSE Horizon Report* (Alexander et al., 2019), la IA emplea sistemas informáticos que utilizan grandes volúmenes de

datos y algoritmos de aprendizaje automático para realizar tareas, tomar decisiones y resolver problemas de manera similar a como lo haría una persona.

Debido a estas capacidades, la IA ha comenzado a desempeñar un papel importante en múltiples sectores como la medicina, la arquitectura, la ingeniería y, particularmente, la educación. En este artículo, nos enfocaremos en cómo esta tecnología está transformando los métodos de enseñanza-aprendizaje en el contexto universitario, específicamente en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Panamá.

Uno de los aportes más relevantes de la inteligencia artificial en el ámbito educativo es el aprendizaje adaptativo. Esta metodología reconoce que cada estudiante tiene una forma única de aprender, por lo que busca personalizar el proceso educativo a través de plataformas tecnológicas. Como lo señala Morillo Lozano (2016), el objetivo es ofrecer a cada alumno los recursos que necesita, evitando que alguien quede rezagado. Un estudio del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) sobre el programa *ASSISTments* respalda esta afirmación: los estudiantes que recibieron retroalimentación personalizada mediante algoritmos adaptativos lograron un rendimiento significativamente superior en matemáticas en comparación con quienes no la recibieron (Rafferty & Griffin, 2017).

Además del aprendizaje personalizado, la IA también impulsa nuevos enfoques como la gamificación, que consiste en aplicar elementos de los videojuegos a contextos educativos. Esta técnica ha demostrado aumentar la motivación, la retención del conocimiento y el compromiso del estudiante (Zamora-Polo et al., 2019). Un ejemplo destacado es *Minecraft Education Edition*, una plataforma utilizada para desarrollar habilidades cognitivas y sociales en un entorno lúdico. Durante la actividad "Educando con Minecraft", organizada por la Embajada de Estados Unidos y Microsoft, se resaltó el valor de esta herramienta para fomentar un aprendizaje activo, creativo y significativo (U.S. Embassy Montevideo, 2022).

Actualmente, la inteligencia artificial se aplica en la educación en múltiples frentes: desde la gestión institucional y la evaluación académica, hasta el diseño de tutores inteligentes y sistemas de recomendación de contenido. Como señalan Alexander et al. (2019), la IA no solo mejora los procesos de enseñanza y aprendizaje a nivel individual, sino que también ofrece información

valiosa a las instituciones para la toma de decisiones estratégicas relacionadas con la retención estudiantil, el rendimiento académico y la eficiencia de los programas educativos. Este manuscrito explora el impacto de la IA en la educación, centrándose en cómo estas tecnologías contribuyen a la mejora del proceso de enseñanza y aprendizaje.

## **1.1 Planteamiento del Problema**

### **1.1.1 Enunciado del problema**

A pesar del creciente interés en la aplicación de la inteligencia artificial (IA) en el ámbito educativo, muchas de las soluciones tecnológicas desarrolladas hasta el momento aún se encuentran en fases tempranas de implementación. De acuerdo con Moreno Padilla (2019), es necesario continuar investigando para perfeccionar su eficacia, asegurar su pertinencia pedagógica y, sobre todo, garantizar su aceptación por parte de docentes y estudiantes. El avance de la IA en el campo de la educación es todavía incierto y en evolución constante, como lo evidencia el caso de herramientas como ChatGPT, cuya utilidad educativa sigue siendo objeto de debate en múltiples entornos académicos.

La actual revolución del aprendizaje automático se fundamenta en tres pilares: algoritmos cada vez más sofisticados, mayor capacidad de cómputo y la abundancia de datos producto de la digitalización masiva de la sociedad. Sin embargo, estos elementos no siempre están disponibles de forma equitativa. En muchos contextos educativos, la infraestructura tecnológica es insuficiente para soportar sistemas de IA avanzados, lo que limita su implementación efectiva. Además, el acceso desigual a dispositivos y conectividad por parte del estudiantado refuerza las brechas digitales existentes.

Por otra parte, existen limitaciones inherentes a los propios algoritmos de IA. Si bien estas herramientas pueden realizar tareas específicas con gran eficiencia como el reconocimiento de patrones en imágenes o textos, carecen de comprensión contextual y habilidades cognitivas humanas complejas. Esta característica ha llevado a algunos expertos a definirlos como “sabios tontos artificiales”: sistemas capaces de sobresalir en tareas definidas, pero vulnerables ante datos o situaciones imprevistas (Fundació Factor Humà, 2021). A esto se suma el alto costo de implementación y el tiempo que requieren las instituciones para integrar nuevas tecnologías de manera adecuada en sus modelos pedagógicos.

Todo este panorama plantea una serie de cuestionamientos fundamentales que orientan esta investigación:

- ¿Cómo afecta la inteligencia artificial a la educación y qué aportes concretos brinda para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje?
- ¿De qué manera se está utilizando actualmente la IA en el entorno universitario?
- ¿Se está implementando esta tecnología de manera equitativa y accesible para todos los estudiantes?
- ¿Qué retos enfrentan las instituciones educativas en la integración de IA en sus prácticas formativas?

## **1.2 Objetivos del Estudio**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Identificar y analizar el impacto de la inteligencia artificial en los métodos de aprendizaje en el ámbito educativo, con el propósito de comprender cómo esta tecnología puede influir en la calidad, la eficacia y la equidad del proceso formativo.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Examinar las ventajas y desventajas de la incorporación de la inteligencia artificial en los procesos educativos.
- Investigar las formas actuales de implementación de la IA en entornos universitarios, así como los avances tecnológicos más relevantes en esta área.
- Analizar el impacto de la IA en el desarrollo de habilidades y competencias clave en los estudiantes, como el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la creatividad y el aprendizaje autónomo.
- Explorar los desafíos institucionales y sociales que limitan la adopción equitativa de tecnologías basadas en IA en la educación superior.

## **1.3 Justificación**

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Panamá enfrenta actualmente el reto de formar profesionales capaces de desenvolverse en un entorno laboral marcado por la constante transformación tecnológica. Esta realidad exige no solo la actualización de los contenidos curriculares, sino también una revisión profunda de los métodos de enseñanza-aprendizaje que se

aplican en el aula. Tal como señala Ramos (2020), las universidades deben adaptarse rápidamente para responder a las demandas de un mercado profesional cada vez más orientado hacia la digitalización, la automatización y el uso intensivo de tecnologías emergentes. En este contexto, la incorporación de herramientas basadas en inteligencia artificial (IA) representa una oportunidad estratégica para innovar en los procesos educativos. Tecnologías como los sistemas de tutoría inteligentes, las plataformas de aprendizaje adaptativo y los asistentes virtuales han comenzado a implementarse con el objetivo de ofrecer experiencias de aprendizaje más personalizadas, interactivas y efectivas. Estas herramientas permiten atender mejor la diversidad de estilos y ritmos de aprendizaje entre los estudiantes, promoviendo así una educación más inclusiva y centrada en el alumno (Martínez et al., 2023). La justificación de este estudio se basa en la necesidad de comprender y evaluar el impacto real que estas tecnologías están teniendo en los métodos de enseñanza-aprendizaje dentro del entorno universitario. La transformación digital no puede limitarse a la simple adopción de software educativo, sino que debe ir acompañada de un análisis crítico que permita identificar buenas prácticas, limitaciones, y áreas de mejora. En el caso específico de la Facultad de Ingeniería, se vuelve fundamental analizar cómo la IA puede apoyar el desarrollo de competencias clave como la resolución de problemas, el pensamiento lógico, la creatividad y la colaboración, todas habilidades esenciales para el ingeniero del siglo XXI.

Además, es pertinente destacar que la implementación de IA en entornos educativos puede contribuir a la optimización de recursos académicos, al permitir una mejor gestión del tiempo docente, el seguimiento individualizado del progreso estudiantil y la identificación temprana de dificultades de aprendizaje. Estos beneficios no solo impactan en el rendimiento académico, sino que también pueden influir positivamente en la retención y el éxito estudiantil, temas de gran relevancia para las instituciones de educación superior. Por lo tanto, el presente estudio se propone analizar de manera crítica y contextualizada el papel que desempeña la inteligencia artificial en la optimización de los métodos de enseñanza-aprendizaje en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Panamá, considerando tanto sus beneficios potenciales como los desafíos que implica su implementación.

#### **1.4 Alcance**

El presente estudio se enmarca dentro de un enfoque descriptivo, con el objetivo de ofrecer una visión general, actualizada y fundamentada sobre la influencia de la inteligencia artificial en los métodos de aprendizaje. La investigación se basará en la revisión de literatura académica reciente, el análisis de estudios previos y la recopilación de información cualitativa que permita comprender las principales tendencias, beneficios y desafíos relacionados con el uso de IA en entornos educativos. No se pretende hacer predicciones ni establecer relaciones causales, sino más bien construir un panorama informativo y objetivo que contribuya al entendimiento del fenómeno desde una perspectiva amplia y crítica.

## 1.5 Delimitación

Esta investigación estará delimitada por los siguientes criterios:

- Se analizarán estudios y publicaciones académicas realizadas en los últimos cinco años (2019–2024), para garantizar la actualidad del enfoque.
- Se abordarán exclusivamente los métodos educativos que integran tecnologías basadas en inteligencia artificial.
- Se examinarán ejemplos y aplicaciones de la IA en el ámbito educativo a nivel internacional, sin centrarse en un contexto geográfico específico.
- Se evaluará tanto el impacto positivo como negativo de la implementación de la inteligencia artificial en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

## 1.6 Limitaciones

La investigación reconoce las siguientes limitaciones:

- No se pretende emitir juicios de valor sobre si el uso de la inteligencia artificial en la educación es correcto o incorrecto.
- No se propondrán nuevas aplicaciones o desarrollos tecnológicos relacionados con IA en el ámbito educativo.
- El estudio se limitará a la recopilación y análisis de información secundaria, sin la realización de experimentos, encuestas o pruebas de campo.
- No se abordará el uso de la inteligencia artificial en el contexto educativo nacional (Panamá).
- La investigación se centrará en la educación de forma general, sin profundizar en niveles o disciplinas educativas específicas (como primaria, secundaria o ingeniería, entre otras).

## 1.7 Hipótesis

Dado el carácter descriptivo y exploratorio de este estudio, no se plantea una hipótesis central. En lugar de ello, la investigación tiene como finalidad recopilar, analizar y sintetizar información relevante sobre la aplicación de la inteligencia artificial en la educación, identificando sus principales usos, beneficios, desafíos y repercusiones en los métodos de aprendizaje. Se espera que este análisis contribuya al desarrollo de una base conceptual sólida para futuras investigaciones o propuestas en este campo.

## 2. MÉTODOS Y MATERIALES

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo y descriptivo, estructurado en cuatro fases metodológicas:

## **Fase I – Revisión de Literatura**

Se realizó una revisión exhaustiva de literatura científica y académica relacionada con la aplicación de la inteligencia artificial en el ámbito educativo. Para ello, se consultaron diversas fuentes clasificadas de la siguiente manera:

- Fuentes primarias: libros especializados, artículos de revistas científicas y estudios originales.
- Fuentes secundarias: artículos de revisión, análisis interpretativos de investigaciones previas y ensayos académicos.
- Fuentes terciarias: bibliografías, bases de datos académicas y catálogos especializados.

## **Fase II – Recopilación de Información**

Con base en la revisión anterior, se seleccionó información relevante que contribuyera a responder los objetivos de la investigación. Se priorizó material publicado en los últimos cinco años (2019–2024), enfocado en métodos de enseñanza-aprendizaje mediados por inteligencia artificial, y en estudios de caso internacionales.

## **Fase III – Análisis de la Información**

La información recopilada fue categorizada y analizada cualitativamente, identificando tendencias, beneficios, desafíos y limitaciones en la implementación de herramientas de inteligencia artificial en contextos educativos. El análisis permitió establecer relaciones conceptuales que enriquecen la comprensión del impacto de la IA en la enseñanza.

## **Fase IV – Aplicación de Encuestas**

Con el objetivo de complementar la revisión documental, se diseñó y aplicó una encuesta dirigida a docentes y estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Panamá. El propósito fue identificar las herramientas de inteligencia artificial más utilizadas en el proceso de enseñanza-aprendizaje, así como recoger percepciones sobre su efectividad, accesibilidad y desafíos.

La encuesta incluyó preguntas cerradas y abiertas, abarcando los siguientes ejes:

- Conocimiento general sobre inteligencia artificial.
- Herramientas de IA utilizadas en el entorno educativo (por ejemplo, asistentes virtuales, plataformas de aprendizaje adaptativo, sistemas de recomendación, etc.).
- Opinión sobre el impacto de estas herramientas en el proceso de aprendizaje.
- Limitaciones o dificultades en su uso.

Los datos recopilados se analizaron de manera descriptiva, sirviendo como insumo adicional para el análisis general del estudio.

### **3. RESULTADO Y CONCLUSIONES**

#### **3.1 El impacto de la IA en la educación**

La inteligencia artificial (IA) ha tenido un impacto transformador en la educación, modificando cómo se imparten y reciben los contenidos educativos. Esta tecnología ha mejorado diversos aspectos del proceso de enseñanza y aprendizaje, con un énfasis particular en la personalización y la eficiencia. Una de las principales contribuciones de la IA a la educación es la personalización del aprendizaje. Utilizando algoritmos adaptativos, los sistemas basados en IA pueden analizar grandes volúmenes de datos educativos para ofrecer materiales, recursos y actividades ajustados a las necesidades individuales de los estudiantes. Esto no solo permite una educación más personalizada, sino que también aumenta la motivación de los estudiantes al proporcionarles contenidos relevantes a su ritmo y estilo de aprendizaje, favoreciendo el aprendizaje autónomo. Además, los sistemas de IA mejoran la retroalimentación inmediata. Los estudiantes reciben respuestas rápidas sobre su desempeño, lo que les permite identificar sus errores de forma inmediata y corregirlos sin esperar la retroalimentación tradicional de un docente. Esta capacidad de corrección rápida acelera el proceso de aprendizaje, especialmente en áreas donde la práctica constante es clave, como las matemáticas o la resolución de problemas. La disponibilidad de recursos educativos inteligentes es otro beneficio crucial. Los sistemas de recomendación basados en IA pueden sugerir libros, artículos, videos, simulaciones y otros recursos adicionales según las necesidades específicas de los estudiantes. Esta accesibilidad a una variedad de materiales educativos puede enriquecer la experiencia de aprendizaje y proporcionar diversas perspectivas sobre un tema, lo que facilita una comprensión más profunda. Por último, la asistencia virtual proporcionada por chatbots y asistentes automatizados también está cambiando la educación. Estos sistemas permiten a los estudiantes recibir respuestas a preguntas en cualquier momento, sin la necesidad de esperar por la intervención de un docente, lo que facilita la resolución de dudas fuera del horario escolar o en entornos de aprendizaje en línea.

#### **3.2 Ventajas y desventajas**

##### **3.2.1 Ventajas**

La implementación de la inteligencia artificial en la educación presenta una serie de ventajas que mejoran tanto la experiencia de los estudiantes como la de los docentes. Entre las principales ventajas, destacan las siguientes:

- Acceso instantáneo a la información: La IA facilita la búsqueda y el acceso a información relevante y actualizada sobre cualquier tema. Los estudiantes pueden encontrar respuestas inmediatas a sus preguntas, lo que fomenta la autonomía en el aprendizaje.
- Flexibilidad horaria y geográfica: Los sistemas de IA permiten el aprendizaje a distancia, lo que brinda a los estudiantes la oportunidad de acceder a materiales educativos desde cualquier lugar y en cualquier momento. Esto es especialmente valioso en un mundo donde la flexibilidad es cada vez más crucial.
- Adaptación al ritmo y estilo de aprendizaje: La IA permite la personalización del aprendizaje. Los sistemas adaptativos ajustan el contenido según el nivel de conocimiento y la velocidad de aprendizaje del estudiante, ayudando a maximizar su potencial y evitando que se queden atrás en el proceso educativo.

### **3.2.2 Desventajas**

A pesar de los beneficios que la inteligencia artificial aporta al sistema educativo, también existen algunas desventajas que no deben ser ignoradas:

- Problemas técnicos: Como cualquier tecnología, los sistemas de IA no están exentos de fallos. Los dispositivos y plataformas educativas pueden sufrir bloqueos o fallos técnicos, lo que interrumpe el proceso de enseñanza y aprendizaje.
- Desigualdad en el acceso: A pesar de que la mayoría de los estudiantes tienen acceso a dispositivos como smartphones y computadoras, no todas las instituciones educativas cuentan con los recursos financieros necesarios para implementar tecnologías basadas en IA. Esto crea una brecha tecnológica entre diferentes instituciones, lo que puede limitar las oportunidades educativas de los estudiantes en zonas rurales o en instituciones con menos recursos.
- Distracciones: El uso prolongado de dispositivos electrónicos puede generar fatiga visual y problemas posturales. Además, si los estudiantes no son supervisados adecuadamente, pueden utilizar los dispositivos para fines no relacionados con el aprendizaje, como el acceso a redes sociales o entretenimiento, lo que puede afectar su rendimiento académico.
- Deshumanización del proceso educativo: Aunque los sistemas de IA pueden ofrecer retroalimentación y asistencia, algunos críticos argumentan que la educación basada en IA puede carecer de la empatía y el contacto humano que caracteriza a la enseñanza tradicional. Esto podría resultar en una experiencia educativa menos personal y más distante para los estudiantes.

### **Uso incorrecto de la IA en la educación**

Una de las preocupaciones más grandes sobre el uso de la inteligencia artificial en la educación es su posible uso incorrecto. Aunque la IA tiene un enorme potencial para mejorar los procesos educativos, su aplicación mal gestionada puede llevar a efectos contraproducentes. Un claro

ejemplo de uso incorrecto es el fenómeno de "copy-paste" o copia y pega, donde los estudiantes, al utilizar herramientas de IA como generadores de textos automáticos (por ejemplo, ChatGPT), se limitan a copiar respuestas generadas por la máquina sin analizarlas ni reflexionar sobre ellas. Este uso pasivo de la tecnología puede resultar en una falta de pensamiento crítico. Si los estudiantes se limitan a aceptar la información proporcionada por la IA sin cuestionarla, podrían perder la capacidad de analizar, reflexionar y construir su propio conocimiento. Además, el plagio automático se ha convertido en un desafío significativo en la educación moderna, ya que los estudiantes pueden copiar y pegar contenido generado por IA, sin comprender realmente el material ni desarrollar las habilidades necesarias para el pensamiento crítico. El uso de la IA sin una supervisión adecuada también puede fomentar una dependencia excesiva de la tecnología, en lugar de promover el desarrollo de habilidades cognitivas fundamentales como la resolución de problemas y la toma de decisiones. De esta manera, la IA podría terminar por suplantar el rol activo del estudiante en su propio proceso de aprendizaje.

### 3.3 Implementación de la IA en el ámbito educativo en los últimos años

La implementación de la inteligencia artificial en la educación ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, con diversas aplicaciones que están transformando la manera en que se enseña y se aprende. Un ejemplo notable es la herramienta Agent SocialMetric descrita por Kuz et al. (2015). Esta herramienta, que utiliza el análisis de redes sociales y chatbots, permite a los docentes obtener datos sobre las interacciones de los estudiantes dentro del aula. Esto no solo ayuda a identificar estudiantes que puedan estar aislados o desconectados, sino que también permite crear estrategias pedagógicas más efectivas basadas en los patrones sociales de los estudiantes.

#### **Figura 1.**

*Representación de los Chatbots*



*Nota:* Otro ejemplo relevante es el tutor inteligente controlado por voz propuesto por Ibarra (2020), diseñado para estudiantes con discapacidad visual. Este sistema utiliza el lenguaje natural para permitir una interacción directa con las computadoras, facilitando el aprendizaje para aquellos que enfrentan barreras físicas en el acceso a la tecnología.

Finalmente, el Centro de Estudios Montseny en Barcelona ha implementado la plataforma Clickedu, que utiliza algoritmos de IA y big data para personalizar el proceso educativo. Esta plataforma permite a los docentes obtener información valiosa sobre el rendimiento de los estudiantes, lo que facilita la predicción de situaciones y la identificación de tendencias que pueden mejorar la enseñanza.

**Figura 2.**

*Plataforma Clickedu*



*Nota:* La introducción de la inteligencia artificial (IA) en el ámbito educativo no solo ha transformado el acceso a la información y la dinámica

### 3.4 ¿Cómo influye la inteligencia artificial en el desarrollo de habilidades de los estudiantes?

La introducción de la inteligencia artificial (IA) en el ámbito educativo no solo ha transformado el acceso a la información y la dinámica de colaboración entre estudiantes, sino que también ha abierto nuevas oportunidades para el desarrollo de habilidades técnicas, cognitivas y sociales fundamentales en el contexto contemporáneo. En primer lugar, al interactuar con herramientas basadas en IA —como plataformas de aprendizaje adaptativo, asistentes virtuales o programas de análisis de datos— los estudiantes adquieren competencias tecnológicas esenciales. Este contacto directo con sistemas inteligentes fortalece habilidades relacionadas con la alfabetización digital, la programación básica, el análisis de datos, el razonamiento algorítmico y la comprensión de procesos automatizados, todos ellos conocimientos altamente demandados en el mercado laboral actual y futuro.

Además de las habilidades técnicas, el uso de la IA en contextos educativos fomenta el pensamiento crítico y analítico, al desafiar a los estudiantes a evaluar la calidad, la veracidad y la pertinencia de la información que reciben. La interacción con sistemas inteligentes que simulan decisiones humanas les exige interpretar, cuestionar y reflexionar sobre el contenido, más allá de

simplemente memorizarlo. Esta capacidad de cuestionamiento y evaluación es clave para formar ciudadanos críticos y autónomos.

Por otro lado, los entornos impulsados por IA también pueden estimular la creatividad, al ofrecer múltiples vías para resolver un problema o al proponer retos complejos que demandan soluciones originales. Herramientas como los simuladores, los entornos gamificados o los algoritmos de generación de contenido pueden ser útiles para fomentar procesos creativos, resolución de problemas y toma de decisiones informadas.

No obstante, es importante advertir sobre un uso pasivo de estas tecnologías. El simple acceso a herramientas de IA no garantiza el desarrollo de habilidades si los estudiantes se limitan a reproducir resultados sin una comprensión profunda. Un caso frecuente es el uso de generadores de texto (como chatbots), donde algunos estudiantes caen en el hábito del "copy-paste" de respuestas generadas por IA sin analizarlas, comprenderlas ni interiorizarlas. Esta práctica no solo inhibe el desarrollo del pensamiento crítico, sino que también puede fomentar la dependencia tecnológica y debilitar la capacidad de expresión y argumentación personal.

En resumen, la IA tiene un gran potencial para enriquecer las competencias de los estudiantes y prepararlos para un mundo cada vez más tecnológico. Sin embargo, su uso debe estar acompañado de una pedagogía activa, reflexiva y supervisada, que fomente una interacción crítica con la tecnología y asegure que el aprendizaje no se limite a la repetición mecánica de resultados, sino que estimule la comprensión y la creatividad.

### **3.5 Equidad en la implementación de la inteligencia artificial educativa**

Si bien la inteligencia artificial promete grandes beneficios para el sistema educativo, su implementación plantea importantes desafíos en materia de equidad y acceso, especialmente en contextos donde las condiciones socioeconómicas y tecnológicas no son homogéneas.

Uno de los principales obstáculos es la brecha digital, entendida como la diferencia entre quienes tienen acceso a tecnología y conectividad, y quienes no. La implementación de IA en la educación requiere una infraestructura tecnológica mínima: conexión a internet de calidad, dispositivos adecuados (computadoras, tabletas, smartphones) y formación docente. Sin embargo, muchas instituciones, particularmente en zonas rurales o en contextos de bajos recursos, no cuentan con estas condiciones básicas, lo que puede profundizar la desigualdad educativa existente.

Además, aunque muchos estudiantes disponen de dispositivos personales, no todas las escuelas permiten su uso en el aula con fines pedagógicos. Esta política restrictiva, común en muchos centros educativos, limita el potencial de la inteligencia artificial como herramienta de aprendizaje, y plantea la necesidad de reformular normativas institucionales que permitan integrar los dispositivos personales de forma segura y controlada en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Por otro lado, la equidad en el uso de la IA también depende de la alfabetización digital tanto de estudiantes como de docentes. No basta con disponer de la tecnología: es imprescindible saber usarla con fines educativos. La falta de capacitación docente y la resistencia al cambio pueden dificultar la adopción efectiva de estas tecnologías, especialmente si no se cuenta con estrategias de formación continua que preparen al profesorado para aplicar la IA de manera crítica, ética y pedagógicamente adecuada.

También se debe considerar que la IA, al estar basada en algoritmos entrenados con grandes volúmenes de datos, puede reproducir sesgos y estereotipos si no se desarrollan con principios de ética y transparencia. Esto pone en riesgo la equidad educativa, ya que los sistemas podrían favorecer o desfavorecer a determinados grupos de estudiantes según criterios no controlados.

En este sentido, para que la implementación de la IA sea equitativa, debe ir acompañada de políticas educativas inclusivas que garanticen el acceso universal a la tecnología, promuevan el uso responsable de los dispositivos personales, capaciten a docentes y estudiantes, y vigilen el desarrollo ético de las herramientas utilizadas.

### **3.6 Resultados de la encuesta sobre el uso de herramientas de inteligencia artificial en el ámbito académico**

Como parte de esta investigación, se aplicó una encuesta a una muestra de 50 estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Panamá. El objetivo fue conocer cómo utilizan las herramientas de inteligencia artificial (IA) en sus estudios, qué tan frecuente es su uso, cuáles plataformas prefieren y cuál es su percepción sobre su impacto en el aprendizaje y desempeño académico. La encuesta, anónima y en línea, contenía preguntas de opción múltiple y escala de opinión, lo que permitió recopilar tanto datos cuantitativos como cualitativos.

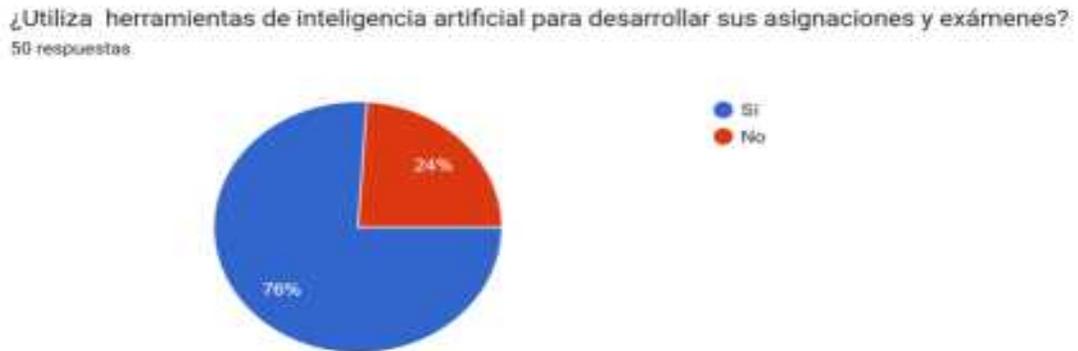
#### **3.6.1 Uso y frecuencia de herramientas de IA**

Los resultados indican que una amplia mayoría de los estudiantes sí utilizan herramientas de inteligencia artificial en su proceso académico. De los 50 encuestados:

- 76% de los alumnos afirmaron que usan herramientas de IA para desarrollar asignaciones o exámenes.
- Solo el 24% manifestaron no utilizarlas.

### Figura 3.

Resultados de la encuesta sobre el uso de herramientas de inteligencia

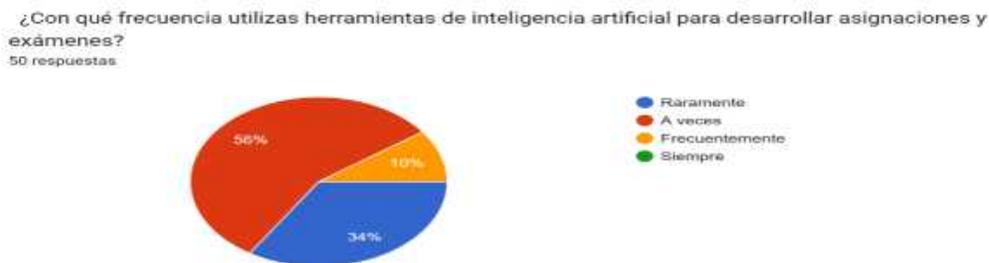


Nota: En cuanto a la frecuencia de uso, los resultados fueron los siguientes:

- **A veces - ocasionalmente (una vez al mes):** 40% de los estudiantes
- **Frecuentemente ( una vez a la semana):** 10 % de los estudiantes
- **Raramente o nunca:** 34% de los estudiantes
- **Siempre (todos los días):** 0% de los estudiantes

### Figura 4.

Resultados de la encuesta sobre el uso de herramientas de inteligencia artificial



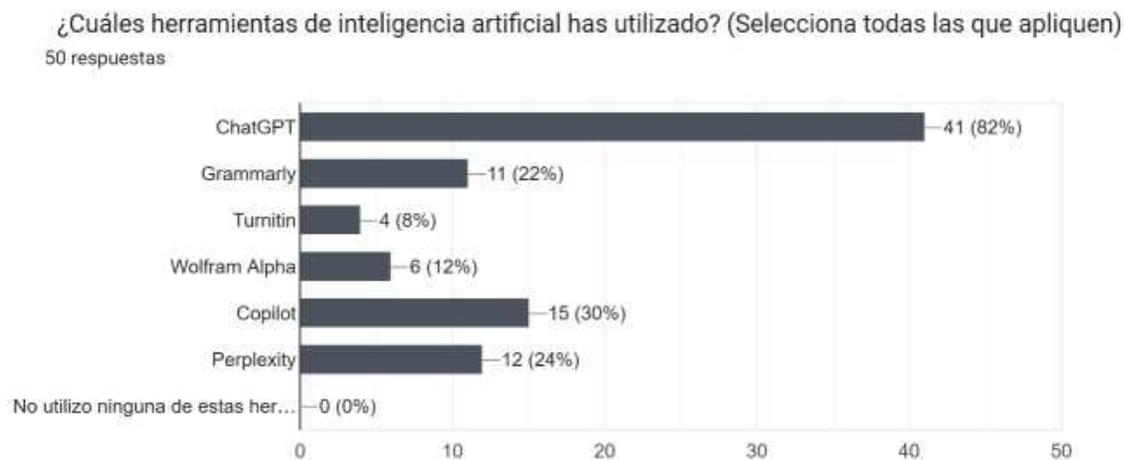
*Nota:* El objetivo fue conocer cómo utilizan las herramientas de inteligencia artificial (IA) en sus estudios, qué tan frecuente es su uso, cuáles plataformas prefieren y cuál es su percepción sobre su impacto en el aprendizaje y desempeño académico.

### 3.6.2 Herramientas de IA más utilizadas

Los participantes seleccionaron múltiples herramientas de una lista, con los siguientes resultados (se pueden mostrar en gráfico de barras):

#### Figura 5.

*Resultados de la encuesta sobre el uso de herramientas de inteligencia artificial.*



*Nota:* Cuando se les preguntó si estas herramientas han ayudado significativamente en su aprendizaje, 34 estudiantes (68%) respondieron afirmativamente

### 3.6.3 Percepción del impacto en el aprendizaje

Cuando se les preguntó si estas herramientas han ayudado significativamente en su aprendizaje, 34 estudiantes (68%) respondieron afirmativamente.

Además:

- 21 estudiantes (42%) consideran que la IA optimiza su aprendizaje.
- 22 estudiantes (44%) afirmaron que se sienten más confiados en sus habilidades académicas al utilizar herramientas de IA.

### 3.6.4 Beneficios percibidos

Entre los beneficios más señalados por los estudiantes al usar IA en el entorno académico, se destacan:

**Figura 9.**

*Resultados de la encuesta sobre el uso de herramientas de inteligencia artificial.*



*Nota:* A pesar de los beneficios, los estudiantes también reconocen riesgos importantes en el uso desmedido o incorrecto de la IA

### 3.6.5 Riesgos, mal uso y percepción ética

A pesar de los beneficios, los estudiantes también reconocen riesgos importantes en el uso desmedido o incorrecto de la IA. En las respuestas abiertas, varios mencionaron preocupaciones como:

- Dependencia excesiva de herramientas como ChatGPT sin análisis crítico.
- Copiar y pegar respuestas generadas por IA sin leer ni verificar.
- Desarrollo de trabajos automáticos, sin comprender los contenidos.

Además, 29 estudiantes (58%) creen que debería existir una regulación formal en la facultad respecto al uso de la IA, especialmente en tareas evaluativas o exámenes.

### **3.6.6 Interpretación y reflexiones**

Los resultados reflejan que el uso de herramientas de inteligencia artificial está ampliamente extendido entre los estudiantes, quienes las consideran útiles para mejorar su rendimiento y facilitar el aprendizaje. Sin embargo, también evidencian una zona gris donde estas herramientas pueden ser mal utilizadas como sustituto del pensamiento crítico, afectando la calidad del aprendizaje real.

Por tanto, se recomienda que las instituciones educativas establezcan políticas claras sobre el uso ético de la IA, acompañadas de capacitación tanto para estudiantes como para docentes, que promuevan un uso responsable, reflexivo y formativo de estas tecnologías.

## **4. Conclusiones**

La presente investigación permitió analizar de forma detallada el impacto de la inteligencia artificial (IA) en los métodos de enseñanza-aprendizaje en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Panamá. A partir del estudio teórico y del análisis de una encuesta aplicada, se llegó a las siguientes conclusiones clave:

- Ampliación y transformación del aprendizaje: la IA ha comenzado a transformar significativamente la forma en que los estudiantes aprenden. Herramientas como ChatGPT, Grammarly y plataformas de aprendizaje adaptativo han facilitado el acceso a contenido personalizado, la retroalimentación inmediata y la mejora en la calidad de las asignaciones, optimizando así la experiencia educativa.
- Mejora en habilidades técnicas y cognitivas: el uso frecuente de herramientas de IA ha contribuido al desarrollo de habilidades técnicas (uso de tecnologías, análisis de datos, comprensión de algoritmos) y cognitivas (pensamiento crítico, creatividad, resolución de problemas), preparándolos mejor para un entorno profesional cada vez más digitalizado.
- Percepciones positivas con reservas éticas: la mayoría de los estudiantes encuestados reconocen beneficios claros en el uso de la IA, como el ahorro de tiempo, el apoyo en la organización de ideas y la comprensión de temas complejos. Sin embargo, también manifestaron preocupaciones sobre su mal uso, como el "copiar y pegar" sin análisis, y

señalaron la necesidad de una regulación institucional para evitar prácticas que comprometan la ética académica.

- Brechas en infraestructura y políticas institucionales: aunque muchos estudiantes tienen acceso a dispositivos móviles y herramientas digitales, persisten barreras para la implementación equitativa de la IA en la educación, principalmente debido a limitaciones en infraestructura, falta de políticas claras y capacitación docente.
- Rol fundamental de la orientación académica: el impacto positivo de la IA depende en gran medida del uso adecuado que los estudiantes hagan de estas tecnologías. Por ello, es crucial que las instituciones educativas ofrezcan lineamientos éticos y formativos claros, que promuevan una integración pedagógica responsable de la IA, evitando que se convierta en una herramienta de sustitución del esfuerzo intelectual.

### **Recomendación final**

La inteligencia artificial no debe verse como una amenaza, sino como una oportunidad para repensar los procesos educativos. Su uso responsable y ético, acompañado de políticas claras y formación continua, puede convertirse en un pilar fundamental para mejorar la calidad del aprendizaje en la educación superior.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Anderson, C. (2018). Personalized learning with artificial intelligence. *Educational Technology Journal*, 15(2), 45–56.
- Brown, J. (2019). Intelligent tutoring systems: A review. *Journal of Educational Technology*, 20(1), 30–42.
- Castillo, B., & Mena, R. (2021). Digital literacy and AI: Building skills for the future. *Journal of Digital Education*, 10(3), 88–99.
- Delgado, C., & Núñez, P. (2022). Ethical dilemmas in the use of AI in classrooms. *Ethics in Education*, 15(2), 40–52.
- Fernández, M. (2021). Real-time feedback in engineering education. *Engineering Education Review*, 12(3), 55–67.
- García, A., & López, R. (2022). Artificial intelligence in higher education: Trends and challenges. *University Journal*, 30(4), 78–89.
- Gómez, L. (2024). Adaptive learning platforms in engineering courses. *Journal of Learning Analytics*, 10(1), 22–34.
- Hernández, F. (2020). Data privacy in educational AI systems. *Data Security Review*, 18(2), 58–69.

- Khan, S., & Ali, M. (2021). Automated assessment systems: Benefits and limitations. *Assessment in Education*, 25(3), 88–101.
- López, J., & Gómez, E. (2022). Blending AI with traditional teaching methods. *Teaching and Learning Today*, 27(1), 12–24.
- Martínez, J. (2022). Feedback mechanisms in AI-enhanced learning. *Learning Science Journal*, 14(4), 92–105.
- Martínez, S., Díaz, P., & Fernández, R. (2023). Innovations in educational technology: A focus on AI. *Journal of Educational Innovations*, 16(2), 44–59.
- Morales, A. (2021). Regulating AI in education: Legal and ethical perspectives. *Educational Policy Review*, 23(2), 34–47.
- Pérez, J., Moreno, C., & Rodríguez, I. (2024). Evaluating AI tools in university education. *Higher Education Journal*, 22(1), 77–90.
- Ramos, L. (2020). Challenges in engineering education: Technological advancements. *Engineering Education Review*, 19(2), 67–79.
- Rodríguez, V. (2023). Training educators for the AI era. *Professional Development Journal*, 11(3), 33–45.
- Sánchez, M., & Pérez, T. (2022). Adaptive learning technologies: Current trends and future directions. *Technology and Education*, 31(4), 100–115.
- Smith, R. (2021). The future of AI in higher education. *Journal of Technological Education*, 17(1), 21–35.
- Torres, L., & Vargas, M. (2023). Student perceptions of AI tools in academic tasks. *Learning Perspectives*, 18(1), 63–76.
- Vázquez, A., & Ortega, M. (2023). Autonomous learning and AI: Implications for student achievement. *Journal of Educational Research*, 19(2), 58–72.



Revista Especializada de Ingeniería  
y Ciencias de la Tierra

VOL: 5 N° 1 Julio - Diciembre 2025  
ISSN L: 2805-1874

## Influencia del Tiempo y Condiciones de Almacenamiento en la Germinación de Semillas de *Allium cepa*

### Influence of Time and Storage Conditions on the Germination of *Allium cepa* seeds

Rubén Darío Collantes-González

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Estación Experimental de Cerro Punta, Panamá.

rdcg31@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6094-5458>

Javier Ernesto Pittí-Caballero

IDIAP, Estación Experimental de Cerro Punta – Chiriquí, Panamá.

pittjavier28@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0776-8795>

**Recibido: 9/2/2025 Aceptado: 10/6/2025**

DOI <https://doi.org/10.48204/reicit.v5n1.7676>

#### RESUMEN

Las semillas son uno de los insumos más importantes para la producción de cebolla (*Allium cepa* L.). Sin embargo, el tiempo y las condiciones de almacenamiento pueden afectar significativamente su calidad. El objetivo del estudio fue evaluar cómo estos factores influyen en la germinación de las semillas. Para llevar a cabo la investigación, se utilizó un diseño completo al azar (DCA), que incluyó seis cultivares comerciales de semillas (C1 – C6), almacenadas durante diferentes periodos (entre 3 y 10 años) en un refrigerador a una temperatura de  $5 \pm 2^\circ \text{C}$  y una humedad relativa del 30 al 50%. Se prepararon dos bandejas de almácigo por cultivar, cada una con capacidad para 280 plántulas. Después de un mes, se seleccionó al azar tres hileras de 20 plántulas por cultivar, para determinar el porcentaje de germinación por hilera, aplicando la transformación mediante la ecuación:  $y = \text{LN}(x+1)$ . Se realizó un análisis de varianza a un nivel de significación de 0,05, así como una regresión exponencial para evaluar la correlación entre el tiempo de almacenamiento de la semilla y la



germinación. Los resultados mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ( $F = 272,5616$ ;  $p = 6,412 \times 10^{-12}$ ). El primer grupo conformado por los cultivares con 3,25 hasta 4,75 años de almacenamiento y un porcentaje de germinación promedio adecuado (C1 = 95%; C2 = 91,67%; C3 = 91,67%; C4 = 86,67%). En contraste, el segundo grupo, que incluyó cultivares almacenados durante 4,5 años hasta 10 años, mostró una germinación deficiente (C5 = 31,67%; C6 = 11,67%). El análisis de regresión exponencial reveló una relación inversa entre la germinación y el tiempo de almacenamiento, con una correlación considerable ( $R^2 = 0,7556$ ). En conclusión, el almacenamiento de semillas de cebolla en condiciones adecuadas no debería exceder los 4 años desde la fecha de empaque.

**PALABRAS CLAVE:** Calidad, cebolla, cultivares, insumos, producción.

### **ABSTRACT**

Seeds are one of the most important inputs for onion (*Allium cepa* L.) production. However, storage time and conditions can significantly affect their quality. The aim of this study was to evaluate how these factors influence seed germination. A completely randomized design (CRD) was used for the study, including six commercial seed cultivars (C1 – C6) stored for different periods (between 3 and 10 years) in a refrigerator at a temperature of  $5 + 2^\circ \text{C}$  and a relative humidity of 30 to 50%. Two seedling trays were prepared per cultivar, each with a capacity of 280 seedlings. After one month, three rows of 20 seedlings per cultivar were randomly selected to determine the germination percentage per row, applying the transformation using the equation:  $y = \text{LN}(x+1)$ . An analysis of variance was performed at a significance level of 0.05, as well as exponential regression to evaluate the correlation between seed storage time and germination. The results showed significant differences between the treatments evaluated ( $F = 272.5616$ ;  $p = 6.412 \times 10^{-12}$ ). The first group consisted of cultivars with 3.25 to 4.75 years of storage and an adequate average germination percentage (C1 = 95%; C2 = 91.67%; C3 = 91.67%; C4 = 86.67%). In contrast, the second group, which included cultivars stored for 4.5 to 10 years, showed poor germination (C5 = 31.67%; C6 = 11.67%). Exponential regression analysis revealed an inverse relationship between germination and storage time, with a considerable correlation ( $R^2 = 0.7556$ ). In conclusion, storage of onion seeds under adequate conditions should not exceed 4 years from the date of packaging.

**KEYWORDS:** Cultivars, inputs, onion, production, quality.



## INTRODUCCIÓN

La cebolla (*Allium cepa* L.), es una hortaliza de importancia estratégica cultivada en diversas partes del mundo, siendo ocupada principalmente como condimento para mejorar el sabor de las comidas (Tadesse et al., 2025). Contar con semillas de calidad es determinante para la producción de este rubro, siendo en buena cuenta la fertilización y el cultivar seleccionado los factores que mayormente pueden influenciar (Hasanuzzaman et al., 2024).

Dada la importancia de la cebolla para la seguridad alimentaria, así como su impacto socioeconómico en Panamá, el cultivo se desarrolla en época seca y lluviosa en Tierras Altas, provincia de Chiriquí; la principal zona productora de este rubro en el país y con la cual se tienen más de 60 años de historia como cultivo (IDIAP, 2022).

Al respecto, se ha investigado sobre fertirriego en diferentes ambientes (Rellán et al., 2024), siembra mecanizada (IDIAP, 2021), cobertura plástica para manejo de malezas (Pittí et al., 2024), uso del bulbito para producción comercial (Lezcano et al., 2024), biopolímeros para la liberación controlada de nematodos entomopatógenos para el control de plagas insectiles (Pittí et al., 2025), evaluación de fertilizantes orgánicos alternativos (Caballero et al., 2023), prototipo de clasificador manual por calibres (Collantes y Caballero, 2024), entre otras; sin embargo, persisten desafíos para una producción sostenible, como el manejo fitosanitario, cambio climático y cultivares recomendados para estas condiciones (Collantes, 2025).

### Figura 1.

*Agrotecnologías para el cultivo de cebolla: A) Fertirriego por goteo en casa de vegetación; B) Siembra mecanizada; C) Acolchado para manejo de malezas; D) *Oscheius carolinensis* en micocápsulas de alginato; E) Clasificador manual por calibre de cebolla.*



*Fotos: R. Collantes (A-C), Pittí et al. (2025), M. Jerkovic (E)*



Por otro lado, el precio de semilla de cultivares mejorados de cebolla de calidad está entre poco menos de USD 100,00 y USD 300,00 por libra (100 mil semillas, aproximadamente); además, el tiempo y las condiciones de almacenamiento pueden afectar la germinación de las mismas. Al adquirirse las semillas, en muchos casos se tienen sin refrigeración con los envases abiertos (permeables); por lo que no se recomienda bajo estas condiciones almacenar este insumo por más de 2 años (Gaviola et al., 2006). Por lo expuesto, el objetivo del presente estudio fue evaluar cómo estos factores influyen en la germinación de las semillas de cebolla.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación fue de naturaleza experimental, siendo el sitio de estudio la localidad de Cerro Punta, Tierras Altas, Chiriquí (8°51'14,50" N 82°34'16,31" O, 1952 msnm). Se empleó un diseño completo al azar (DCA), con seis cultivares comerciales de semillas, almacenadas durante diferentes periodos (entre 3 y 10 años) en un refrigerador comercial a una temperatura de  $5 + 2^{\circ}$  C y una humedad relativa del 30 al 50%, a fin de disminuir el deterioro de las semillas ante las condiciones ambientales de Cerro Punta (temperatura promedio de  $19^{\circ}$  C y humedad relativa promedio superior al 80%).

Se prepararon dos bandejas de almácigo por cultivar, cada una con capacidad para 280 plántulas, en las cuales se utilizó sustrato basado en turba. Las mismas fueron depositadas en el interior de una casa de vegetación con malla de tul para prevenir el ingreso de plagas. Si bien el tiempo requerido por las semillas de cebolla para germinar es de 10 a 15 días a  $20^{\circ}$  C (Eurogarden, 2021), se esperó un mes, a fin de garantizar un mayor número de plántulas.

A los 15 días, se realizó una aplicación de fertilizante foliar (20-20-20) y a los 21 días otra de fungicida clorotalonil (ambos, a la dosis recomendada por el fabricante), para garantizar el desarrollo adecuado de las plántulas. Posteriormente, se seleccionaron al azar tres hileras de 20 plántulas (alveolos) por cultivar, para determinar el porcentaje de germinación por hilera, calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Germinación} = \left( \frac{\text{No. plantas emergidas}}{\text{No. total de alveolos}} \right) \times 100$$

Seguidamente, se aplicó la transformación logarítmica de los datos mediante la ecuación:

$$y = LN \left( \frac{\% \text{ Germinación}}{100} + 1 \right)$$



Mediante la aplicación en línea ofrecida por Statistics Kingdom (s. f.), se realizó un análisis de varianza (ANOVA), a un nivel de significación de 0,05; así como una prueba de Tukey para conformar grupos según la germinación alcanzada. Adicionalmente, con el programa Excel (Microsoft Corporation, 2016), se realizó una regresión exponencial para evaluar la correlación entre el tiempo de almacenamiento de la semilla en refrigerador y la germinación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados, existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ( $F = 272,5616$ ;  $p = 6,412 \times 10^{-12}$ ) (Cuadro 1). Mediante la prueba de Tukey, se conformaron dos grupos, el primer con los cultivares de 3,25 hasta 4,75 años de almacenamiento y un porcentaje de germinación promedio adecuado; el segundo incluyó cultivares almacenados durante 4,5 años hasta 10 años y tuvo una germinación deficiente (Figura 2, Tabla 2).

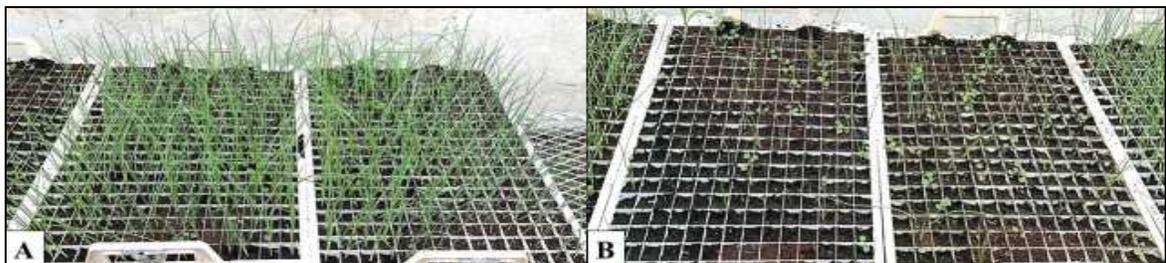
**Tabla 1.**

*ANOVA de germinación de semilla de cebolla, mediante la aplicación Statistics Kingdom.*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Estadístico F	P-valor
Cultivar	5	0,8736	0,1747	272,5616	$6,412 \times 10^{-12}$
Error	12	0,007693	0,0006411		
<b>Total</b>	17	0,8813	0,05184		

**Figura 2.**

*Germinación de cebolla en almácigo: A) C1 con 95%; B) C6 con 11,67%.*



*Fotos: R. Collantes*



**Tabla 2.**

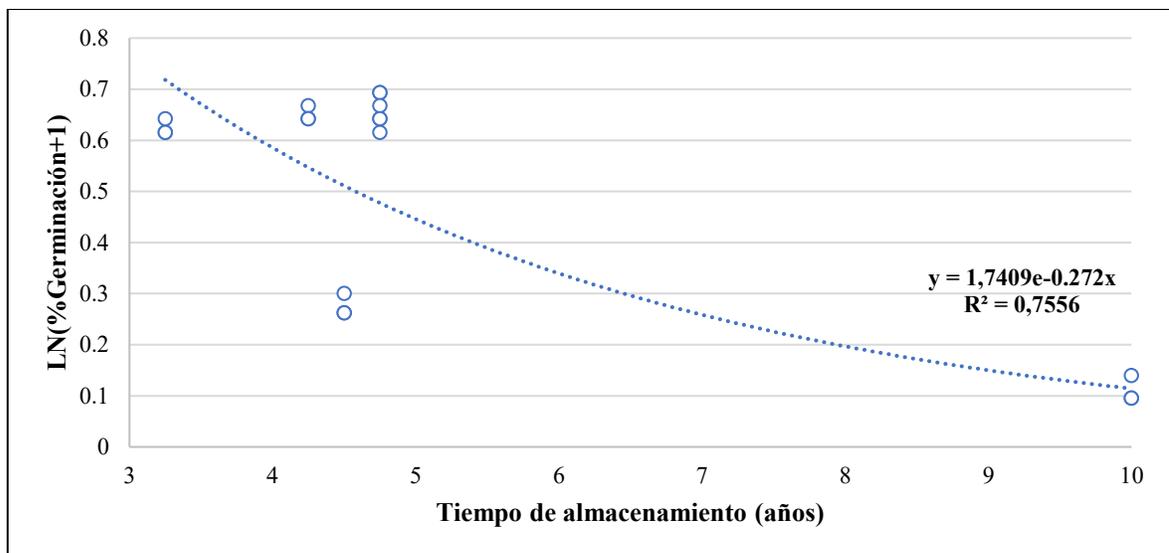
*Prueba Tukey de germinación de semilla de cebolla por cultivar (grupo)*

Cultivar	Tiempo de almacenamiento (años) a $5 \pm 2^\circ \text{C}$ y 30 – 50% HR	Germinación (%)
C1	4,75	95 (A)
C2	4,75	91,67 (A)
C3	4,25	91,67 (A)
C4	3,25	86,67 (A)
C5	4,5	31,67 (B)
C6	10	11,67 (B)

El análisis de regresión exponencial, utilizado con frecuencia para medir el comportamiento de algunas variables biológicas (Faster Capital, 2024), reveló una relación inversa entre la germinación y el tiempo de almacenamiento en refrigeración, con una correlación considerable ( $R^2 = 0,7556$ ) (Figura 3).

**Figura 3.**

*Regresión exponencial entre germinación de semilla de cebolla y tiempo de almacenamiento.*





Si bien las semillas de cebolla pueden almacenarse hasta por un máximo de dos años en condiciones ambientales y con recipientes permeables (Gaviola et al. ,2006), hay que recordar que la semilla de buena calidad debe preservarse con baja humedad y en ambiente fresco, siendo la nevera una alternativa recomendable. Este insumo estratégico contribuye con la sostenibilidad de la actividad agrícola, al mejorar la producción en términos de calidad y rentabilidad, por lo que se debe continuar investigando sobre la estimulación, germinación y conservación apropiada de semillas, frente a desafíos venideros (Doria, 2010).

Los resultados obtenidos del estudio reafirman la necesidad de invertir en semillas de calidad (Hasanuzzaman et al., 2024), dado que, el C5 correspondió a un cultivar comercializado actualmente en Panamá a un precio que no supera los USD 50,00 por libra; frente a los casi USD 300,00 que cuesta la libra de cultivares superiores que, con un periodo de almacenamiento similar, alcanzaron más del 85% de germinación.

A la luz de lo observado durante la investigación, lo recomendable sería mantener las semillas de cultivares superiores en un refrigerador comercial por un periodo máximo de 3 años (J. Guerra, comunicación personal, 16 de abril de 2025); dado que, las colecciones activas de los bancos de germoplasma se mantienen entre 5 y 10° C, con una humedad relativa de  $15 \pm 3\%$ , siendo recomendable su revisión cada 5 años (FAO, 2014).

Otros aspectos a considerar para futuros estudios es el uso de tecnologías disponibles, como envases herméticos (atmósfera modificada) (Kumar et al., 2020), control de los niveles de oxígeno (atmósfera modificada) y criopreservación (R. Gordón, comunicación personal, 16 de abril de 2025); así como la utilización de desecantes alternativos (Pandey, 1994).

## **CONCLUSIONES**

Del presente trabajo se concluye que, factores como el tiempo y las condiciones de almacenamiento afectan considerablemente en la capacidad de germinar de las semillas de cebolla. Sin embargo, la evidencia científica consultada demuestra que la calidad del material genético es también fundamental para garantizar una productividad apropiada.

Se recomienda que las semillas de cebolla no se almacenen en refrigeración por más de tres años desde la fecha de empaque. Este trabajo representa una aproximación preliminar sobre



la materia, por lo que se esperan futuras investigaciones para optimizar la conservación de semillas de este y otros rubros estratégicos para el desarrollo sostenible del país.

### **AGRADECIMIENTOS**

Al Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), por respaldar el proyecto de Investigación e Innovación en el Manejo del Cultivo de Cebolla en Tierras Altas, Chiriquí. A la Doctoranda Ruth Del Cid (IDIAP), por las recomendaciones dadas al presente documento. Al Doctor Román Gordón Medonza y al Ingeniero José Ángel Guerra (IDIAP), por atender las consultas realizadas durante el estudio. A los colaboradores de la Estación Experimental del IDIAP en Cerro Punta, en especial a Rodolfo Castillo, Maximino Famanía y al Licenciado Michael Mora. A Maricsa Jerkovic, MBA (Fundación Hrvatska), por el apoyo logístico.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Caballero, M., Collantes, R. y Castro, K. (2023). Fertilizantes orgánicos alternativos para el cultivo de cebolla en Tierras Altas, Chiriquí, Panamá. *Peruvian Agricultural Research*, 5(1), 43-48. <http://dx.doi.org/10.51431/par.v1i1.816>
- Collantes, R. (2025). Diagnóstico rural participativo del cultivo de cebolla en Tierras Altas, Chiriquí. *Vinculación, Universidad y Sociedad*, 1(2), 38-57. <https://doi.org/10.48204/3072-9629.6956>
- Collantes, R. y Caballero, M. (2025). Diseño del Proceso de un Prototipo Clasificador Manual por Calibre para Cosecha de Cebolla. *REICIT*, 4(1), 124-133. <http://dx.doi.org/10.48204/reict.v4n1.5385>
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 74-85. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362010000100011#:~:text=La%20semilla%20se%20debe%20conservar, caso%20contrario%20se%20puede%20malograr.](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000100011#:~:text=La%20semilla%20se%20debe%20conservar, caso%20contrario%20se%20puede%20malograr.)
- Eurogarden. (2021). *Cultivando cebollas desde la semilla. ¡Llorarás de la emoción!* <https://www.eurogardenseeds.com/cultivando-cebollas-desde-la-semilla-llorar-as-de-la-emocion/#:~:text=Las%20semillas%20germinar%3%A1n%20a%20los,unos%20%20cent%3%ADmetros%20de%20profundidad.>



- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2014). *Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. Edición revisada. Roma.  
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/82beb317-a4a4-427b-88ee-d13b363827ea/content>
- Faster Capital. (2024). *Regresión exponencial: cómo utilizar la regresión exponencial para la previsión de inversiones*. <https://fastercapital.com/es/contenido/Regresion-exponencial--como-utilizar-la-regresion-exponencial-para-la-prevision-de-inversiones.html>
- Hasanuzzaman, S. M., Islam, M. K., Alim, M. A. y Hasan, M. S. (2024). Response to Fertilizers and Varieties on Growth, Yield and Quality of Onion Seed Production. *Food And Agri Economics Review*, 4(2), 56-62. <http://dx.doi.org/10.26480/faer.01.2024.56.62>
- IDIAP (Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá). (2021). *Memoria Anual 2020*. <http://www.idiap.gob.pa/download/memoria-anual-2020/?wpdmdl=5287>
- IDIAP (Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá). (2022). *Tecnologías en el manejo del cultivo de Cebolla en Tierras Altas, Chiriquí*. Historias de Impacto. [https://proyectos.idiap.gob.pa/webstories/investigacioneinnovacionenelmanejobelcultivodecebollaentierrasaltaschiriqui#:~:text=Tierras%20Altas%20es%20la%20principal,Lindsay%20y%20Weinberg%2C%202019\).](https://proyectos.idiap.gob.pa/webstories/investigacioneinnovacionenelmanejobelcultivodecebollaentierrasaltaschiriqui#:~:text=Tierras%20Altas%20es%20la%20principal,Lindsay%20y%20Weinberg%2C%202019).)
- Kumar, A., Khandai, S., Singh, M., Singh, A., Panwar, G. S., Kumar, A., Singh, S. y Kumar, V. (2020). Hermetic sealed storage IRRI super bag: Reduces post-harvest losses in seed grains. *International Journal of Chemical Studies*, 8(4), 403-406. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i4g.10170>
- Lezcano B., J. A., Gordón M., R. y Collantes, R. (2024). *Producción de cebolla a través de la técnica de bulbitos*. [Póster, 6° Congreso Científico IDIAP]. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.36324.59527>
- Microsoft Corporation. (2016). *Microsoft Excel*. <https://office.microsoft.com/excel>
- Pandey, D. (1994). Improved longevity of onion (*Allium cepa* L.) seeds by immersing in hexylene glycol. *Scientia Horticulturae*, 59(3-4), 297-302. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)90023-X](http://dx.doi.org/10.1016/0304-4238(94)90023-X)
- Pittí, J., Collantes, R., Antunes, D., Samaniego, J., Santamaría, Y., Muñoz, J. y Grillo, R. (2025). Sustainable biopolymer-based spheres for controlled release of nematodes: From development to their effects under seasonal climate variations. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 9, 100701. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100701>



Pittí, J., Collantes, R., Mora, M. y Muñoz, J. (2024). *Alternativas eficientes para el manejo de malezas de cebolla en Tierras Altas*. [Póster, 6° Congreso Científico IDIAP]. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.12836.49283>

Rellán, A., Collantes, R., Vinda, L. y Lezcano I., J. D. (2024). *Evaluación de dos variedades de cebolla aplicando dos niveles de fertirriego en diferentes condiciones*. [Póster, 6° Congreso Científico IDIAP]. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.31710.86082>

Statistics Kingdom. (s. f.). *ANOVA Calculator*. <https://www.statskingdom.com/180Anova1way.html>

Tadesse, E. M., Yirdaw, T. W., Hiwote, E., Mebrate, A. y Mulatu, A. (2025) Red Onion Seed Quality Classification Using Transfer Learning Approaches. *International Journal of Current Research in Science, Engineering & Technology*, 8(1), 197-202. <https://doi.org/10.30967/IJCRSET/Ermias-Melku-Tadesse/165>



Revista Especializada de Ingeniería  
y Ciencias de la Tierra

VOL: 5 N° 1 Julio - Diciembre 2025  
ISSN L: 2805-1874

---

## Fallas Eléctricas y Desabastecimiento de Agua en Panamá: Análisis y Propuestas de Solución, 2025

### Power Outages and Water Shortages in Panama: Analysis and Proposed Solutions, 2025

Gabriel Jesús Montúfar Chiriboga  
Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá  
gabriel.montufar@up.ac.pa  
<https://orcid.org/0000-0003-3392-3728>

Recibido: 9/2/2025 Aceptado: 10/6/2025

DOI <https://doi.org/10.48204/reicit.v5n1.7678>

#### RESUMEN

Las fallas eléctricas recurrentes en Panamá han generado interrupciones significativas en el suministro de agua potable, especialmente en áreas urbanas como San Miguelito. Este estudio se realizó para evaluar la interdependencia entre los sistemas eléctricos y de suministro de agua en Panamá, y proponer soluciones para mitigar el impacto de las fallas eléctricas en la distribución de agua. Se combinó una revisión sistemática de la literatura con el desarrollo de matrices de análisis y un análisis de sensibilidad, evaluando la efectividad de diferentes intervenciones como la mejora de la infraestructura de respaldo y la diversificación de fuentes de energía. Se encontró que la instalación de generadores de emergencia puede reducir significativamente el impacto de las fallas eléctricas, mientras que la diversificación energética ofrece una solución a largo plazo. Las intervenciones propuestas mejoran la resiliencia del suministro de agua, pero su implementación enfrenta desafíos financieros y regulatorios.

**Palabras clave:** fallas eléctricas, suministro de agua, resiliencia, infraestructura crítica, diversificación energética



## ABSTRACT

Recurrent power outages in Panama have caused significant disruptions in the supply of drinking water, especially in urban areas such as San Miguelito. This study was conducted to assess the interdependence between electrical and water supply systems in Panama, and to propose solutions to mitigate the impact of power outages on water distribution. A systematic literature review was combined with the development of analysis matrices and a sensitivity analysis, evaluating the effectiveness of different interventions such as improving backup infrastructure and diversifying energy sources. It was found that the installation of emergency generators can significantly reduce the impact of power outages, while energy diversification offers a long-term solution. The proposed interventions improve the resilience of the water supply, but their implementation faces financial and regulatory challenges.

**Keywords:** *power outages, water supply, resilience, critical infrastructure, energy diversification*

## INTRODUCCIÓN

Las interrupciones eléctricas comprometen la operación de las plantas de tratamiento y, por ende, la distribución de agua potable en áreas urbanas (Rodríguez-García, Hosseini, Mosier & Parvania, 2022). En particular, las frecuentes fallas en la potabilizadora de Chilibre que abastece a Panamá y San Miguelito han dejado a miles de residentes sin servicio prolongadamente (Redacción Destino Panamá, 2024). Investigaciones recientes demuestran que estas interrupciones desencadenan cascadas de fallas en los sistemas eléctricos y de agua, afectando la resiliencia de infraestructuras críticas y la calidad de vida (Emmanuel & Clayton, 2019; Stock et al., 2021). Estudios en otras regiones destacan la necesidad de contar con sistemas de respaldo eficientes y de una gestión proactiva de recursos (Erickson, Quintero & Nelson, 2020; Erickson, Smith, Goodridge & Nelson, 2017; Malla, Poudel, Karki & Gyawali, 2017), pero señalan la carencia de soluciones adaptadas a las condiciones geográficas y socioeconómicas de Panamá (Calderón de León, 2024; González Azúa, 2023). Este trabajo cierra esa brecha generando conocimiento aplicado a las particularidades de Panamá y San Miguelito, y propone herramientas prácticas para reforzar la resiliencia de infraestructuras críticas mediante estrategias coordinadas de recuperación de sistemas interdependientes (Rodríguez-García et al., 2022; Tan, 2018).

## METODOLOGÍA

Se establecieron criterios rigurosos para la selección de estudios: inclusión de trabajos de los últimos diez años en contextos urbanos análogos a Panamá (González-Valoys et al., 2021; Tavarov Saidjon Sh et al.,



2023) y exclusión de aquellos con datos obsoletos o aplicables a realidades muy distintas (Calderón de León, 2024; Lelek-Borkowska, Gruszka & Banaś, 2023; Espejo Jiménez, 2019). La búsqueda incorporó términos clave sobre fallas eléctricas, suministro de agua y resiliencia de infraestructuras (Erickson et al., 2017; Madrigal Solís et al., 2019; Vega Cervera, 2018). Los estudios seleccionados fueron sintetizados para identificar tendencias, vacíos y lecciones aprendidas (Madrigal Solís et al., 2019; Rodríguez-García et al., 2022; Ramírez, Tzachkov & Hansen, 2017).

De la revisión se definieron variables críticas para la resiliencia: frecuencia de interrupciones eléctricas, capacidad de respuesta de emergencia e infraestructuras de respaldo (Rodríguez-García et al., 2022; Bach & Gareis, 2017; Yanes & Jiménez Borges, 2018). Se construyeron tres matrices:

Matriz de Riesgo, que cruzó probabilidad e impacto sobre el suministro en San Miguelito (Erickson et al., 2017; Erickson et al., 2020). Matriz de Soluciones, evaluando efectividad, costos y viabilidad local (Rodríguez-García et al., 2022; Joshi & Mohagheghi, 2022; Shibuya & Bradshaw, 2018). Matriz de Decisión, integrando ambos resultados para proponer políticas e intervenciones prioritarias (Konovalov et al., 2024; Kalavathidevi et al., 2023).

Un análisis de sensibilidad exploró cómo variaciones en las variables clave afectan los resultados, lo que permitió señalar los puntos más vulnerables y las medidas críticas para reforzar la resiliencia del sistema ante fallas eléctricas (Rodríguez-García, Panteli & Parvania, 2024; Yang et al., 2024).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **1. Resultados de la revisión sistemática**

La revisión sistemática realizada en este estudio permitió identificar y analizar la literatura existente sobre la interdependencia entre los sistemas eléctricos y de suministro de agua, con un enfoque particular en cómo las fallas eléctricas afectan la distribución de agua en áreas urbanas (Shojaeiyan, Dehghani, & Siano, 2023; Rodríguez-García et al., 2022; Stock et al., 2021). A través de la aplicación de criterios de inclusión y exclusión rigurosos, se seleccionaron estudios que proporcionan una visión integral de los factores de riesgo, las soluciones implementadas en otros contextos, y las lecciones aprendidas que podrían aplicarse en el caso de Panamá y San Miguelito (Erickson et al., 2017; Andresen et al., 2023). A continuación, se presentan los principales hallazgos derivados de esta revisión, los cuales forman la base para el desarrollo de las matrices de análisis y la formulación de recomendaciones prácticas (Li, 2023).

#### **1.1 Identificación de factores de riesgo**

Frecuencia de fallas eléctricas: Estudios como el de Rodríguez-García et al. (2022) señalaron que la frecuencia de las fallas eléctricas es un determinante crítico para la continuidad del suministro de agua.



Capacidad de respuesta de emergencia: La capacidad de las autoridades locales para responder rápidamente a las fallas eléctricas y restaurar el suministro de agua es un factor crucial. Sin embargo, se identificó una brecha significativa en la rapidez y efectividad de estas respuestas en Panamá, lo que aumenta la vulnerabilidad del sistema (Crítica, 2023; (Taveras-Cruz et al., 2024; Reddicharla et al., 2023). Infraestructura de respaldo: Este aspecto es particularmente relevante para San Miguelito, donde la infraestructura actual no está preparada para manejar fallas prolongadas en el suministro eléctrico (Telemetro, 2023).

### 1.2 Evaluación de la calidad de los estudios: Escala Downs y Black

Se priorizaron los estudios mejor calificados (Zakharychev, Tenenev & Vologdin, 2023) por su claridad metodológica, control de confusores y poder estadístico (Erickson et al., 2017; Bach & Gareis, 2017), y por las robustas recomendaciones que ofrecieron (Madrigal Solís et al., 2019; Da Silveira & Mata-Lima, 2021; Binte Jamal & Hasan, 2023). Aunque la mayoría describió adecuadamente objetivos y métodos, algunos estudios perdieron puntos por falta de aleatorización o cegamiento (Lee et al., 2020; Bondank et al., 2022), deficiencias en el tratamiento de confusores (Espejo Jiménez, 2019) y problemáticas de generalización (Hernando & de los, 2017). Pese a que varios trabajos tuvieron muestras reducidas, aquellos con poder estadístico suficiente obtuvieron las puntuaciones más altas (Erickson et al., 2020; Maziotis et al., 2020). La Tabla 1 muestra esta evaluación según la escala Downs & Black.

**Tabla 1.**

*Evaluación de calidad para el documento: Caracterizando la variabilidad del suministro y los desafíos operacionales en una red de distribución de agua intermitente*

<b>Criterio</b>	<b>Puntuación</b>	<b>Comentarios</b>
Informe (0-10)	9	El documento está bien estructurado y ofrece un análisis detallado de la variabilidad del suministro y los desafíos operacionales en redes de distribución de agua intermitente.
Validez Interna - Sesgo (0-7)	6	El estudio maneja adecuadamente los sesgos potenciales, con un control riguroso de los datos y un enfoque meticuloso en la recopilación de información.



Validez Interna - Confusión (0-6)	5	Los factores de confusión son bien identificados y ajustados, lo que aumenta la validez del análisis realizado sobre las redes de distribución.
Validez Externa (0-3)	2	Aunque el estudio se centra en un contexto específico (Arraján, Panamá), las conclusiones pueden aplicarse a otros sistemas de distribución intermitentes en países en desarrollo.
Poder Estadístico (0-5)	4	El análisis estadístico es sólido, respaldado por un tamaño de muestra adecuado y un monitoreo continuo, lo que refuerza la confiabilidad de los resultados.
Puntuación Total (0-32)	26	

*Nota:* La Tabla 1 califica la solidez metodológica del estudio con 26 de 32 puntos, destacando su informe claro (9/10), un control riguroso de sesgos (6/7) y confusores (5/6), y un poder estadístico adecuado (4/5), aunque su validez externa es algo limitada al caso de Arraján, Panamá (2/3).

## 2. Desarrollo de matrices de análisis

Estas matrices fueron diseñadas con el objetivo de proporcionar herramientas prácticas y aplicables que puedan guiar a los tomadores de decisiones en la implementación de estrategias efectivas (Souto, Parisio, & Taylor, 2024).

### 2.1 Matriz de riesgo

La frecuencia de fallas eléctricas, evidenciada en interrupciones a la planta potabilizadora Federico Guardia Conte en Chilibre (Redacción Destino Panamá, 2024; Crítica, 2023; La Estrella de Panamá, 2023) y otros cortes que afectaron a Ciudad de Panamá y San Miguelito (Panamá América, 2020; Telemetro, 2023), constituye un riesgo de alta probabilidad y severo impacto. De igual modo, la paralización de 25 plantas en diciembre de 2023 por fallas del Sistema Interconectado Nacional (Vega Cervera, 2018) revela la carencia de respaldo adecuado y subraya la urgencia de instalar generadores de emergencia para garantizar la continuidad del suministro. La Tabla 2 sintetiza estos factores críticos.

**Tabla 2.**



*Factores críticos en la continuidad del suministro de agua ante fallas eléctricas en Panamá*

<b>Factor de riesgo</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>	<b>Impacto en suministro de agua</b>	<b>Clasificación de riesgo</b>
Frecuencia de fallas eléctricas	Alta	Alto	Crítico
Infraestructura de respaldo	Media	Alto	Alto
Capacidad de respuesta	Media	Medio	Moderado

Nota: La Tabla 2 clasifica la “Frecuencia de fallas eléctricas” como riesgo crítico, la “Infraestructura de respaldo” como riesgo alto y la “Capacidad de respuesta” como riesgo moderado, de acuerdo con su probabilidad de ocurrencia e impacto en el suministro de agua ante cortes eléctricos.

### 2.2 Matriz de soluciones

La instalación de generadores de respaldo sobresalió por su alta efectividad y viabilidad con un costo moderado (Joshi & Mohagheghi, 2022), mientras que protocolos de emergencia más eficientes y la formación del personal reforzaron la resiliencia del sistema (Mojica, 2024; Peter et al., 2023; Sharifpour, Ameli, Ameli & Strbac, 2023). La Tabla 3 presenta esta evaluación comparativa.

**Tabla 3.**

*Evaluación de estrategias para mitigar el impacto de las fallas eléctricas en el suministro de agua*

<b>Solución</b>	<b>Efectividad</b>	<b>Viabilidad</b>	<b>Clasificación</b>
Generadores de respaldo	Alta	Alta	Alta
Mejora de la capacidad de respuesta	Media	Alta	Media
Diversificación de fuentes de energía	Alta	Media	Alta

Nota: La Tabla 3 ofrece un análisis comparativo de tres estrategias para mitigar el impacto de las fallas eléctricas en el suministro de agua, evaluándolas según su efectividad, costo, viabilidad y una clasificación final que integra estos tres criterios.

### 2.3 Matriz de decisión

La Matriz de Decisión integra los resultados de las matrices de riesgo y soluciones para ofrecer recomendaciones concretas. La tabla 4 ofrece recomendaciones concretas basadas en los riesgos identificados y las soluciones evaluadas, con el objetivo de mejorar la resiliencia del sistema hídrico ante fallas eléctricas.



**Tabla 4.**

*Recomendaciones de intervenciones para fortalecer la resiliencia del suministro de agua*

<b>Escenario</b>	<b>Intervención recomendada</b>	<b>Justificación</b>
Fallas frecuentes en planta de Chilibre	Instalación de generadores de respaldo	Mitiga el riesgo crítico de interrupción en el suministro de agua.
Vulnerabilidad en la capacidad de respuesta	Formación y equipamiento de personal	Mejora la rapidez y efectividad de las respuestas de emergencia.

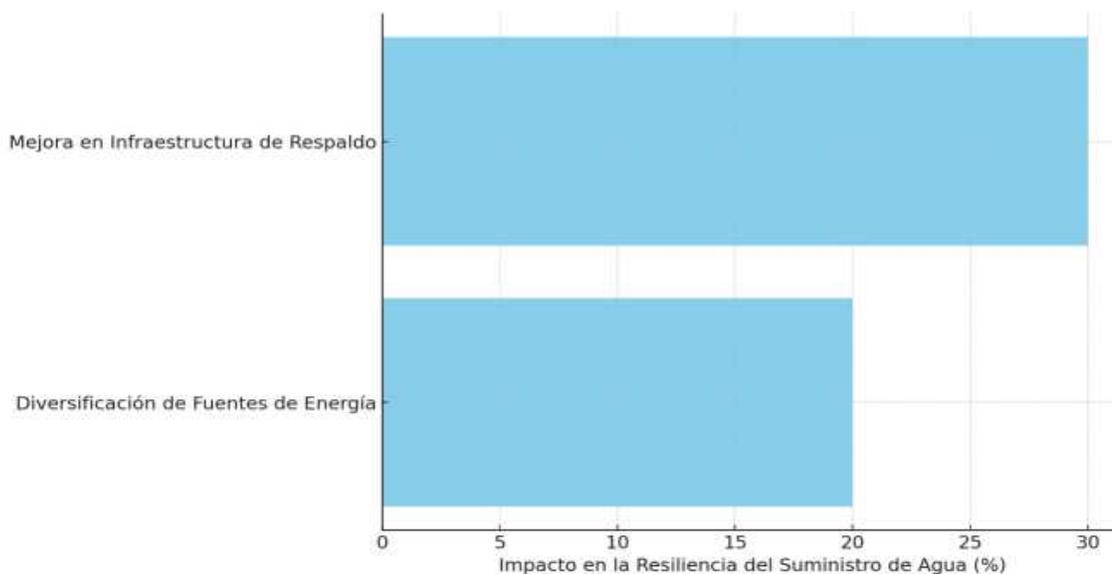
*Nota:* La Tabla 4 traduce esos hallazgos en recomendaciones prácticas según dos escenarios críticos: en el caso de “Fallas frecuentes en la planta de Chilibre”, se prioriza la “Instalación de generadores de respaldo” para mitigar la interrupción crítica del servicio; y ante la “Vulnerabilidad en la capacidad de respuesta”, se recomienda la “Formación y equipamiento de personal” para agilizar y hacer más efectiva la restauración del suministro tras un corte eléctrico.

### 3. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad evaluó cómo los cambios en las variables clave podrían afectar los resultados de las matrices. La figura 1 muestra cómo las dos variables clave (mejora en la infraestructura de respaldo e instalación de generadores más potentes) y la diversificación de fuentes de energía afectan el resultado principal, que es la resiliencia del suministro de agua y la reducción del impacto de las fallas eléctricas.

**Figura 1.**

*Efecto De Las Variaciones En Variables Clave*





*Nota:* La Figura 1 muestra cómo, en el escenario de fallas eléctricas en la planta potabilizadora de Chilibre, la mejora de la infraestructura de respaldo mediante la instalación de generadores de emergencia de mayor capacidad y el refuerzo de sistemas auxiliares incrementa la resiliencia del suministro de agua en un 30 %, mientras que la diversificación de fuentes de energía incorporando tecnologías solares, eólica y biogás aporta un 20 % adicional a la continuidad y robustez del servicio.

## **Discusión de los resultados**

Los resultados de este estudio subrayan la importancia de abordar de manera integrada los desafíos que representan las fallas eléctricas para el suministro de agua en áreas urbanas de Panamá. La combinación de la revisión sistemática y el desarrollo de matrices de análisis ha permitido identificar soluciones viables y adaptadas al contexto local. Los incidentes recientes en Panamá, como las fallas eléctricas que afectaron la planta de Chilibre y otras potabilizadoras, ilustran claramente la vulnerabilidad actual del sistema y la urgencia de implementar las soluciones propuestas.

## **CONCLUSIONES**

Este estudio aborda un problema cotidiano de miles de ciudadanos y ofrece herramientas prácticas para la gestión de infraestructuras críticas (Rodríguez-García et al., 2022; Zuloaga, Khatavkar, Mays & Vittal, 2019). Entre sus ventajas destacan la instalación de generadores de emergencia, efectiva según el análisis de sensibilidad (Tan, 2018), y la diversificación de fuentes de energía para reducir la dependencia del sistema central (Bondank et al., 2022). No obstante, estas mejoras requieren inversiones sustanciales, planificación coordinada y un marco regulatorio sólido, lo cual supone un reto en entornos de recursos limitados (Calderón de León, 2024; Ferrante, Rogers, Mugabi & Casinini, 2022).

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- Andresen, A., Kurtz, L. C., Hondula, D., Meerow, S., & Gall, M. (2023). Comprendiendo los impactos sociales de los cortes de energía en América del Norte: Una revisión sistemática. *Environmental Research Letters*, 18. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acc7b9>
- Bach, F., & Gareis, J. (2017). Incorporación de presostatos solares al sistema de telemetría del servicio de agua potable de Crespo. *Civil & Environmental Engineering eJournal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3112998>
- Binte Jamal, T., & Hasan, S. (2023). Un modelo generalizado de tiempo de falla acelerado para predecir el tiempo de restauración tras apagones eléctricos. *Natural Hazards Review*, 5(29–3). <https://doi.org/10.1007/s13753-023-00529-3>



- Bondank, E. N., Chester, M., Michne, A., Ahmad, N., Ruddell, B., & Johnson, N. (2022). Anticipando interrupciones del servicio de distribución de agua debido al aumento de temperaturas. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 2. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ac8ba3>
- Calderón de León, E. A. (2024). Análisis, gestión y modelación de pérdidas de agua en la ciudad de Panamá. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/207016/Calderon%20-%20Analisis%20gestion%20y%20modelacion%20de%20perdidas%20de%20agua%20en%20la%20ciudad%20de%20Panama.pdf?sequence=2>
- Ceballos Freire, A. J. (2020). Evaluación de eficiencia del sistema domiciliario para abastecimiento de agua segura, corregimiento San Fernando, Nariño. *Revista UIS Ingenierías*, 11(2), 95–115. <https://doi.org/10.22490/21456453.2985>
- Crítica. (2023, diciembre 24). Falla eléctrica afectó unas 25 potabilizadoras en todo el país. *Crítica*. <https://www.critica.com.pa/nacional/falla-electrica-afecto-unas-25-potabilizadoras-en-todo-el-pais-662916>
- Da Silveira, A. P. P., & Mata-Lima, H. (2021). Evaluación de la eficiencia energética en empresas de servicios de agua utilizando análisis de datos a largo plazo. *Water Resources Management*, 35, 2763–2773. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02866-8>
- Emmanuel, K., & Clayton, A. (2019). Calidad del agua y vínculos de la energía alternativa en las Américas. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/profile/Diego-Chalarca-Rodriguez/publication/335686525\\_Calidad-del-agua-en-Colombia/links/5d74ff734585151ee4a69aeb/Calidad-del-agua-en-Colombia.pdf#page=158](https://www.researchgate.net/profile/Diego-Chalarca-Rodriguez/publication/335686525_Calidad-del-agua-en-Colombia/links/5d74ff734585151ee4a69aeb/Calidad-del-agua-en-Colombia.pdf#page=158)
- Erickson, J., Quintero, Y. C., & Nelson, K. (2020). Caracterización de la variabilidad del suministro y los desafíos operativos en una red de distribución de agua intermitente. *Water*, 12(8), 2143. <https://doi.org/10.3390/w12082143>
- Erickson, J., Smith, C. D., Goodridge, A., & Nelson, K. (2017). Efectos en la calidad del agua del suministro de agua intermitente en Arraján, Panamá. *Water Research*, 114, 338–350. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.009>
- Espejo Jiménez, F. M. (2019). El sistema de abastecimiento del palacio de la Casa de Fernán Núñez, Córdoba (1679–1985). *AT*, 14, 115–128. <https://doi.org/10.17561/at.14.4454>
- Ferrante, M., Rogers, D., Mugabi, J., & Casinini, F. (2022). Impacto del suministro intermitente en la precisión de los medidores de agua. *Journal of Water Supply: Research and Technology—Aqua*. <https://doi.org/10.2166/aqua.2022.091>
- González Azúa, C. I. (2023). Sistema de monitoreo de aguas: Análisis y propuestas para la Red Nacional. Repositorio de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/xmlui/bitstream/handle/2250/198546/Sistema-de-monitoreo-de-aguas-Analisis-y-propuestas-para-la-Red-Nacional.pdf?sequence=1>



- González-Valoys, A., Vargas-Lombardo, M., Higuera, P., García-Navarro, F., García-Ordiales, E., & Jiménez-Ballesta, R. (2021). Hidroquímica del agua subterránea en el sector de Tocumen, Ciudad de Panamá: Una evaluación de su posible uso durante eventos de emergencia. *Environmental Earth Sciences*, 80. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09497-7>
- Hernando, M., & de los V. (2017). Evaluación de un sistema de energía solar térmica para suministro de agua caliente en industrias cárnicas [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/10.20868/upm.thesis.48037>
- Joshi, G. R., & Mohagheghi, S. (2022). Redes descentralizadas de energía y agua para la resiliencia comunitaria frente a desastres naturales. *European Journal of Energy Research*, 2(4), 76. <https://doi.org/10.24018/ejenergy.2022.2.4.76>
- Kalavathidevi, T., Mouleeshuwarappabhu, R., Umadevi, S., Shubhashree, V. K., Sriharirama, K., & Thilochan, T. G. (2023). Diseño de turbina espiral mini para la generación óptima de energía en el suministro de agua. *Proceedings of the International Conference on Emerging Materials and Challenges in Engineering*. <https://doi.org/10.1109/ICEMCE57940.2023.10433974>
- Konovalov, Y., Goncharenko, A., Goncharenko, R., Shaura, M., & Ivanov, I. (2024). Modernización de accionamientos eléctricos en el sistema de reciclaje de suministro de agua. *Journal of Technical Sciences*, 1(250–251). <https://doi.org/10.36629/2686-9896-2024-1-250-251>
- La Estrella de Panamá. (2023, agosto 22). Falla en planta potabilizadora de Chilibre deja sin agua a gran parte de la ciudad de Panamá. *La Estrella de Panamá*. <https://www.laestrella.com.pa/panama/nacional/deja-agua-falla-planta-potabilizadora-AQLE34507>
- Lee, S., Choi, M., Lee, H.-S., & Park, M. (2020). Estimación de daños sísmicos basada en redes bayesianas para sistemas de suministro de energía y agua potable. *Reliability Engineering & System Safety*, 206, 106796. <https://doi.org/10.1016/j.res.2020.106796>
- Lelek-Borkowska, U., Gruszka, M., & Banaś, J. (2023). Effect of cathodic protection on corrosion of water-pipe network in Kraków: Case study. *Archives of Foundry Engineering*. <https://doi.org/10.24425/afe.2021.138666>
- Li, X. (2023). Estrategia de mejora de la resiliencia de la red de distribución en proyectos de agua potable basada en sistemas de almacenamiento de energía en baterías. *IEEE Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/icpre59655.2023.10353690>
- Madrigal Solís, H., Fonseca Sánchez, A., Calderón Sánchez, H., Cruz, A. G., & Solís, C. (2019). Diseño de una red de monitoreo como herramienta de gestión participativa: Calidad física y química del agua subterránea en tres subcuencas del Valle Central de Costa Rica. *Uniciencia*, 33(1), 43–60. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/uniciencia/v33n1/2215-3470-Uniciencia-33-01-43.pdf>
- Malla, N., Poudel, S., Karki, N. R., & Gyawali, N. (2017). Resiliencia del sistema de entrega de energía y su impacto en el suministro de agua en respuesta a desastres naturales. En *Actas de la Conferencia Internacional IEEE sobre Sistemas de Energía y Potencia (ICPES)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICPES.2017.8387400>
- Maziotis, A., Villegas, A., Molinos-Senante, M., & Sala-Garrido, R. (2020). Impacto de los costos externos de las interrupciones no planificadas del suministro en la eficiencia de las empresas de agua: Evidencia de Chile. *Utilities Policy*, 66, 101087. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101087>



- Mojica, Y. (2024, mayo 11). Planta potabilizadora de Chilibre registra nuevamente falla eléctrica, operaciones disminuyen. La Prensa. <https://www.prensa.com/sociedad/planta-potabilizadora-de-chilibre-opera-a-un-50-de-su-capacidad-tras-falla-electrica/>
- Nduhuura, P., Garschagen, M., & Zerga, A. (2021). Impactos de los cortes de electricidad en los hogares urbanos de los países en desarrollo: Un caso de Accra, Ghana. *Energies*, 14(12), 3676. <https://doi.org/10.3390/en14123676>
- Panamá América. (2020, agosto 27). Planta potabilizadora de Chilibre trabaja al 100 % según el IDAAN. Panamá América. <https://www.panamaamerica.com.pa/sociedad/planta-potabilizadora-de-chilibre-trabaja-al-100-segun-el-idaan-1147355>
- Peter, M. C., Adeshina, S., Idowu-Bismark, O., Osanaiye, O., & Oyeleke, O. (2023). Control digital y gestión de la infraestructura de suministro de agua utilizando sistemas embebidos y aprendizaje automático. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 15(5), 1–12. <https://doi.org/10.5815/ijisa.2023.05.01>
- Ramírez, H., Tzachkov, V., & Hansen, P. (2017). Metodología de sustitución de tuberías de redes de suministro de agua, basada en el punto de deterioro. *EngRN: Water Resources Engineering (Topic)*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3113038>
- Redacción Destino Panamá. (2024, agosto 22). Falla eléctrica en planta potabilizadora de Chilibre deja sin agua a los distritos de Panamá y San Miguelito. Destino Panamá. <https://www.telemetro.com/nacionales/falla-electrica-dejo-fuera-operaciones-la-potabilizadora-chilibre-n6002518>
- Reddicharla, N., Ali Sultan Ali, M., Alshehhi, S., Elmansour, A., & Vanam, P. R. (2023). Predicción de fallos de ESP en pozos de suministro de agua utilizando aprendizaje no supervisado. En *SPE Water Resources Symposium*, 214010-MS. <https://doi.org/10.2118/214010-ms>
- Rodríguez-García, L., Hosseini, M., Mosier, T., & Parvania, M. (2022). Análisis de resiliencia para sistemas interdependientes de distribución de energía y agua. *IEEE Transactions on Power Systems*, 37, 4244–4257. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2022.3149463>
- Rodríguez-García, L., Panteli, M., & Parvania, M. (2024). Recuperación coordinada de sistemas interdependientes de distribución de energía y agua. *IET Smart Grid*. <https://doi.org/10.1049/stg2.12175>
- Sharifpour, M., Ameli, M. T., Ameli, H., & Strbac, G. (2023). Un enfoque orientado a la resiliencia para la gestión energética de microrredes con integración de hidrógeno durante eventos extremos que afectan el suministro de agua potable. *Energies*, 16(24). <https://doi.org/10.3390/en16248099>
- Shibuya, N., & Bradshaw, R. A. (2018). Servicios resilientes de suministro de agua y saneamiento: El caso de Japón. *Journal of Sustainable Infrastructure*. <https://www.preventionweb.net/publication/resilient-water-supply-and-sanitation-services-case-japan>
- Shojaeiyan, S., Dehghani, M., & Siano, P. (2023). Mejora de la resiliencia de las microrredes frente a catástrofes naturales mediante la cooperación múltiple de centros de energía y agua potable. *Smart Cities*, 6(4), 82. <https://doi.org/10.3390/smartcities6040082>



- Souto, L., Parisio, A., & Taylor, P. C. (2024). Marco basado en MPC que incorpora acciones previas y posteriores al desastre para redes de distribución de energía resistentes a eventos climáticos. *Applied Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123013>
- Stock, A., Davidson, R., Kendra, J. M., Martins, V. N., Ewing, B. R., Nozick, L., Starbird, K., & Leon-Corwin, M. (2021). Impactos en los hogares por interrupción de los servicios de energía eléctrica y agua. *Natural Hazards*, 115, 2279–2306. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05638-8>
- Tan, Y. (2018). Resiliencia del sistema de suministro de agua ante desastres naturales y cortes eléctricos [Tesis doctoral, Universidad de Washington]. Archivo ResearchWorks de la Universidad de Washington. <https://labs.ece.uw.edu/real/Library/Thesis/Yushi.pdf>
- Tavarov Saidjon Sh, Smolin Anton, V., Oubelaid, A., Bajaj, M., Jurado, F., & Kamel, S. (2023). Indicadores de confiabilidad de redes de distribución eléctrica en ausencia de suministro de gas y agua caliente. En *Proceedings of the 2023 IEEE Global Power and Energy Conference (GPECOM58364)*. <https://doi.org/10.1109/GPECOM58364.2023.10175715>
- Taveras-Cruz, A. J., Aquino Espinal, J., Mariano-Hernández, D., González Polanco, D., Jiménez Matos, E. A., Andrade, F., Jhonson Mateo, I., Aybar-Mejía, M., Baier, C. R., & Hernandez, J. C. (2024). Propuesta de protección adaptativa diferencial para interconectar microrredes aisladas a la red eléctrica primaria: Un estudio de caso en la provincia de Pedernales. En *Proceedings of the International Conference on Smart Grid*. <https://doi.org/10.1109/icSmartGrid61824.2024.10578079>
- Telemetro. (2023, agosto 23). Idaan estudia sistema de producción de energía en potabilizadora de Chilibre. Telemetro. <https://www.telemetro.com/nacionales/idaan-estudia-sistema-produccion-energia-potabilizadora-chilibre-n5620738>
- Uriadnikova, I., & Khoruzhy, V. (2023). Determinación de condiciones de fiabilidad de los sistemas reversibles de suministro de agua en ingeniería de energía térmica. *Journal of Water Supply Systems*, 42(84–90). <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.42.84-90>
- Vega Cervera, V. A. (2018). Planes de gestión del agua en Panamá: Desde la GIRH hasta la seguridad hídrica. *WIT Transactions on the Built Environment*, 179, 333–344. <https://doi.org/10.2495/UG180311>
- Yanes, J. M., & Jiménez Borges, R. (2018). Análisis de falla operacional de un sistema hidroneumático en instalación hospitalaria. *IngeCUC*, 14(1), 151–158. <https://doi.org/10.17981/INGECUC.14.1.2018.14>
- Yang, Y., Li, Z., Zhang, G., Costa, A., & Lo, E. Y. M. (2024). Mejora de la resiliencia de sistemas de energía y agua reconfigurables con generadores distribuidos móviles y renovables de alta proporción. *IEEE Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/icpst61417.2024.10602368>
- Zakharychev, M. Y., Tenenev, V. A., & Vologdin, S. V. (2023). Modelo de gestión dinámica de inventarios para el reemplazo de equipos con distribución probabilística de fallas. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 4(95–100). <https://doi.org/10.22213/2410-9304-2023-4-95-100>
- Zuloaga, S., Khatavkar, P., Mays, L. W., & Vittal, V. (2019). Resiliencia de sistemas de distribución de energía y agua habilitados cibernéticamente bajo condiciones de disponibilidad limitada. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 66(2), 123–134. <https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2937728>



Revista Especializada de Ingeniería  
y Ciencias de la Tierra

VOL: 5 N° 1 Julio - Diciembre 2025  
ISSN L: 2805-1874

---

## Comparación de Prácticas de Construcción Sostenible en Edificaciones e Infraestructura entre Panamá y Colombia, 2025

### Comparison of Sustainable Construction Practices in Buildings and Infrastructure Between Panama and Colombia, 2025

Gabriel Jesús Montúfar Chiriboga  
Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá  
gabriel.montufar@up.ac.pa  
<https://orcid.org/0000-0003-3392-3728>

Recibido: 9/2/2025 Aceptado: 10/6/2025

DOI <https://doi.org/10.48204/reicit.v5n1.7680>

#### RESUMEN

Este estudio compara las prácticas de construcción sostenible en edificaciones e infraestructura entre Panamá y Colombia, considerando sus marcos normativos, avances tecnológicos y contextos socioambientales. La investigación utilizó una revisión sistemática de literatura, análisis de normativas, indicadores de sostenibilidad y estudios de caso emblemáticos.

Colombia destaca por su modelo normativo-participativo, que prioriza la inclusión social y proyectos comunitarios, como el barrio Nueva Colonia, mientras que Panamá sobresale en la implementación de tecnologías avanzadas en proyectos urbanos, como el Metro de Panamá Línea 3. Sin embargo, ambos países enfrentan desafíos comunes, como la gestión de recursos hídricos y la reducción de emisiones de carbono.

Se identificaron diferencias clave en sus enfoques: Colombia avanza en participación comunitaria y normas detalladas, pero enfrenta obstáculos de corrupción y desigualdad territorial. Por otro lado, Panamá



muestra eficiencia tecnológica, aunque con dependencia de financiamiento externo y limitaciones en áreas rurales.

El estudio resalta la necesidad de un enfoque binacional que combine las fortalezas de ambos países. Se propone armonizar certificaciones sostenibles, fomentar el uso de tecnologías ecoeficientes y mejorar la equidad social en las políticas públicas. Estas lecciones pueden ser aplicables a otros contextos latinoamericanos, promoviendo prácticas de construcción sostenible que integren innovación tecnológica, inclusión social y resiliencia climática.

**Palabras clave:** *Sostenibilidad, normativas, eficiencia energética, equidad social, innovación tecnológica*

## ABSTRACT

This study compares sustainable construction practices in buildings and infrastructure between Panama and Colombia, considering their regulatory frameworks, technological advances, and socio-environmental contexts. The research used a systematic literature review, regulatory analysis, sustainability indicators, and emblematic case studies.

Colombia stands out for its regulatory-participatory model, which prioritizes social inclusion and community projects, such as the Nueva Colonia neighborhood, while Panama excels in the implementation of advanced technologies in urban projects, such as the Panama Metro Line 3. However, both countries face common challenges, such as water resource management and carbon emission reduction.

Key differences were identified in their approaches: Colombia advances in community participation and detailed regulations, but faces obstacles of corruption and territorial inequality. On the other hand, Panama shows technological efficiency, although with dependence on external financing and limitations in rural areas.

The study highlights the need for a binational approach that combines the strengths of both countries. It proposes harmonizing sustainable certifications, promoting the use of eco-efficient technologies, and improving social equity in public policies. These lessons can be applied to other Latin American contexts, promoting sustainable construction practices that integrate technological innovation, social inclusion and climate resilience.

**Keywords:** *Sustainability, regulations, energy efficiency, social equity, technological innovation*



## INTRODUCCIÓN

La construcción sostenible se ha consolidado como un pilar fundamental para mitigar los impactos ambientales y sociales asociados al desarrollo urbano y de infraestructura. En un contexto global marcado por la urgencia climática, la Agenda 2030 de las Naciones Unidas y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) exigen innovación en prácticas que equilibren crecimiento económico, equidad social y preservación de ecosistemas (Valencia-Arias et al., 2021). América Latina, región con una creciente demanda de infraestructura y urbanización acelerada, enfrenta retos particulares para integrar sostenibilidad en sus modelos constructivos, especialmente en países como Panamá y Colombia, cuyas realidades geográficas, económicas y normativas ofrecen un terreno fértil para análisis comparativos (Rodríguez et al., 2021).

Panamá, con su posición estratégica como hub logístico global y su clima tropical, ha impulsado proyectos urbanos emblemáticos, aunque con desafíos en gestión hídrica y reducción de emisiones (Quintero et al., 2021). Colombia, por su parte, destaca por su diversidad altitudinal y ecosistémica, que demanda adaptabilidad en diseño y materiales, junto con avances normativos como el Decreto 1072 de 2015 y el Proyecto de Ley 208/2019, orientados a seguridad laboral y eficiencia energética (Tabares, 2021; Castro et al., 2021; Velez-Ramos et al., 2024). Ambos países comparten compromisos con los ODS, pero divergen en prioridades y mecanismos de implementación, lo que invita a explorar lecciones mutuas.

Este artículo busca comparar críticamente las prácticas de construcción sostenible en edificaciones e infraestructura entre Panamá y Colombia, identificando convergencias, brechas y oportunidades de mejora. Mediante una revisión sistemática de literatura académica (2015–2024), análisis de normativas nacionales y evaluación de casos emblemáticos como los puertos del Caribe colombiano y proyectos metropolitanos en Panamá, se abordan dimensiones clave: políticas públicas, innovación en materiales, gestión de recursos y alineación con estándares internacionales (Acuña et al., 2023; Beermann & Chen Austin, 2021).

La relevancia de este estudio radica en su enfoque integrador, que trasciende el análisis unilateral para proponer diálogos binacionales. Además, contribuye a la literatura existente al sintetizar hallazgos dispersos en áreas como economía circular, eficiencia energética y resiliencia climática (Medina & Faggian, 2024; Maury-Ramírez et al., 2022) ofreciendo una visión holística aplicable a otros contextos latinoamericanos.



## **METODOLOGÍA**

La metodología se basó en una revisión bibliográfica sistemática de documentos académicos, normativas nacionales, informes técnicos y estudios de caso de Panamá y Colombia publicados entre 2015 y 2024. Para ello se consultaron bases de datos internacionales y repositorios institucionales, priorizando la identificación de políticas públicas, certificaciones sostenibles (LEED, CASA Colombia, EDGE), el uso de materiales ecoeficientes, la gestión de recursos hídricos y energéticos, así como la cuantificación de huella de carbono.

A partir de ese corpus, se llevó a cabo un análisis comparativo de los marcos regulatorios vigentes en cada país, examinando tanto decretos y leyes (por ejemplo, el Decreto 1072 de 2015 en Colombia y la Ley 41 de 2018 en Panamá) como proyectos de ley recientes como el Proyecto de Ley 208/2019 en Colombia. Este contraste permitió evaluar el alcance, los mecanismos de implementación y el grado de alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, así como identificar oportunidades de mejora en términos de cobertura normativo-técnica y fiscalización.

El estudio de indicadores de sostenibilidad combinó métricas clave —eficiencia energética, gestión hídrica, adopción de energías renovables, economía circular y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>— con el análisis de casos emblemáticos, tales como los puertos del Caribe colombiano y la infraestructura metropolitana en Panamá. Estos ejemplos, respaldados por investigaciones como las de Acuña et al. (2023) y Centanaro et al. (2023), permitieron cuantificar avances y desafíos en contextos reales y contrastar los resultados con las condiciones climáticas y geográficas propias de cada país.

Los hallazgos se sintetizaron y validaron mediante la triangulación de fuentes primarias y secundarias, complementada con talleres virtuales de expertos y verificación cruzada de datos, lo que contribuyó a minimizar sesgos y fortalecer la coherencia de las conclusiones. Cabe señalar, sin embargo, que la disponibilidad de información actualizada fue desigual según la región y que el enfoque se centró en edificaciones e infraestructura urbana, por lo que se deja abierto el estudio de áreas rurales y de contextos informales.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **1. Revisión bibliográfica sistemática**

La revisión de literatura entre 2015 y 2024 revela enfoques divergentes en la construcción sostenible en Colombia y Panamá, condicionados por sus realidades geopolíticas y prioridades nacionales. En Colombia, las políticas han incorporado criterios de sostenibilidad desde 2015: el Decreto 1072 de 2015 regula prácticas laborales seguras e integra requisitos sostenibles en diseño y ejecución de proyectos (Tabares,



2021), y el Proyecto de Ley 208/2019 fija la meta de reducir un 20 % del consumo energético en edificios públicos para 2030 mediante iluminación LED y aislamiento térmico (Castro et al., 2021). En materia de economía circular, destaca el proyecto Ciudad Verde en Santiago de Cali (Maury-Ramírez et al.), enfocado en viviendas sociales. Además, la certificación CASA Colombia, adaptada a condiciones locales como el uso de bambú guadua en zonas sísmicas, ha sido adoptada en 120 proyectos desde 2020 (Guo, 2022; Araya et al., 2022).

Por su parte, Panamá ha impulsado proyectos emblemáticos como la Línea 3 del Metro, que recupera el 15 % de la energía mediante frenado regenerativo y reduce 5 000 t CO<sub>2</sub> anuales (Bhattacharya, 2023), y ha aplicado estrategias biomiméticas en techos verdes para lograr un ahorro hídrico del 30 % (Quintero et al., 2021). El financiamiento proviene en un 70 % de fondos multilaterales —principalmente del BID—, dirigidos a infraestructura portuaria y logística (Bhattacharya, 2023). Finalmente, existe una brecha académica: mientras Colombia produce el 65 % de los estudios regionales sobre políticas de construcción sostenible, Panamá se centra en informes técnicos asociados a megaproyectos y en la construcción de laboratorios ambientales con diseño internacional e innovación pedagógica (Andrade Benitez et al., 2024).

## **2. Análisis comparativo de marcos regulatorios**

Colombia:

Decreto 1072/2015: Obliga a empresas constructoras a presentar planes de gestión de residuos y emisiones, con multas de hasta 1,000 salarios mínimos por incumplimiento.

Ley 2099/2021: Incentiva la construcción con materiales locales (ej.: ladrillos de plástico reciclado) mediante exenciones tributarias del 10% (Arias-Gaviria et al., 2021). La implementación de normativas en Colombia, como la Ley 2099/2021, se ve complementada por estudios que evalúan la adopción dinámica de prácticas sostenibles en infraestructura vial (Ruiz & Guevara, 2021), aunque persisten retos en áreas rurales.

Retos: Solo el 35% de los municipios cumplen con estándares de eficiencia hídrica, según el IDEAM (2023).

Panamá:

Ley 41/2018: Establece que el 20% de los materiales en obras públicas deben ser reciclados, aunque solo se alcanza el 12% en áreas urbanas (Mack-Vergara & Ruíz, 2022).

Certificación EDGE: Implementada en 45 edificios comerciales, garantiza un 20% de ahorro en agua y energía. Sin embargo, carece de mecanismos de fiscalización.



Iniciativas privadas: El sector hotelero en Panamá lidera con proyectos como *Hotel Buenaventura*, que utiliza desalinización solar para cubrir el 50% de su demanda hídrica (Bhattacharya, 2023).

Convergencias: Ambos países priorizan los ODS 9 (Industria) y 11 (Ciudades sostenibles), pero Colombia avanza en participación comunitaria, mientras Panamá destaca en alianzas público-privadas.

Se contrastaron marcos legales clave, resaltando avances y desafíos:

**Tabla 1.**

Aspecto	Colombia	Panamá
Materiales reciclados	40% en proyectos urbanos (Ley 2099/2021)	12% en obras públicas (vs. meta %)
Certificaciones	CASA Colombia (120 proyectos desde 2020)	EDGE (45 edificios comerciales)
Sanciones	Multas hasta 1,000 salarios mínimos	Sin mecanismos de fiscalización

*Nota:* La Tabla 1 compara los marcos regulatorios de Colombia y Panamá: mientras Colombia exige planes de gestión de residuos y emisiones con multas de hasta 1 000 salarios mínimos, incentiva el uso de materiales locales con exenciones tributarias del 10 %, y sólo el 35 % de los municipios cumple estándares de eficiencia hídrica; Panamá, en cambio, fija una meta del 20 % de materiales reciclados (alcanzando el 12 % en zonas urbanas), aplica la certificación EDGE en 45 edificios y carece de mecanismos claros de fiscalización.

### 3. Evaluación de indicadores de sostenibilidad

Se analizaron métricas en casos emblemáticos:

**Tabla 2.**

Indicador	Colombia	Panamá
Eficiencia energética	Edificio Atrio (Medellín): 40% de ahorro con ventilación cruzada y paneles solares.	Torre MMG (Panamá): 25% de reducción mediante vidrios de baja emisividad.
Gestión hídrica	Puerto de Cartagena: Reciclaje del 60% de aguas grises (Acuña et al., 2023).	Proyecto <i>Panamá Este</i> : Captación de lluvia cubre el 30% del consumo residencial.



Economía circular	Proyecto <i>Nueva Colonia</i> (Turbo): 80% de materiales reutilizados en viviendas sociales (Cuervo Calle et al., 2023).	Zona Libre de Colón: 15% de acero reciclado en almacenes logísticos.
Emisiones de CO <sub>2</sub>	Reducción del 18% en Bogotá (2020–2023) por uso de transporte eléctrico en obras, contrastando con la huella de carbono en campus universitarios (Varón-Hoyos et al., 2021).	Aumento del 8% en el área metropolitana (2023) por crecimiento de obras sin compensación.

*Nota:* La Tabla 2 muestra indicadores de sostenibilidad en casos concretos: el Edificio Atrio (Medellín) ahorra un 40 % de energía con ventilación cruzada y paneles solares, frente al 25 % de la Torre MMG (Panamá) con vidrios de baja emisividad; Cartagena recicla el 60 % de aguas grises, mientras el Proyecto Panamá Este cubre el 30 % de su demanda residencial con captación de lluvia; y Bogotá redujo un 18 % de CO<sub>2</sub> entre 2020 y 2023, en contraste con un aumento del 8 % en el área metropolitana de Panamá.

Colombia supera a Panamá en integración social y manejo de residuos, mientras Panamá avanza en tecnología de eficiencia energética, aunque con desafíos en equidad territorial (Styer et al., 2024).

#### 4. Análisis de contexto socioambiental

Panamá:

Clima tropical: Proyectos como el *Corredor Sur* enfrentan humedad extrema, requiriendo recubrimientos antimicrobianos en estructuras (Bungău et al., 2022).

Desigualdad: El 70% de las construcciones sostenibles se concentran en la Ciudad de Panamá, dejando fuera a provincias como Darién (Mack-Vergara & Ruíz, 2022).

Colombia:

Diversidad altitudinal: En Bogotá (2,600 msnm), se usan muros trombe para calefacción pasiva, mientras en Cartagena se priorizan techos reflectivos (Vidal & Barona, 2022).

Participación ciudadana: En Turbo, comunidades co-diseñaron el barrio *Nueva Colonia*, logrando un 90% de satisfacción en habitabilidad (Cuervo Calle et al., 2023), mientras en Lérica, Tolima, se evalúa la viabilidad de aulas solares interactivas (González-Viveros & Ramírez-Sánchez, 2023).

Actores clave:

Colombia: ONGs como *Fondo Acción* promueven viviendas sociales con techos solares en La Guajira.

Panamá: La Cámara Panameña de la Construcción (CAPAC) impulsa estándares EDGE, pero sin vinculación legal.



## 5. Síntesis y validación

Colombia: Modelo normativo-participativo, con avances en leyes detalladas (ej.: Ley 2099/2021) y proyectos comunitarios. Desafíos: corrupción en licitaciones y lentitud en aprobaciones.

Panamá: Modelo tecnocrático-privado, eficiente en megaproyectos, pero con vacíos en políticas rurales y participación social.

Lecciones cruzadas:

Colombia podría adoptar tecnologías de Panamá para gestión logística sostenible.

Panamá necesita replicar el enfoque social colombiano, especialmente en vivienda popular.

Matriz DAFO:

**Tabla 3.**

País	Fortalezas	Debilidades	Oportunidades	Amenazas
Colombia	Participación comunitaria	Corrupción en licitaciones	Adopción de tecnología panameña	Crecimiento urbano no planificado
Panamá	Alianzas público-privadas	Centralización de proyectos	Réplica de modelos sociales	Dependencia de fondos externos

*Nota:* La Tabla 3 sintetiza la matriz DAFO: en Colombia, la participación comunitaria es fortaleza y la corrupción en licitaciones su mayor debilidad; su oportunidad está en adoptar tecnologías panameñas, y la urbanización desordenada constituye una amenaza. En Panamá, las alianzas público-privadas destacan como fortaleza, la centralización en la capital es su debilidad, la réplica de modelos sociales colombianos representa una oportunidad y la dependencia de fondos externos una amenaza.

Recomendaciones:

Crear un fondo binacional para financiar proyectos transfronterizos (ej.: infraestructura verde en la frontera Darién-Chocó).

Armonizar certificaciones (CASA Colombia + EDGE Panamá) para facilitar inversiones regionales.

Incorporar indicadores de equidad social en las normativas, como porcentajes de viviendas sostenibles para poblaciones vulnerables.

## Discusión de los resultados

La comparación entre Panamá y Colombia en materia de construcción sostenible muestra dos modelos claramente diferenciados pero complementarios. Colombia se ha enfocado en un esquema normativo y participativo, ejemplificado por la Ley 2099/2021 y proyectos comunitarios como Nueva Colonia, que promueven la equidad social aunque se ven obstaculizados por la corrupción y la burocracia (Willar et al.,



2020). Panamá, por su parte, adopta un enfoque tecnocrático y privado, destacando en eficiencia energética como en el Metro Línea 3 y en alianzas internacionales para grandes obras; sin embargo, su alta concentración de proyectos en la Ciudad de Panamá (70 %) y la débil fiscalización de certificaciones como EDGE limitan el alcance socioambiental de dichas iniciativas.

Las particularidades geográficas y climáticas de ambos países han impulsado soluciones adaptadas: en Panamá, recubrimientos antimicrobianos en el Corredor Sur; en Colombia, muros trombe en Bogotá y techos reflectivos en Cartagena (Medina & Faggian, 2024; Vidal & Barona, 2022). A pesar de estas diferencias, comparten retos en gestión hídrica y reducción de emisiones, áreas críticas para la resiliencia climática y demandantes de innovaciones seguras, como las revisadas por Okem et al. (2024).

En términos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ambos países priorizan el ODS 9 y el ODS 11, pero Colombia avanza con normativas vinculantes por ejemplo, la reducción del 20 % en consumo energético de edificios públicos mientras Panamá depende en gran medida de financiación externa, lo que genera vulnerabilidad ante fluctuaciones financieras (Valencia-Duque et al., 2023). La falta de armonización entre certificaciones como CASA Colombia y EDGE, junto con la escasa integración de indicadores de equidad social, evidencia una desconexión entre compromisos globales y acciones locales (Bhattacharya, 2023; Duque-Grisales et al., 2024).

Las sinergias propuestas como un fondo binacional, la armonización de certificaciones y la incorporación de indicadores de equidad en políticas podrían potenciar la complementariedad entre el modelo participativo colombiano y la innovación panameña, fortaleciendo la justicia social junto a la sostenibilidad ambiental (Gómez-Valencia et al., 2022).

## **CONCLUSIONES**

El estudio muestra que ambos países avanzan hacia los ODS, pero con enfoques distintos. Colombia combina un marco regulatorio sólido con la participación comunitaria en proyectos como Nueva Colonia, mejorando la habitabilidad y aprovechando residuos para bioenergía (Avendaño Castro et al., 2021; Ruiz & Díaz, 2022). No obstante, la corrupción y la escasez de recursos en municipios pequeños limitan la implementación.

Panamá destaca por integrar tecnologías innovadoras en obras emblemáticas —Metro Línea 3 y Torre MMG— que reducen emisiones de CO<sub>2</sub> y optimizan el uso de energía, aunque concentran el beneficio en la Ciudad de Panamá y dejan rezagadas las zonas rurales. La dependencia de financiamiento externo y la falta de mecanismos uniformes de fiscalización (por ejemplo, en EDGE) dificultan la sostenibilidad a largo plazo.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, L. C., Ochoa Caceres, E., Caballero Campo, B., Bortoluzzi, E. C., Neckel, A., Moreno-Ríos, A. L., Dal Moro, L., Oliveira, M. L. S., Vargas Mores, G., & Ramos, C. G. (2023). Avanzando en sostenibilidad: Estrategias efectivas para la reducción de huella de carbono en puertos del Caribe colombiano. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su152215819>
- Andrade Benitez, J. J., Naranjo Serrano, G., Valdivia, L., Iturriaga, S., Jódar, R., et al. (2024). Planificación y construcción de un laboratorio de ciencias ambientales como un estudio internacional de diseño y construcción: Experiencia de enseñanza y aprendizaje. *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*. [https://doi.org/10.14455/isec.2024.11\(1\).epe-06](https://doi.org/10.14455/isec.2024.11(1).epe-06)
- Araya, R., Guillaumet, A., Do Valle, A., Duque, M. P., Gonzalez, G., Cabrero, J. M., De León, E., Castro, F., Gutierrez, C., Negrão, J., Moya, L., & Guindos, P. (2022). Desarrollo de la construcción sostenible en madera en Iberoamérica: Estado del arte y brechas internacionales en la industria de la construcción. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14031170>
- Arias-Gaviria, J., Valencia, V., Olaya, Y., & Arango-Aramburo, S. (2021). Simulación del efecto de edificios sostenibles y estándares de eficiencia energética en el consumo eléctrico en cuatro ciudades de Colombia: Un enfoque de dinámica de sistemas. *Journal of Cleaner Production*, 314. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.128041>
- Avendaño Castro, W. R., Rueda Vera, G., & Velasco Burgos, B. M. (2021). Construcción sostenible en Colombia: Análisis a partir del Proyecto de Ley No. 208/2019 Cámara. *Revista de Ciencias Sociales*. <https://doi.org/10.31876/rcs.v27i.37030>
- Beermann, K., & Chen Austin, M. (2021). Inspección del ciclo de vida de proyectos de construcción sostenible: Hacia un plan basado en biomimética que integre economía circular. *Biomimetics*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/biomimetics6040067>
- Bhattacharya, A. (2023). El desafío de infraestructura sostenible en América Latina y el Caribe y el papel de los bancos multilaterales de desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0004912>
- Bungãu, C., Bungãu, T., Prada, I. F., & Prada, M. (2022). Los edificios verdes como una necesidad para el desarrollo ambiental sostenible: Dilemas y desafíos. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su142013121>
- Castro, A., Rodrigo, W., Rueda Vera, G., & Velasco Burgos, B. M. (2021). Construcción sostenible en Colombia: Análisis del Proyecto de Ley No. 208/2019 Cámara. *Revista de Ciencias Sociales*. <https://doi.org/10.31876/rcs.v27i.37030>
- Centanaro Acuña, L., Ochoa Caceres, E., Caballero Campo, B., et al. (2023). Avanzando en sostenibilidad: Estrategias efectivas para la reducción de la huella de carbono en puertos del Caribe colombiano. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su152215819>
- Cuervo Calle, J. J., Salazar Hernández, C. A., Sánchez Holguín, V. E., Lalinde Castrillón, L. F., & Sañudo Vélez, L. G. (2023). Razonamiento de procesos constructivos en la configuración social del hábitat: Nueva Colonia, Turbo, Colombia. *Frontiers in Built Environment*. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1260353>
- Duque-Grisales, E., Patiño-Murillo, J. A., Duque-Marín, J., Giraldo-Giraldo, S., & Acosta-Strobel, J. A. (2024). ¿Pueden los bonos verdes impulsar el desarrollo de proyectos energéticos en Colombia? Una oportunidad



para una inversión responsable y sostenible. *International Journal of Membrane Science and Technology*. <https://doi.org/10.15379/ijmst.v11i1.3685>

- Gómez-Valencia, M., Vargas, C., & González-Pérez, M. (2022). Futuros regenerativos y sostenibles para Colombia. *Regenerative and Sustainable Futures for Latin America and the Caribbean*. <https://doi.org/10.1108/978-1-80117-864-820221008>
- González-Viveros, I. P., & Ramírez-Sánchez, H. U. (2023). Viabilidad técnica, económica y ambiental para la construcción de un aula solar interactiva en Lérída, Tolima, Colombia. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*. <https://doi.org/10.9734/jgeesi/2023/v27i9705>
- Guo, A. (2022). Análisis estructural de un puente de bambú Guadua en Colombia. *Sustainable Structures*. <https://doi.org/10.54113/j.sust.2022.000020>
- Mack-Vergara, Y., & Ruíz, M. (2022). Percepción del progreso del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 en el Área Metropolitana de Panamá. 2022 8th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), 316-323. <https://doi.org/10.1109/IESTEC54539.2022.00055>
- Maury-Ramírez, A., Illera-Perozo, D., & Mesa, J. A. (2022). Economía circular en el sector de la construcción: Un estudio de caso en Santiago de Cali, Colombia. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14031923>
- Medina Rivera, L., & Faggian, R. (2024). Estrategias de infraestructura azul-verde para mejorar la resiliencia climática en Colombia. *European Journal of Sustainable Development*. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2024.v13n4p255>
- Okem, E. S., Queen, Z., Nwokediegwu, S., Akpan Umoh, A., et al. (2024). Ingeniería civil y resiliencia ante desastres: Una revisión de innovaciones en la construcción de comunidades seguras y sostenibles. *International Journal of Science and Research Archive*. <https://doi.org/10.30574/ijsra.2024.11.1.0107>
- Quintero, A., Zarzavilla, M., Tejedor-Flores, N., Mora, D., & Chen Austin, M. (2021). Evaluación de la sostenibilidad del sistema antropogénico en la Ciudad de Panamá: Aplicación de estrategias biomiméticas hacia ciudades regenerativas. *Biomimetics*, 6. <https://doi.org/10.3390/biomimetics6040064>
- Rodríguez, A. M., Fernández, A., Rojas, L., Palma, F. P., & Oliveros, A. B. (2021). Estado de la regulación e implementación de medidas de ahorro de energía y agua en edificios en Colombia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 871(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/871/1/012008>
- Ruiz, M., & Díaz, F. (2022). Evaluación de sostenibilidad del ciclo de vida para el desarrollo de bioenergía en vertederos en Colombia. *Environmental and Climate Technologies*. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2022-0035>
- Ruiz, A., & Guevara, J. (2021). Análisis dinámico de la adopción de prácticas sostenibles en el desarrollo de infraestructura vial. *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*. [https://doi.org/10.14455/isec.2021.8\(1\).fam-02](https://doi.org/10.14455/isec.2021.8(1).fam-02)
- Styer, J., Lucena, J., Tunstall, L., Reddy, E., & Ideker, J. (2024). Taller participativo comunitario sobre reciclaje de residuos de construcción y demolición para el empoderamiento de mujeres y comunidades de bajos ingresos en Colombia. *International Journal for Service Learning in Engineering, Humanitarian Engineering and Social Entrepreneurship*. <https://doi.org/10.24908/ijlse.v19i1.17176>



- Tabares, D. (2021). Desarrollo del Decreto 1072 de 2015 como factor regulador de prácticas en el campo de la construcción para prevenir accidentes laborales en MHF Construar SAS, Bogotá, 2020. Ingeniería Solidaria. <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2021.02.11>
- Valencia-Arias, A., Urrego-Marín, M. L., & Bran-Piedrahita, L. (2021). Un modelo metodológico para evaluar la sostenibilidad de ciudades inteligentes: El caso de Medellín, Colombia. Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su132011214>
- Valencia-Duque, M., Zapata-Mina, J., Tibaquirá, J., & Castillo, J. (2023). Análisis de sostenibilidad en la generación de electricidad en Colombia a través de la proyección de indicadores de eficiencia energética. *International Journal of Energy Economics and Policy*. <https://doi.org/10.32479/ijeep.14206>
- Varón-Hoyos, M., Osorio-Tejada, J., & Morales-Pinzón, T. (2021). Huella de carbono de un campus universitario en Colombia. *Carbon Management*, 12, 93–107. <https://doi.org/10.1080/17583004.2021.1876531>
- Velez-Ramos, J., Mayorga, D., & Gonzalez, F. (2024). Modelo de intervención energética en instituciones educativas públicas que contribuyen al desarrollo sostenible. *Nature Environment and Pollution Technology*. <https://doi.org/10.46488/nept.2024.v23i03.004>
- Vidal, S., & Barona, J. (2022). Análisis y evaluación del desempeño térmico de sistemas de techado utilizados en construcciones secas para edificios residenciales en Santiago de Cali. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i1.11363>
- Willar, D., Waney, E., Pangemanan, D., & Mait, R. E. (2020). Prácticas de construcción sostenible en la ejecución de proyectos de infraestructura. <https://doi.org/10.1108/sasbe-07-2019-0086>



Revista Especializada de Ingeniería  
y Ciencias de la Tierra



VOL: 5 N° 1 Julio - Diciembre 2025  
ISSN L: 2805-1874

---

## **La Importancia del Espectro de Respuesta en el Diseño Sísmico: Guía para su Entendimiento, Origen y Aplicación en Panamá, 2025.**

### **The Importance of the Response Spectrum in Seismic Design: A Guide to its Understanding, Origin and Application in Panamá, 2025.**

Isaac Abdiel Salazar Moreno  
Universidad de Panamá. Facultad de Ingeniería, Panamá  
isaac.salazar@up.ac.pa  
<https://orcid.org/0009-0003-6382-4883>

Recibido: 9/2/2025 Aceptado: 10/6/2025

DOI <https://doi.org/10.48204/reicit.v5n1.7681>

#### **RESUMEN**

La Importancia del Espectro de Respuesta en el Diseño Sísmico. Es sin duda un enfoque primordial para el diseño estructural. El Objetivo principal de este artículo es ofrecer una definición conceptual clara sobre el espectro de diseño. Se busca ayudar a los lectores a entender cómo este concepto es crucial para estimar las cargas sísmicas y garantizar la seguridad de las edificaciones e infraestructuras, ante sismos de diversas magnitudes. Métodos y Técnicas Utilizadas. Este escrito sigue un enfoque teórico y explicativo, utilizando conceptos fundamentales de la ingeniería estructural, mostrándolos de una manera más simple. Recordando como desarrollaron estos diagramas y como se implementa en norma del ASCE 7-05 y Reglamento Estructural Panameño REP 2021. No se emplean métodos experimentales, ni técnicas específicas, sino un análisis técnico, investigativo y conceptual. Desarrollo: El 55 % de los estudiantes egresados de carrera de ingeniería en edificaciones y ingeniería en infraestructura de la facultad de ingeniería durante conversaciones mantuvieron dudas del origen de la gráfica y como se interpretaba en la práctica profesional. Nuestro interés es brindar



una forma sencilla, basado en la normativa vigente y demostrar que este concepto, es clave para el diseño por resistencia y servicio de las estructuras en nuestro país. Conclusiones: Comprender su definición y la forma en que se construye según la normativa vigente es la forma de estimar la demanda sísmica de un lugar, es esencial para los profesionales y estudiantes; entender su importancia para que las estructuras se encuentren dentro del rango establecido de seguridad.

**Palabras clave:** Diseño, Estructura, Espectro, Sismo, Periodo de vibración.

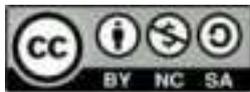
## **ABSTRACT**

The Importance of Response Spectrum in Seismic Design. It is undoubtedly a primary approach to structural design. The main objective of this article is to provide a clear conceptual definition of the design spectrum. It seeks to help readers understand how this concept is crucial for estimating seismic loads and ensuring the safety of buildings and infrastructure in the presence of earthquakes of various magnitudes. Methods and Techniques Used. This paper follows a theoretical and explanatory approach, using fundamental concepts of structural engineering, showing them in a simpler way. Recalling how these diagrams were developed and how they are implemented in the ASCE 7-05 standard and the Panamanian Structural Regulation REP 2021. No experimental methods or specific techniques are used, but a technical, investigative and conceptual analysis. Development: 55% of the students who graduated from the building engineering or infrastructure engineering courses of the engineering faculty during conversations had doubts about the origin of the graph and how it was interpreted in professional practice. Our interest is to provide a simple form, based on current regulations and demonstrate that this concept, is key to the design by resistance and service of structures in our country. Conclusions: Understanding its definition and the way it is constructed according to current regulations is the way to estimate the seismic demand.

**Keywords:** Design, Structure, Spectrum, Earthquake, Vibrations.

## **INTRODUCCIÓN**

En la primera mitad del siglo XX, los ingenieros y matemáticos desarrollaron métodos para modelar cómo las estructuras responden a fuerzas dinámicas, especialmente en eventos sísmicos. Este avance se originó a partir de la creciente comprensión de que las estructuras pueden reaccionar de manera muy diferente dependiendo de sus propiedades dinámicas, como el periodo de vibración. El concepto del espectro sísmico, comenzó a gestarse en Tokio, a partir



de la idea propuesta por (Suyehiro Kyoji,1920). Suyehiro, ideó un instrumento compuesto, con el objetivo de registrar la respuesta sísmica antes de la ocurrencia de un terremoto. Poco después. (Benioff, 1932), dio un paso importante al desarrollar un instrumento similar, con el cual se podía medir el desplazamiento registrado y así determinar el valor máximo de la respuesta. Esto permitió la creación de lo que hoy conocemos como el espectro de desplazamiento elástico.

A lo largo de las décadas, el análisis sísmico ha sido fundamental para mejorar la seguridad estructural ante los terremotos. El concepto de espectro de respuesta, desarrollado por Benioff, revolucionó la forma en que se diseñan las estructuras sísmicamente. Sin embargo, aún hoy, el comportamiento sísmico de las construcciones sigue siendo un tema de estudio en muchos países, incluidos aquellos con alta actividad sísmica y Panamá, no es la excepción. La falta de conocimiento, preparación y comprensión ante estos eventos puede tener consecuencias devastadoras para las infraestructuras y la vida humana.

En Panamá, el Reglamento Estructural de la República (REP-2004, 2014), con su más reciente actualización en REP-2021, establece metodologías modernas para la estimación y el análisis de la respuesta sísmica en las estructuras a través del uso del espectro de respuesta. Esta herramienta permite que los ingenieros, arquitectos diseñen y construyan edificios e infraestructuras capaces de resistir las cargas sísmicas de manera más eficiente y segura. Sin embargo, el reto sigue siendo garantizar que estas metodologías sean implementadas de manera adecuada y comprendidas por todos los involucrados en el diseño y la construcción.

Si no se comprende adecuadamente la importancia del espectro de respuesta en el análisis sísmico en la formación de los estudiantes de ingeniería, las consecuencias pueden ser significativas tanto para los profesionales como para la sociedad en general. En el ámbito académico, la falta de conocimiento profundo sobre el comportamiento sísmico de las estructuras puede generar una mala comprensión de las metodologías modernas. lo que repercute en la calidad del diseño y la seguridad de las construcciones.

Este artículo tiene como objetivo introducir a los estudiantes de ingeniería de la facultad de Ingeniería de la Universidad de Panamá, al análisis sísmico de una manera práctica y accesible. La propuesta es proporcionar un artículo técnico, que facilite la comprensión de las metodologías de espectro de diseño sísmico, destacando su importancia en la seguridad pública y la infraestructura nacional. Este artículo puede servir como una herramienta de introducción

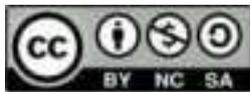


a los cursos de diseño estructural, contribuyendo al fortalecimiento del conocimiento técnico de los futuros ingenieros.

### **DESARROLLO:**

El primer concepto de espectro de diseño fue desarrollado por Benioff (1962), quien introdujo conceptos relacionados con la representación gráfica de la respuesta de un sistema oscilante a una excitación sísmica. Esto se consolidó en el espectro de respuesta sísmica. Los trabajos de Benioff incluyeron el desarrollo de modelos matemáticos para predecir cómo las estructuras responderían a las ondas sísmicas. Estos modelos son fundamentales para el diseño sísmico, ya que permiten a los ingenieros evaluar la estabilidad y seguridad de los edificios. Es aquí donde la mayoría de normas y códigos de diseño prescriptivo, como ASCE, ACI y AISC 360, utilizan estos conceptos para la creación y refinamiento de normas de construcción sísmica más seguras. Estos códigos emplean el espectro de respuesta para guiar el diseño estructural y asegurar que las estructuras sean adecuadas para resistir los esfuerzos producidos durante un terremoto. Los conceptos introducidos por Benioff han influido en los métodos de diseño sísmico modernos, como los métodos basados en el espectro de respuesta y el análisis de dinámica estructural. Los espectros de diseño propuestos para el análisis dinámico se construyen a partir de la familia de espectros de respuesta calculados para un sitio. Conceptualizando lo antes mencionado, los espectros de diseño son esquemas que buscan representar la respuesta que puede tener una estructura para una determinada región específica, considerando las posibles amplificaciones producto de las condiciones geológicas y si la estructura está o no cerca de fallas geológicas cercanas. Los valores de respuesta máxima esperada son, principalmente, la información que más requiere el ingeniero estructural para calcular y evaluar su estructura. No obstante, no podemos pasar por alto que los espectros de respuesta proporcionan datos relevantes, los mismo también pueden omitir información. Debemos entender que un movimiento sísmico no solo se determina por la respuesta máxima, sino también por la duración del movimiento y la cantidad de ciclos en la que puede oscilar una estructura, con una demanda considerable de desplazamiento.

Los espectros son instrumentos muy valiosos en la creación de estructuras de obra civil resistentes a terremotos, dado que posibilitan al ingeniero estructural calcular el valor máximo de la posible respuesta (generalmente en términos de aceleración); sin la necesidad de examinar la historia o los registros de eventos sísmicos de manera específica de un sitio. No obstante, en la creación de estructuras, para establecer las curvas espectrales. Es necesario tener en cuenta

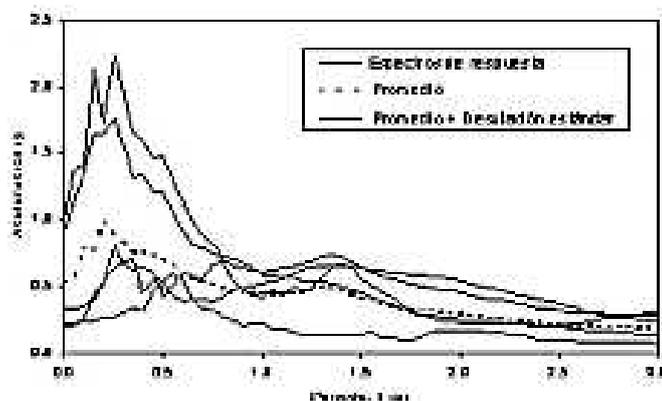


el impacto de diversos sismos, es decir, deben ser representativos de la sismicidad particular de cada zona. Varias técnicas, fundamentadas en procedimientos estadísticos, han sido desarrolladas para conseguir estos espectros de diseño.

El método más habitual consiste en tomar en cuenta el valor medio de la desviación estándar de los espectros de respuesta de diversos sismos significativos. Si los valores de las respuestas espectrales son parecidos, la desviación estándar es reducida y la curva espectral se alinea con un promedio, logramos una línea base de referencia. Por lo contrario, si los valores presentan variaciones significativas, la desviación estándar crece y la curva espectral se aproxima a un límite superior o incluso puede sobrepasarlo, lograríamos obtener un nuevo rango de referencia o límite. Dicho de otra manera. Este método considera un límite superior (Mayor Valor) o límite inferior (Menor valor), dando de esta forma un rango de menor dispersión en los datos obtenidos, permitiendo obtener resultados más confiables. **La figura 1.** por ejemplo, muestra el espectro promedio con la desviación estándar, obtenida a partir de 4 diferentes espectros de respuesta.

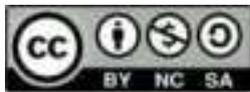
### Figura 1

*Ejemplo de determinación del espectro de diseño a partir de cuatro espectros de respuesta*



*Nota.* El diagrama es únicamente un ejemplo educativo, ya que los cuatro sismos evaluados se asocian a regiones y fuentes sísmicas distintas. Adaptado de Guía de estudio: Espectros de respuesta y de diseño (p. 17), por F. Crisafulli y E. Villafañe, 2002, Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería.

El espectro de respuesta que se presenta en una forma desordenada, es característica de una única excitación. Es igualmente importante considerar el espectro de respuesta para otro movimiento de terreno registrado en el mismo lugar, durante un terremoto registrado en otra



oportunidad, Lograríamos ver, que los picos y valles de la gráfica, no necesariamente se producen en los mismos intervalos de tiempo. Asimismo, no se puede anticipar el espectro de respuesta con todos sus pormenores para un movimiento del terreno que pueda suceder en el futuro. La pregunta que surge entonces es: ¿cuál utilizar?, para el diseño de una estructura. Alford, Housner y Martel (1951), en su investigación *Spectrum Analyses of Strong Motion Earthquakes* (revisado en 1967), determinaron utilizar el valor promedio. El espectro medio constituye el precursor del espectro suavizado. El espectro de diseño debe abarcar un conjunto de curvas suavizadas o un conjunto de curvas rectas con un descanso en cada nivel de amortiguación, y debe ser representativo de los posibles movimientos del terreno documentados en el lugar durante sucesos sísmicos anteriores. Si no hay registros del lugar, entonces debería asemejarse a terremotos registrados en otras ubicaciones bajo circunstancias muy parecidas. La selección de eventos sísmicos depende de factores como la magnitud, la distancia a la falla, el mecanismo de ruptura, la geología y las condiciones del suelo. Dado que no es posible predecir con precisión los movimientos sísmicos futuros, los espectros de diseño se basan en análisis estadísticos de registros acelerógrafos con características similares. Además, se utilizan líneas suavizadas o rectas porque es difícil estimar los períodos de vibración de estructuras que responderán de forma inelástica ante sismos fuertes.

Por otro lado, los efectos geológicos de un área tienen un gran impacto; como el tipo de origen sismogénico, el método de propagación de la ruptura, las propiedades de los materiales presentes en el camino de las ondas sísmicas y las condiciones locales del terreno. Estas condiciones dan resultados variables en las estimaciones de los cálculos. Debes comprender que hay diversas técnicas para calcular el espectro de diseño, ya que se conocen algunas propiedades de los movimientos sísmicos previstos en un determinado lugar. Lo usual en la mayoría de los códigos prescriptivos de diseño se considera un espectro de diseño en un suelo duro o roca, sin considerar la estratigrafía del sitio. En situaciones donde existen suelos blandos con depósitos profundos, los códigos de diseño por ejemplo, toman en cuenta la amplificación de la onda sísmica al incorporar parámetros locales en el espectro de diseño según; (American Society of Civil Engineers [ASCE], 2005, secciones 11.4.3, 11.8, capítulo 21).

Por ejemplo, la zona de Panamá central posee un fallamiento predominantemente transcurrente, siendo las fallas más importantes, por su longitud, la de Pedro Miguel, lateral derecha con rumbo Noroeste a Sureste (NNW-SSE) y la de Gatún, lateral izquierda con rumbo que va desde el Oeste-Suroeste hacia el Este-Noreste (WSW-ENE) (Camacho et al., 2010; Goswami et al.,



2019; Bourke et al., 2023). En esta región también existe una falla de rumbo sinistral, la Falla de Las Perlas o San Miguel, que se extiende con rumbo Noroeste a Sureste (NNW-SSE) desde el Archipiélago de las Perlas, atravesando la Bahía de Panamá y que se presume originó el sismo de 1971, Magnitud 5.6. Estudios paleo-sismológicos recientes realizados con motivo de los trabajos de ampliación del Canal de Panamá han logrado determinar que Panamá central posee un fallamiento activo predominantemente transcurrente (Camacho et al., 2010; Rockwell et al., 2010). Debido a todas estas condiciones específicas en la zonificación sísmica de Panamá. Podemos entonces mencionar que si existe una amenaza sísmica para la ciudad de Panamá y que esta se encuentra presente en su contexto en la reglamentación estructural local. Por tal motivo debe ser considerada mediante un análisis de espectro de respuesta para nuestra ciudad. Los espectros de diseño se derivan del análisis estadístico de datos de diferentes registros de eventos sísmicos, por su propia naturaleza, no pueden ser idénticos, lo que implica la necesidad de normalizarse de alguna manera. Existen diversos procedimientos, entre los que sobresalen la normalización de datos considerando la relación de intensidad espectral, los parámetros máximos de sitio como la aceleración, velocidad o desplazamiento.

## **METODOLOGÍA**

Uno de los principales desafíos en la sismología aplicada a la ingeniería es calcular el comportamiento de una estructura ante movimientos del terreno. Para simplificar este problema, se utiliza el "espectro de diseño de respuesta". Este espectro, basado en valores medios de varios escenarios sísmicos, ayuda en el diseño sísmico práctico de estructuras en sitios específicos. Los valores espectrales se obtienen analizando registros de terremotos y reflejan la relación promedio entre distintos parámetros sísmicos del terreno. "Los espectros de respuesta se derivan del análisis de múltiples registros de movimientos del suelo y se utilizan para estimar la respuesta sísmica promedio de una estructura bajo diferentes escenarios de terremotos" (Naeim, 1999, p. 52).

Para un lugar específico, se ajustan a la aceleración máxima de diseño, que depende de la peligrosidad sísmica de cada región. El espectro simplificado se obtiene multiplicando cada rama de los parámetros del terreno por un factor de amplificación que depende del coeficiente de amortiguamiento de la estructura y de la probabilidad de que un terremoto supere un cierto nivel de intensidad (como la aceleración máxima de diseño) en un periodo de tiempo determinado.



En diseño sísmico, se define un umbral de probabilidad (por ejemplo, un 10% en 50 años) que indica la frecuencia con la que se espera que ocurra un evento sísmico que supere ese nivel de intensidad. James M. Kelly (1998) señala que el análisis probabilístico de la peligrosidad sísmica es fundamental para definir el nivel de diseño sísmico y la respuesta estructural ante terremotos. En su libro *Earthquake Resistant Design with Rubber*, específicamente en los capítulos 3, el autor explica cómo estos conceptos influyen en la seguridad y desempeño de las estructuras ante eventos sísmicos.

De acuerdo con el ASCE 7-05 (*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*) y varios códigos de diseño descriptivo, conceptual mente el estudio de la peligrosidad sísmica facilita la determinación de los parámetros de seguridad apropiados para las construcciones, basándose en los riesgos sísmicos de la zona.

Para el diseño sísmico de estructuras de importancia normal, se recomienda utilizar los valores correspondientes a una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, lo que equivale a un período de retorno de aproximadamente 475 años (ASCE, 2005, Sección 11.4.5).

Basándose en estos conceptos, los códigos de diseño definen espectros de respuesta para todas las diferentes regiones de su territorio de aplicación. Por ejemplo, para Panamá.

De acuerdo con el ASCE 7-05, el espectro de diseño sísmico se define a partir de las aceleraciones espectrales  $S_{DS}$  y  $S_{D1}$ , las cuales se calculan como dos tercios de las aceleraciones espectrales de referencia  $S_s$  (representa la aceleración espectral máxima para un período de oscilación corto (aproximadamente 0.2 segundos) y  $S_1$ , (representa la aceleración espectral máxima para un período de oscilación largo (aproximadamente 1.0 segundo) respectivamente (ASCE, 2005, Sección 11.4.5).

de una manera más simple, el espectro de respuesta se utiliza para determinar las aceleraciones de respuesta espectral de diseño para una estructura dada.

Después de calcular los coeficientes de aceleración de la respuesta de diseño  $S_{DS}$  y  $S_{D1}$ , la curva del espectro, para estimar la respuesta de diseño debe construirse como se explica a continuación:

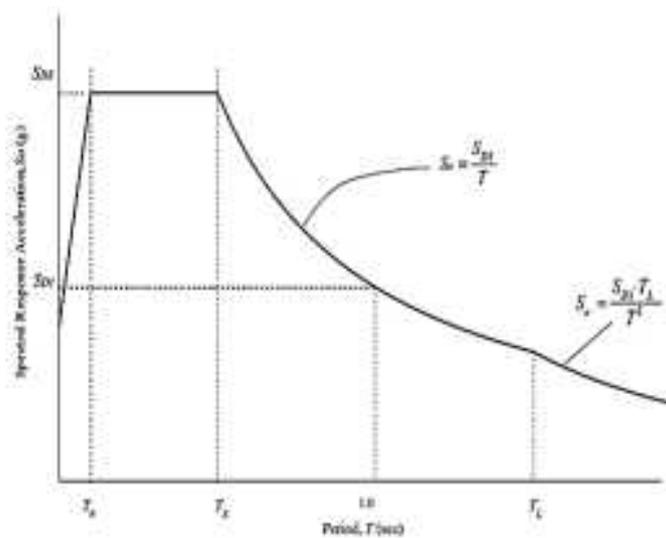
El espectro descrito en el Capítulo 11, del ASCE 7-05, 7-10. es un espectro de respuesta de enfoque probabilístico.



Para cada sitio específico, se define un Máximo Terremoto considerado (MCE) (un suceso con una probabilidad de superación del 2% en 50 años o un  $T_r = 2475$  años). El terremoto de diseño es 2/3 del MCE.

**Figura 2**

*Espectro de respuesta de diseño simplificado según ASCE 7-05/ ASCE 7-10. Sección 11*

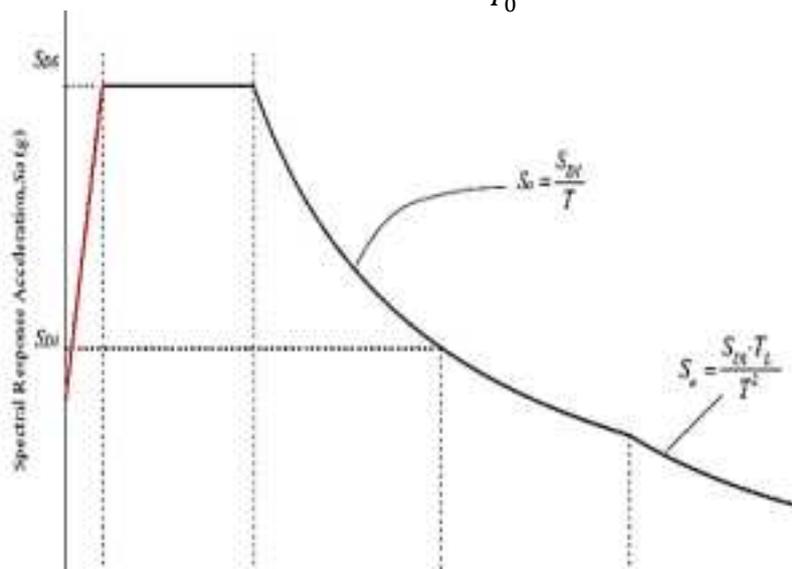


Para períodos inferiores a  $T_0$ , la aceleración de respuesta espectral de diseño,  $S_a$ , se tomará como la dada la siguiente ecuación, ver la figura 3.

**Figura 3**

*Tramo del espectro construido con la ecuación. (ASCE, 2005, Sección 11.4.5)*

$$S_a = S_{DS} \left( 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$



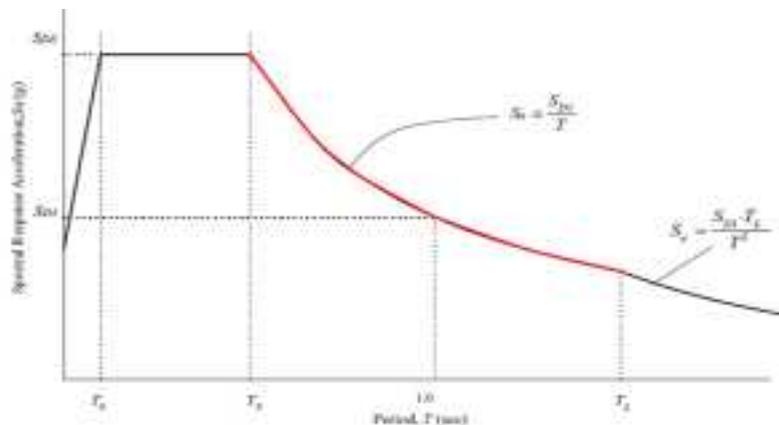


Para períodos mayores o iguales que  $T_0$  y menores o iguales que a  $T_s$ , la aceleración de respuesta espectral de diseño,  $S_a$ , se tomará igual a  $S_{D1}$ . Para períodos superiores a  $T_s$ , e inferiores o iguales a  $T_L$ , la aceleración de respuesta espectral de diseño,  $S_a$ , se tomará como la dada la siguiente ecuación. Ver figura 4.

**Figura 4**

*Tramo del espectro construido con la ecuación. (ASCE, 2005, Sección 11.4.6)*

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$



Para períodos superiores a  $T_L$ , la aceleración de respuesta espectral de diseño,  $S_a$ , se tomará como la dada la siguiente ecuación. Tramo del espectro construido con la ecuación. (ASCE, 2005, Sección 11.4.7)

$$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2}$$

De manera general, el movimiento del suelo durante un terremoto se registra como una aceleración en un punto determinado. Esta aceleración induce la aceleración de respuesta en la estructura, generando fuerzas inerciales sísmicas que actúan sobre ella. Estas fuerzas provocan deformaciones, esfuerzos internos y tensiones en los elementos estructurales. Por ello, el primer paso en el diseño de una estructura antisísmica es determinar la aceleración de respuesta máxima que podría experimentarse durante un sismo. Además, es fundamental evaluar cómo responderá la estructura ante este movimiento, lo que depende de su período de vibración y sus características de amortiguación.



## CONCLUSIONES

El espectro de respuesta sísmica es una herramienta esencial en la ingeniería estructural, ya que permite evaluar el impacto de los terremotos en las infraestructuras de obras civiles y garantizar un diseño adecuado basado en la demanda sísmica esperada. Su correcta aplicación es clave para mejorar la seguridad y estabilidad estructural de las construcciones en Panamá, considerando la actividad sísmica del país.

El espectro de diseño definido en el ASCE 7-05/7-10 representa la aceleración máxima esperada en función del período de vibración de la estructura. Esta curva muestra la aceleración espectral frente al período fundamental, reflejando cómo varía la aceleración máxima esperada según la flexibilidad o rigidez de la edificación. Su aplicación permite determinar las fuerzas sísmicas de diseño, para garantizar la seguridad y estabilidad estructural.

El espectro de diseño se ajusta según la zona sísmica y la importancia de la edificación. En áreas de alta actividad sísmica, los valores de aceleración son mayores, mientras que, en zonas menos sísmicas, las aceleraciones esperadas son menores. También es importante comprender que existen componentes como el espectro de aceleración y el espectro de velocidad, los cuales se emplean para evaluar distintos aspectos de la respuesta dinámica de las estructuras.

Los ingenieros utilizan el espectro de diseño para modelar las fuerzas sísmicas que actuarán sobre una estructura, lo que permite diseñar elementos estructurales capaces de soportar las cargas sísmicas esperadas. Aunque en Panamá los sismos de gran magnitud no son frecuentes, esto no significa que la amenaza sísmica sea inexistente.

Por el contrario, es crucial que las edificaciones e infraestructuras grandes cumplan con los estándares de diseño sísmico.

Los profesionales del sector deben familiarizarse con los conceptos y normativas que rigen el diseño sismorresistente en el país. El conocimiento y la correcta aplicación de estas herramientas contribuyen a reducir el riesgo estructural y a mejorar la seguridad de las construcciones ante posibles eventos sísmicos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Algermissen, S. T., & Perkins, D. M. (1976). A probabilistic estimate of maximum acceleration in rock in the contiguous United States (U.S. Geological Survey Open-File Report 76-416, pp. 36–45). U.S. Geological Survey.
- Alva, J., Meneses, J., & Guzmán, V. (1984). Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú [Paper presentation]. V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2006). *Minimum design loads for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-05)*. Capítulo 11: Seismic criteria (pp. 115-116).
- Anderson, J. G., & Trifunac, M. D. (1977). On uniform risk functionals which describe strong earthquake ground motion: Definition, numerical estimation and an application to the Fourier amplitude of acceleration (Report No. CE 77-02). Department of Civil Engineering, University of Southern California.
- Anderson, J. G., & Trifunac, M. D. (1978). Uniform risk functionals for characterization of strong earthquake ground motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 68(4), 1205–1218.
- Applied Technology Council (ATC). (1997). NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA 273). Federal Emergency Management Agency.
- Benjamin, J. R., & Cornell, C. A. (1970). Probability, statistics, and decision for civil engineers (pp. 650-685). McGraw-Hill Book Company.
- Committee on Seismic Risk. (1984). Glossary of terms for probabilistic seismic-risk and hazard analysis. *Earthquake Spectra*, 1(1), 33–40. <https://doi.org/10.1193/1.1585255>
- Dowrick, J., Gibson, G., & McCue, K. (1995). Seismic hazard in Australia and New Zealand. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 28(4), 279-287. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.28.4.279-287>
- Gupta, V. K., & Trifunac, M. D. (1991). Seismic response of multistoried buildings including the effects of soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 10(8), 414–422. [https://doi.org/10.1016/0267-7261\(91\)90056-6](https://doi.org/10.1016/0267-7261(91)90056-6)
- Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura. (2022). Reglamento para el Diseño Estructural Panameño (REP-2021). Gaceta Oficial Digital, No. 29594-A. [https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29594\\_A/83985.pdf](https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29594_A/83985.pdf)
- Kelly, J. M. (1998). Earthquake engineering for structural designers (Capítulos 3 y 5). John Wiley & Sons.
- Muñoz Peláez, A. (2002). Ingeniería sismorresistente. Pontificia Universidad Católica del Perú. ISBN-13: 978-612-00-1175-1.



- Newmark, N. M., & Hall, W. J. (1982). Earthquake spectra and design. University of California, Department of Civil Engineering.
- Paulay, T., & Priestley, M. J. N. (1992). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. John Wiley & Sons.
- Riddell, R., & Newmark, N. M. (1979). Statistical analysis of the response of nonlinear systems subjected to earthquakes. University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Civil Engineering.
- Structural Engineers Association of California (SEAOC). (1999). Recommended lateral force requirements and commentary (7th ed.).
- Vere-Jones, D., & Ogata, Y. (2003). Statistical principles for seismologists. In W. H. K. Lee, H. Kanamori, P. C. Jennings, & C. Kisslinger (Eds.), *International handbook of earthquake and engineering seismology* (Vol. 81B, pp. 1573–1606). Academic Press.
- Wiemer, S., & Katsumata, K. (1999). Spatial variability of seismicity parameters in aftershock zones. *Journal of Geophysical Research*, 103(B13), 13135–13151. <https://doi.org/10.1029/1999JB900032>
- Wiemer, S., & Wyss, M. (2000). Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the western United States, and Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(4), 859–869. <https://doi.org/10.1785/0119990114>
- Youngs, R. R., Abrahamson, N. A., Makdisi, F., & Sadigh, K. (1995). Magnitude dependent dispersion in peak ground acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85(4), 1161–1176. <https://doi.org/10.1785/BSSA0850041161>
- Youngs, R. R., & Coppersmith, K. J. (1985). Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard assessments. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75(4), 939–964. <https://doi.org/10.1785/BSSA0750040939>
- Youngs, R. R., Chiou, S. J., Silva, W. J., & Humphrey, J. R. (1997). Strong ground motion attenuation relationship for subduction zone earthquakes. *Seismological Research Letters*, 68(1), 58–73. <https://doi.org/10.1785/gssrl.68.1.58>



Revista Especializada de Ingeniería  
y Ciencias de la Tierra

VOL: 5 N° 1 Julio - Diciembre 2025

ISSN L: 2805-1874

---

## Hacia un Modelo de Gobernanza de Datos: Diagnóstico y Recomendaciones para el Centro Regional Universitario de San Miguelito, 2025

### Towards a Data Governance Model: Diagnosis and Recommendations for the San Miguelito Regional University Center, 2025

Javier Garrido Córdoba

Universidad de Panamá. Centro Regional Universitario de San Miguelito. Panamá

Javier.garrido@up.ac.pa.

<https://orcid.org/0009-0000-4234-5267>

**Recibido: 9/2/2025 Aceptado: 10/6/2025**

DOI <https://doi.org/10.48204/reicit.v5n1.7682>

#### RESUMEN

La gestión efectiva de datos se ha convertido en un factor determinante para el éxito institucional en el ámbito educativo contemporáneo. Este estudio evaluó el nivel de madurez en la gestión de datos en el Centro Regional Universitario de San Miguelito mediante la aplicación del modelo *Data Management Maturity* (DMM) de DAMA. La investigación adoptó un diseño metodológico mixto (cualitativo-cuantitativo) con un enfoque descriptivo-propositivo. La población de estudio estuvo compuesta por 14 administrativos universitarios con responsabilidades directas en la gestión de datos tecnológicos, utilizando un muestreo no probabilístico intencional. Para la recolección de datos, se utilizó un cuestionario basado en el modelo de madurez de datos de Gartner (*Data Management Maturity Model* o DMM de DAMA), complementado con la revisión documental. Los resultados revelaron que la institución se encuentra en un nivel intermedio de madurez, con fortalezas en la gestión básica de datos, pero con debilidades en la integración de sistemas, la calidad de la información y la gobernanza de datos. Se identificaron barreras como la falta de capacitación



del personal y la ausencia de políticas claras. Con base en estos hallazgos, se proponen estrategias para fortalecer la gobernanza, mejorar la calidad de los datos, integrar sistemas y capacitar al personal. En conclusión, este estudio proporciona una evaluación integral del nivel de madurez en la gestión de datos en el Centro Regional Universitario de San Miguelito y ofrece recomendaciones prácticas para optimizar sus procesos.

**Palabras clave:** gestión de datos, madurez en gestión de datos, DMM, universidades, estrategias de mejora.

## ABSTRACT

Effective data management has become a determining factor for institutional success in contemporary education. This study assessed the level of data management maturity at the San Miguelito Regional University Center by applying DAMA's Data Management Maturity (DMM) model. The research adopted a mixed methodological design (qualitative-quantitative) with a descriptive-propositional approach. The study population consisted of 14 university administrators with direct responsibilities in technological data management, using purposive non-probability sampling. Data collection was carried out using a questionnaire based on Gartner's data maturity model (DAMA's Data Management Maturity Model or DMM), complemented by a document review. The results revealed that the institution is at an intermediate level of maturity, with strengths in basic data management, but weaknesses in systems integration, information quality, and data governance. Barriers such as a lack of staff training and a lack of clear policies were identified. Based on these findings, strategies are proposed to strengthen governance, improve data quality, integrate systems, and train staff. In conclusion, this study provides a comprehensive assessment of the data management maturity level at the San Miguelito Regional University Center and offers practical recommendations for optimizing its processes.

**Keywords:** data management, data management maturity, DMM, universities, improvement strategies.

## INTRODUCCIÓN

En la era de la información, la gestión de datos se ha convertido en un elemento crítico para el éxito de las organizaciones, incluyendo las instituciones de educación superior. Las universidades, como entidades generadoras y consumidoras de grandes volúmenes de datos, enfrentan el desafío de gestionar eficientemente información relacionada con estudiantes, investigación, administración, finanzas y servicios académicos (Smith y Johnson, 2020). Sin embargo, la complejidad de estos procesos ha llevado a que muchas instituciones,



especialmente aquellas en regiones con recursos limitados, enfrenten dificultades para alcanzar un nivel óptimo de madurez en la gestión de datos, lo que limita su capacidad para aprovechar el potencial de la información como un activo estratégico (García y López, 2021).

En el caso específico del Centro Regional Universitario de San Miguelito (CRUSAM), se ha identificado como un desafío significativo en la gestión de datos. Aunque la institución ha realizado esfuerzos para modernizar sus sistemas de información, persisten problemas relacionados con la integración de datos, la calidad de la información y la falta de una cultura organizacional orientada al uso estratégico de los datos. Por ejemplo, los datos académicos y administrativos suelen estar almacenados en sistemas independientes, lo que dificulta su consolidación y análisis. Además, la falta de estándares claros para la recopilación y el procesamiento de datos ha llevado a inconsistencias en la información, lo que afecta la confiabilidad de los informes y la toma de decisiones.

Estos problemas no son exclusivos del CRUSAM, sino que reflejan una tendencia más amplia en instituciones educativas de similar envergadura. Estudios como el de Warschauer (2003) han demostrado que la falta de madurez en la gestión de datos puede tener un impacto negativo en la calidad de los servicios educativos, la eficiencia administrativa y la capacidad de las instituciones para responder a las demandas de un entorno cada vez más competitivo. Por lo tanto, es fundamental abordar estos desafíos desde una perspectiva integral que considere tanto los aspectos técnicos como los organizacionales y culturales.

La madurez en la gestión de datos ha ganado reconocimiento mundial como un factor clave para la eficiencia organizacional y la toma de decisiones informada. Desde principios del siglo XXI, el crecimiento exponencial de los datos y el avance de las tecnologías de la información han impulsado a muchas organizaciones a adoptar prácticas y modelos de madurez de datos. El concepto de madurez en la gestión de datos se refiere al grado en que una organización ha desarrollado sus capacidades para gestionar datos de manera efectiva, desde su recopilación y almacenamiento hasta su análisis y uso para la toma de decisiones (Ladley, 2020).

Modelos como el Data Management Maturity Model (DMM) y el Capability Maturity Model Integration (CMMI) han sido ampliamente utilizados para evaluar este aspecto en diversos



sectores, incluyendo el empresarial y gubernamental (IBM, 2019). Estos modelos permiten identificar el nivel de desarrollo de las prácticas de gestión de datos y proporcionan un marco para implementar mejoras progresivas. Sin embargo, su aplicación en el ámbito universitario, particularmente en centros regionales con recursos limitados, ha sido escasa, lo que dificulta la identificación de brechas y la implementación de estrategias efectivas (Martínez et al., 2022).

En el contexto latinoamericano, la gestión de datos en instituciones educativas enfrenta desafíos adicionales, como la falta de infraestructura tecnológica adecuada, la escasa capacitación del personal en habilidades digitales y la ausencia de políticas claras de gobernanza de datos (Hilbert, 2019). Por ejemplo, un estudio realizado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2022) reveló que solo el 40% de las universidades en la región cuentan con sistemas integrados de gestión de datos, mientras que el resto depende de herramientas fragmentadas y poco eficientes. Esta situación no solo afecta la eficiencia operativa de las instituciones, sino que también limita su capacidad para competir en un entorno educativo cada vez más globalizado y basado en datos.

A pesar de la creciente importancia de la gestión de datos en el ámbito universitario, el CRUSAM enfrenta desafíos significativos en este ámbito. La falta de una evaluación integral del nivel de madurez en la gestión de datos dificulta la identificación de brechas y la implementación de estrategias efectivas para optimizar el uso de la información. Problemas como la fragmentación de los sistemas de información, la falta de estándares claros para la recopilación y procesamiento de datos, y la ausencia de una cultura organizacional orientada al uso estratégico de los datos, limitan la capacidad de la institución para aprovechar plenamente sus datos como un activo estratégico (Pérez, 2023).

Esta situación no solo afecta la eficiencia operativa y la calidad de los servicios académicos, sino que también limita la capacidad de la institución para competir en un entorno educativo cada vez más digitalizado y basado en datos. Por lo tanto, es necesario realizar una evaluación integral del nivel de madurez en la gestión de datos en el CRUSAM, con el fin de identificar áreas críticas que requieren mejora y proponer estrategias específicas para optimizar la gestión de datos. De esta manera, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el nivel de madurez en la gestión de datos en el Centro Regional Universitario de San



Miguelito, y qué estrategias pueden implementarse para mejorar su capacidad de gestión y aprovechamiento de la información?

La evaluación del nivel de madurez en la gestión de datos en el CRUSAM es de vital importancia por varias razones. En primer lugar, la gestión eficiente de datos es un factor clave para mejorar la eficiencia operativa, la calidad de los servicios académicos y la toma de decisiones basada en evidencia (Wang et al., 2018). En un entorno educativo cada vez más competitivo y digitalizado, las instituciones que no aprovechen plenamente sus datos corren el riesgo de quedarse atrás en términos de innovación y capacidad de respuesta a las demandas del mercado laboral y la sociedad (Smith y Johnson, 2020).

En segundo lugar, este estudio contribuirá a llenar un vacío en la literatura existente, ya que la mayoría de las investigaciones sobre madurez en la gestión de datos se han centrado en sectores empresariales y gubernamentales, con poca atención a las instituciones educativas, especialmente en contextos regionales y con recursos limitados (García y López, 2021). Al proporcionar un caso de estudio detallado, esta investigación no solo beneficia al CRUSAM, sino que también servirá como referencia para otras instituciones con características similares.

Finalmente, los resultados de este estudio permitirán identificar áreas críticas que requieren mejora y proponer estrategias específicas para optimizar la gestión de datos. Esto tendrá un impacto directo en la capacidad de la institución para cumplir con su misión educativa y de investigación, así como para fortalecer su posición en el ámbito universitario nacional e internacional (Hernández et al., 2021).

## **METODOLOGÍA**

Este estudio adopta un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), ya que combina el análisis de datos numéricos con la interpretación de información cualitativa para obtener una comprensión integral del nivel de madurez en la gestión de datos en el Centro Regional Universitario de San Miguelito (CRUSAM). Este enfoque permite no solo medir el estado actual de la gestión de datos, sino también comprender los factores contextuales y organizacionales que influyen en su eficiencia.



El diseño de la investigación es descriptivo y propositivo, ya que busca describir el nivel de madurez en la gestión de datos y, a partir de los hallazgos, proponer estrategias de mejora. Se utiliza un estudio descriptivo intencional, centrado en el personal administrativo del CRUSAM que participaron voluntariamente en el estudio, lo que permite un análisis detallado y contextualizado de la problemática. La población de estudio estuvo constituida por catorce (14) administrativos universitarios que además ejercen cargos que involucra directamente la tecnología específicamente el uso de datos en el Centro Regional Universitario de San Miguelito. La muestra correspondió a los 14 administrativos, aplicando un muestreo de tipo no probabilístico intencional aleatoria de selección simple, pues, se tomaron en cuenta a los administrativos que trabajan directamente con la gestión de datos en la organización de educación superior para ser partícipes del estudio. Para la recolección de datos, se utilizó el cuestionario basado en el modelo de madurez de datos de Gartner o el DMM de DAMA, para medir el nivel de madurez de gestión de datos en diferentes áreas de la institución. Posteriormente se utilizaron técnicas estadísticas descriptivas y exploratorias para analizar los datos cuantitativos, identificando patrones, tendencias y correlaciones. Para los datos cualitativos, se empleó el análisis de contenido temático, que permitió identificar temas recurrentes y factores contextuales que influyen en la gestión de datos. La triangulación de datos ayudó a validar los hallazgos y asegurar la precisión y coherencia de las conclusiones.

## **Resultados**

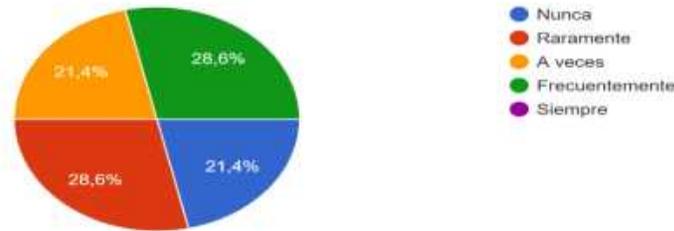
Los resultados del estudio se presentan en una serie de tablas que reflejan el nivel de madurez en la gestión de datos en el CRUSAM, así como las áreas críticas que requieren mejora. A continuación, se describen los hallazgos más relevantes.

### **Tabla 1.**

*Frecuencia con que se utilizan los datos históricos para generar informes y análisis*



14 respuestas



El análisis de los datos proporcionados sobre la frecuencia con la que un departamento utiliza datos históricos para generar informes y análisis revela que un 21.4% de los encuestados indicó que su departamento nunca utiliza datos históricos para generar informes y análisis. Esto sugiere que una parte significativa de los departamentos no está aprovechando la información pasada para tomar decisiones o realizar análisis, lo que podría indicar una falta de integración de datos históricos en sus procesos o una preferencia por datos más actuales. El 28.6% de los encuestados respondió que raramente utilizan datos históricos. Esto indica que, aunque no es una práctica común, en ocasiones sí recurren a información pasada. Esto podría deberse a que solo lo hacen en situaciones específicas o cuando no hay datos más recientes disponibles. Otro 28.6% de los encuestados afirmó que utilizan datos históricos con frecuencia. Esto muestra que una parte importante del departamento sí valora y utiliza regularmente la información pasada para sus análisis e informes, lo que sugiere una cultura de toma de decisiones basada en datos históricos. El 21.4% de los encuestados respondió que a veces utilizan datos históricos. Esto indica que, aunque no es una práctica constante, sí recurren a ellos en ciertas ocasiones, lo que podría depender de la naturaleza del informe o análisis que estén realizando. Por último se aprecia que los encuestados indican que no siempre utilizan datos históricos. Esto sugiere que, aunque algunos departamentos los usan con frecuencia, no hay una dependencia total de los datos históricos en ningún caso.

Análisis.



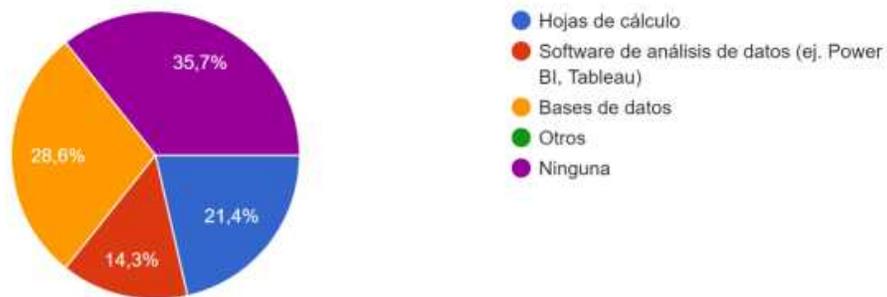
Un 50% de los encuestados (sumando "Nunca" y "Raramente") indicó que no utiliza o casi no utiliza datos históricos, es decir existe un uso limitado de datos históricos. Esto podría ser una oportunidad perdida para mejorar la toma de decisiones basada en tendencias y patrones pasados.

De esta misma manera, un 50% adicional (sumando "Frecuentemente" y "A veces") sí utiliza datos históricos, aunque con diferentes niveles de frecuencia. Esto indica que, en general, hay una división equitativa entre los que valoran los datos históricos y los que no. El hecho de que nadie respondió "Siempre" sugiere que los datos históricos no son el único recurso utilizado, lo cual puede ser positivo si se combinan con datos actuales para un análisis más completo.

## Tabla 2.

### *Herramientas que se utilizan para la recopilación y análisis de datos históricos*

14 respuestas



La tabla 2 indica que el 21.4% de los encuestados reveló que su departamento utiliza hojas de cálculo para la recopilación y análisis de datos históricos. Las hojas de cálculo son una herramienta común y accesible, pero pueden ser limitadas en términos de capacidad de análisis avanzado y manejo de grandes volúmenes de datos. Este porcentaje sugiere que una parte significativa de los departamentos depende de herramientas básicas para el análisis de datos históricos. El 14.3% de los encuestados respondió que utilizan software de análisis de datos, como Power BI o Tableau. Estas herramientas son más avanzadas y permiten un análisis más profundo y visualización de datos, lo que puede mejorar la capacidad de los



departamentos para entender y comunicar los datos históricos. Sin embargo, este porcentaje relativamente bajo indica que solo una minoría de los departamentos está aprovechando estas herramientas más sofisticadas.

El 28.6% de los encuestados afirmó que utilizan bases de datos para la recopilación y análisis de datos históricos. Las bases de datos son esenciales para almacenar y gestionar grandes volúmenes de datos, y su uso sugiere que estos departamentos tienen una infraestructura más robusta para el manejo de datos históricos. Sin embargo, el análisis de datos dentro de las bases de datos puede requerir habilidades técnicas específicas. Un 35.7% de los encuestados respondió que no utilizan ninguna herramienta específica para la recopilación y análisis de datos históricos. Este es el porcentaje más alto y es preocupante, ya que indica que una parte significativa de los departamentos no está utilizando herramientas adecuadas para el análisis de datos históricos. Esto podría limitar su capacidad para tomar decisiones informadas basadas en datos pasados.

### Análisis

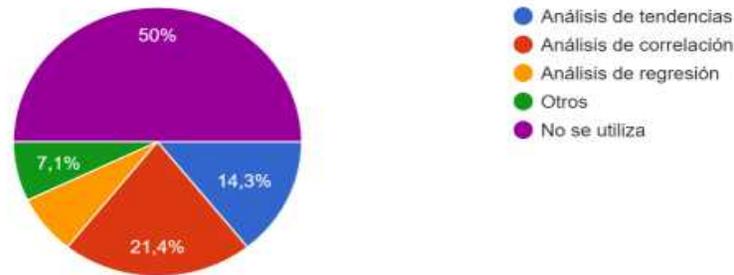
De acuerdo con los resultados un 21.4% utiliza hojas de cálculo, lo que indica una dependencia de herramientas básicas y accesibles, pero limitadas en capacidades analíticas avanzadas. Solo el 14.3% utiliza software de análisis de datos, lo que sugiere que una minoría de los departamentos está aprovechando herramientas más sofisticadas para el análisis de datos históricos. El 28.6% que utiliza bases de datos indica que algunos departamentos tienen una infraestructura más robusta para el manejo de datos históricos, aunque el análisis dentro de estas bases de datos puede requerir habilidades técnicas específicas. El 35.7% que no utiliza ninguna herramienta específica es preocupante y sugiere una falta de recursos, conocimiento o priorización en el análisis de datos históricos en una parte significativa de los departamentos.

### **Tabla 3.**

*Métodos para identificar las causas subyacentes de los problemas observados*



14 respuestas



La tabla indica que un 14.3% de los encuestados indicó que su departamento utiliza el análisis de tendencias para identificar las causas subyacentes de los problemas observados. El análisis de tendencias es útil para identificar patrones a lo largo del tiempo, lo que puede ayudar a entender las causas de los problemas. Sin embargo, este porcentaje relativamente bajo sugiere que solo una minoría de los departamentos está aprovechando este método. El 21.4% de los encuestados respondió que utilizan el análisis de correlación. Este método es útil para identificar relaciones entre diferentes variables, lo que puede ayudar a entender las causas subyacentes de los problemas. Aunque este porcentaje es más alto que el del análisis de tendencias, aún indica que solo una parte de los departamentos está utilizando este método. El 7.1% de los encuestados afirmó que utilizan otros métodos para identificar las causas subyacentes de los problemas observados. Este porcentaje es muy bajo y sugiere que solo una pequeña fracción de los departamentos está utilizando métodos alternativos o específicos para este propósito. Un 50% de los encuestados respondió que no utilizan ningún método para identificar las causas subyacentes de los problemas observados. Este es el porcentaje más alto y es preocupante, ya que indica que la mitad de los departamentos no está utilizando métodos sistemáticos para entender las causas de los problemas. Esto podría limitar su capacidad para resolver problemas de manera efectiva y tomar decisiones informadas.

Analisis

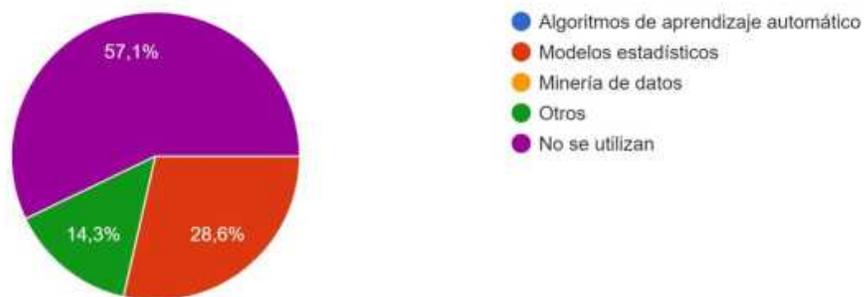


Solo el 35.7% de los encuestados (sumando "Análisis de tendencias" y "Análisis de correlación") indicó que utilizan métodos analíticos para identificar las causas subyacentes de los problemas. Esto sugiere que una minoría de los departamentos está aprovechando métodos estructurados para entender los problemas. El 50% que no utiliza ningún método es preocupante y sugiere que la mayoría de los departamentos no está utilizando enfoques sistemáticos para identificar las causas subyacentes de los problemas. Esto podría resultar en soluciones superficiales o inefectivas. Solo el 7.1% utiliza otros métodos, lo que indica que muy pocos departamentos están explorando alternativas o métodos específicos para este propósito.

#### Tabla 4

##### *Herramientas o Técnicas de analisis predictivo*

14 respuestas



Según la tabla 6 el 57.1% de los encuestados respondió que algunos algoritmos de aprendizaje automático, el 28.6 % respondió que la herramienta que utilizan son los modelos estadísticos, el 14.3% indica que utilizan otras herramientas o técnicas de analisis predictivos, y un gran porcentaje de los encuestados, 57.1 indicó que no utilizan herramientas o técnicas de analisis predictivo en su departamento y por último no hubo respuestas para la minería de datos.

#### Análisis



El análisis de los datos proporcionados sobre las herramientas o técnicas de análisis predictivo utilizadas por los departamentos revela una situación mixta, con un uso significativo de algunas técnicas avanzadas, pero también una falta generalizada de adopción de estas herramientas en una gran parte de los departamentos. De acuerdo con los resultados, el 57.1% de los encuestados indicó que utilizan algunos algoritmos de aprendizaje automático (machine learning). Este es el porcentaje más alto y sugiere que una mayoría relativa de los departamentos está adoptando técnicas avanzadas de análisis predictivo. El aprendizaje automático es una herramienta poderosa para predecir tendencias, clasificar datos y tomar decisiones basadas en patrones complejos. Su uso indica que estos departamentos están aprovechando tecnologías modernas para mejorar su capacidad predictiva. Aunque este porcentaje es alto, es importante notar que no todos los departamentos están utilizando estas técnicas, lo que sugiere una brecha en la adopción de tecnologías avanzadas. Por otro lado, el 28.6% de los encuestados respondió que utilizan modelos estadísticos para el análisis predictivo. Los modelos estadísticos son una técnica tradicional pero efectiva para predecir resultados basados en datos históricos. Este porcentaje indica que una parte significativa de los departamentos está utilizando métodos probados y confiables para el análisis predictivo, aunque no tan avanzados como el aprendizaje automático. Los modelos estadísticos pueden ser menos flexibles que los algoritmos de machine learning, especialmente cuando se trata de grandes volúmenes de datos o relaciones no lineales. El 14.3% de los encuestados indicó que utilizan otras herramientas o técnicas de análisis predictivo. Este porcentaje es relativamente bajo y sugiere que solo una minoría de los departamentos está explorando alternativas más allá del aprendizaje automático y los modelos estadísticos. Este grupo podría estar utilizando técnicas como análisis de series temporales, simulaciones, o herramientas específicas de su industria. Sin embargo, la falta de detalle en las respuestas limita la capacidad de entender exactamente qué técnicas están siendo utilizadas. El 57.1% de los encuestados respondió que no utilizan herramientas o técnicas de análisis predictivo en su departamento. Este es un porcentaje preocupantemente alto y coincide con el porcentaje que sí utiliza aprendizaje automático (57.1%). Esto sugiere que, aunque algunos departamentos están adoptando técnicas avanzadas, una gran parte no está utilizando ningún tipo de análisis predictivo. La falta de uso de análisis predictivo limita la capacidad de estos departamentos para anticipar eventos futuros, tomar decisiones proactivas y optimizar sus operaciones. Esto



puede resultar en una desventaja competitiva, especialmente en industrias donde la predicción es clave.

No hubo respuestas que indicaran el uso de minería de datos. Esto es llamativo, ya que la minería de datos es una técnica fundamental para descubrir patrones y relaciones en grandes conjuntos de datos, y es a menudo un precursor del análisis predictivo. La falta de uso de minería de datos sugiere que muchos departamentos no están explorando sus datos de manera profunda, lo que limita su capacidad para identificar insights valiosos que podrían alimentar modelos predictivos.

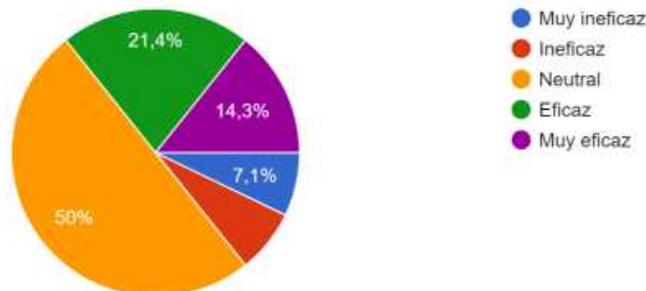
Es importante notar que el 57.1% que utiliza aprendizaje automático y el 57.1% que no utiliza ninguna herramienta predictiva podrían ser grupos distintos, lo que indicaría una polarización en la adopción de tecnologías predictivas. Es decir, algunos departamentos están muy avanzados, mientras que otros no han adoptado ninguna técnica.

La falta de uso de análisis predictivo en más de la mitad de los departamentos sugiere una brecha significativa en la adopción de tecnologías avanzadas. Esto podría deberse a falta de recursos, conocimiento, o una cultura organizacional que no prioriza el uso de datos predictivos. La ausencia total de respuestas sobre minería de datos indica una oportunidad para que los departamentos exploren esta técnica como un primer paso hacia el análisis predictivo.

## Tabla 5

### *Eficacia del uso de datos para la toma de decisiones estratégicas*

14 respuestas





El análisis estadístico sobre la Percepción de la eficacia del uso de datos para la toma de decisiones estratégicas indica que el 21.4% de los encuestados considera que el uso de datos en su departamento para la toma de decisiones estratégicas es eficaz. Esto revela que una parte significativa de los encuestados percibe que los datos están siendo utilizados de manera adecuada para apoyar decisiones estratégicas. El 14.3% de los encuestados considera que el uso de datos es muy eficaz. Este grupo refleja una percepción altamente positiva sobre la capacidad de los datos para influir en las decisiones estratégicas. Solo el 7.1% de los encuestados considera que el uso de datos es ineficaz. Este porcentaje es bajo, lo que sugiere que una minoría percibe deficiencias en la utilización de datos para la toma de decisiones. La mitad de los encuestados (50%) se mantuvo neutral en su respuesta. Este es el porcentaje más alto y sugiere que una gran parte de los encuestados no tiene una opinión clara o definida sobre la eficacia del uso de datos en su departamento.

#### Análisis

La suma de los porcentajes que consideran el uso de datos como "eficaz" (21.4%) y "muy eficaz" (14.3%) es del 35.7%. Esto indica que aproximadamente un tercio de los encuestados tiene una percepción positiva sobre la eficacia del uso de datos en la toma de decisiones estratégicas. Solo el 7.1% tiene una percepción negativa, lo que sugiere que las críticas hacia el uso de datos son mínimas.

La neutralidad del 50% de los encuestados es el hallazgo más significativo. Esto puede deberse a varias razones: Falta de claridad sobre cómo se utilizan los datos en la toma de decisiones, limitada visibilidad del impacto de los datos en las decisiones estratégicas. Falta de confianza en la calidad o relevancia de los datos utilizados.

La alta proporción de respuestas neutrales (50%) sugiere que existe una oportunidad para mejorar la percepción de la eficacia del uso de datos. Esto podría lograrse mediante una mayor transparencia en cómo se utilizan los datos, capacitación en análisis de datos, y una mejor comunicación sobre el impacto de los datos en las decisiones estratégicas.

Para los encuestados que perciben el uso de datos como eficaz o muy eficaz, es importante continuar fortaleciendo una cultura organizacional que valore y priorice el uso de datos en la toma de decisiones. Aunque el porcentaje de respuestas negativas es bajo (7.1%), es



importante identificar las razones detrás de estas percepciones y abordar las deficiencias en el uso de datos.

El análisis estadístico revela que, aunque un 35.7% de los encuestados percibe el uso de datos como eficaz o muy eficaz, la mitad de los encuestados (50%) se mantiene neutral, lo que indica una falta de claridad o confianza en cómo se utilizan los datos para la toma de decisiones estratégicas. Solo un 7.1% tiene una percepción negativa. Estos hallazgos sugieren que, aunque hay una base positiva, existe una oportunidad significativa para mejorar la percepción y el uso efectivo de los datos en los departamentos.

Para mejorar la eficacia percibida del uso de datos, es esencial: Comunicar claramente el impacto de los datos en las decisiones estratégicas, Capacitar a los empleados en el uso y análisis de datos, Fomentar una cultura organizacional que valore y priorice el uso de datos. De esta manera, mejorar la percepción de la eficacia del uso de datos no solo fortalecerá la toma de decisiones estratégicas, sino que también aumentará la confianza y el compromiso de los empleados con los procesos basados en datos.

## **CONCLUSIONES**

El análisis estadístico revela una división clara entre los departamentos que están adoptando técnicas avanzadas de análisis predictivo (como el aprendizaje automático) y aquellos que no utilizan ninguna herramienta predictiva. Esta brecha sugiere una oportunidad para mejorar la capacidad predictiva de los departamentos, especialmente mediante la adopción de técnicas como la minería de datos y modelos estadísticos. La falta de uso de análisis predictivo en más de la mitad de los departamentos es un área crítica que debe abordarse para mejorar la toma de decisiones y la competitividad organizacional.

Los resultados indican que, aunque el Centro Regional Universitario de San Miguelito ha avanzado en la gestión básica de datos, aún enfrenta desafíos significativos que limitan su capacidad para aprovechar plenamente la información como un activo estratégico. Para alcanzar un nivel óptimo de madurez, es necesario implementar estrategias que aborden la gobernanza, la calidad, la integración de sistemas y la capacitación del personal. Estos hallazgos proporcionan una base sólida para diseñar un plan de mejora que permita a la



institución optimizar sus procesos de gestión de datos y fortalecer su competitividad en el ámbito educativo.

En resumen, los resultados del estudio sugieren que, aunque hay avances en la adopción de prácticas basadas en datos, existe una oportunidad significativa para mejorar la eficacia y la consistencia en el uso de datos en las organizaciones. Esto no solo mejorará la toma de decisiones, sino que también fortalecerá la competitividad y la innovación en un entorno cada vez más orientado a los datos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEPAL. (2022). La brecha digital en América Latina: Desafíos y oportunidades. <https://www.cepal.org>

CMMI Institute. (2014). *Data Management Maturity (DMM) Model*. Carnegie Mellon University.

DAMA International. (2017). *DAMA-DMBOK: Data Management Body of Knowledge* (2nd ed.). Technics Publications.

EDM Council. (2017). *Data Management Capability Assessment Model (DCAM)*. EDM Council.

García, M., & López, J. (2021). *Gestión de datos en instituciones educativas: Desafíos y oportunidades*. Editorial Académica.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2021). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

Hilbert, M. (2019). Digital technology and social change: The digital transformation of society from a historical perspective. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 21(2), 189-194.

IBM. (2019). *Data Management Maturity Model: A framework for assessing data management capabilities*. <https://www.ibm.com>

Ladley, J. (2020). *Data governance: How to design, deploy, and sustain an effective data governance program*. Academic Press.



- Martínez, P., Rodríguez, A., & Gómez, L. (2022). Evaluación de la madurez en la gestión de datos en universidades latinoamericanas. *Revista de Innovación Educativa*, 15(2), 45-60.
- Smith, H. A., & McKeen, J. D. (2020). *Data Management: Creating Value from Data Assets*. Routledge.
- Smith, T., & Johnson, R. (2020). Data management in higher education: Challenges and best practices. *Journal of Educational Technology*, 12(3), 78-92. <https://doi.org/10.xxxx>
- Warschauer, M. (2003). *Technology and social inclusion: Rethinking the digital divide*. MIT Press.
- Wang, R. Y., & Strong, D. M. (1996). Beyond accuracy: What data quality means to data consumers. *Journal of Management Information Systems*, 12(4), 5-33. <https://doi.org/10.1080/07421222.1996.11518099>
- Wang, Y., Kung, L., & Byrd, T. (2018). Big data analytics: Understanding its capabilities and potential benefits for healthcare organizations. *Technological Forecasting and Social Change*, 126, 3-13. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.12.019>



REICIT



Revista Especializada de Ingeniería  
y Ciencias de la Tierra

VOL: 5 N° 1 Julio - Diciembre 2025

ISSN L: 2805-1874

---

## **Diseño Arquitectónico Sostenible para Reducir el Impacto Ambiental en Edificaciones en Panamá, 2025**

### **Sustainable Architectural Design to Reduce Environmental Impact in Buildings in Panama, 2025**

Daniel Champsaur Sánchez

Universidad de Panamá, Facultad de Arquitectura, Panamá

daniel.champsaur@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0002-6509-5322>

DOI [HTTPS://DOI.ORG/10.48204/REICIT.V5N1.7683](https://doi.org/10.48204/REICIT.V5N1.7683)

**Recibido: 9/2/2025 Aceptado: 10/6/2025**

#### **RESUMEN**

Antesala: La importancia en esta investigación radica en la vulnerabilidad que tienen nuestro país ante el cambio climático, el consumo eléctrico, buen uso de materiales atribuido a la industria de la construcción y los beneficios económicos a largo plazo. El objetivo general de esta investigación es el diseñar de forma arquitectónicamente sostenible edificaciones en Panamá en el año 2025 adaptadas para reducir el impacto ambiental. Al referirnos al alcance debemos mencionar que estará enfocado en la eficiencia energética, gestión del agua, uso de materiales sostenibles, reducción de residuos en la construcción y calidad de vida dentro de edificaciones de la ciudad de Panamá en el año 2025. En cuanto a los métodos y técnicas de investigación utilizadas, sería Correlacional-explicativo ya que analizamos cómo ciertas estrategias de diseño sostenible se relacionan con la reducción del impacto ambiental. Mantiene una orientación hacia un enfoque cualitativo bajo un propósito explicativo establecido dentro de un diseño transversal mediante el análisis de textos y casos para



conocer patrones o significados con el fin de interpretar fenómenos que acontecen en nuestra nación. Al referirnos a los principales resultados podemos afirmar que se obtiene: Entre un 30%-70% de ahorro en electricidad con la integración de paneles solares y tecnología eficiente, 30%-80% de reducción en desechos de construcción mediante estrategias de reciclaje, así como uso de materiales sostenibles y surgimiento del 50%-90% de reutilización de materiales en edificaciones modulares o con criterios de economía circular. En conclusión, el diseño arquitectónico sostenible en Panamá no solo responde a la necesidad de mitigar el cambio climático, sino que también genera beneficios económicos y sociales con nuestros coterráneos. Las edificaciones eficientes reducen costos operativos, mejoran la calidad de vida y fomentan una cultura de responsabilidad ambiental, posicionando al país como un referente en desarrollo sostenible en la región.

**PALABRAS CLAVE:** Diseño arquitectónico, sostenible, renovable, confort y materiales de construcción

#### **ABSTRACT**

Anteroom: The importance of this research lies in the vulnerability of our country to climate change, electricity consumption, good use of materials attributed to the construction industry and the long-term economic benefits. The general objective of this research is to design architecturally sustainable buildings in Panama in the year 2025 adapted to reduce environmental impact. When referring to the scope, we must mention that it will be focused on energy efficiency, water management, use of sustainable materials, reduction of waste in construction and quality of life within buildings in Panama City by 2025. As for the research methods and techniques used, it would be correlational-explanatory since we analyze how certain sustainable design strategies are related to the reduction of environmental impact. It maintains an orientation towards a qualitative approach under an explanatory purpose established within a transversal design through the analysis of texts and cases to know patterns or meanings in order to interpret phenomena that occur in our nation. When referring to the main results, we can affirm that the following are obtained: Between 30%-70% savings in electricity with the integration of solar panels and efficient technology, 30%-80% reduction in construction waste through recycling strategies, as well as the use of sustainable materials and the emergence of 50%-90% reuse of materials in modular buildings or with circular economy criteria. In conclusion, sustainable architectural design in Panama not only responds to the need to mitigate climate change but also generates economic and social benefits with our fellow countrymen. Efficient buildings reduce operating costs, improve quality of life and promote a culture of environmental responsibility, positioning the country as a benchmark in sustainable development in the region.

**KEY WORDS:** Architectural design, sustainable, renewable, comfort and construction materials



## 1. INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema: En el proceso de desarrollo de edificaciones de todo tipo surgen varios retos ambientales que deben ser atendidos de forma oportuna como lo es el agotamiento de los recursos naturales, la eliminación de residuos generado por las construcciones (Acosta, 2002, pág. 47) y la contaminación de aire, agua y suelo, además de ayudar a obtener beneficios de salud humana y prosperidad Siendo esto así podríamos plantearnos ¿Cuál es la utilidad del diseño arquitectónico sostenible en la reducción del impacto ambiental de las edificaciones en Panamá en el año 2025

Objetivo de la Investigación: Diseñar de forma arquitectónicamente sostenible edificaciones en Panamá en el año 2025 adaptadas para reducir el impacto ambiental. De esta manera podremos conocer los fundamentos de la arquitectura y de sus mecanismos de diseño que influyen en la sostenibilidad de edificios y espacios urbano. Así también como desarrollar la sensibilidad hacia el problema del cambio climático y las contribuciones del sector de la edificación y el urbanismo para la reducción del calentamiento global mientras experimentamos con habilidades básicas de diseño para la propuesta de alternativas constructivas de economía circular aplicadas a la arquitectura. (González-Couret, 2024, pág. 28)

Justificación: “Los nuevos desarrollos de vivienda en la actualidad se adaptan a los estilos de habitar de sus habitantes, así como a nuevas estructuras familiares y formas de trabajo. Poseer un espacio propio es, según Ramos, cada vez más importante y las ciudades tienen que afrontar el reto de proveer la oportunidad para dichas demandas”(Ramos, 2010, pág. 1).

Planteamiento de la hipótesis: La implementación del Diseño Arquitectónico Sostenible es útil para reducir el impacto ambiental en Edificaciones en Panamá año, 2025, disminuyendo el consumo energético, optimizando el uso del agua y minimizando la generación de residuos de construcción (González, 2024, pág. 3717) Aunque el diseño arquitectónico sostenible requiere una inversión económica inicial más alta, en el mediano y largo plazo, las edificaciones sostenibles generan ahorros significativos en costos operativos, como consumo de energía y mantenimiento. Si se prioriza el uso de materiales reciclados y de bajo impacto ambiental en la construcción de edificaciones sostenibles, entonces se reducirá la huella de carbono del sector de la construcción y se promoverá un desarrollo más responsable con el medio ambiente. El diseño arquitectónico sostenible permite que las edificaciones sean más resilientes a los efectos del cambio climático, reduciendo los impactos de fenómenos extremos como olas de calor que experimentamos especialmente en la época de verano, inundaciones, tormentas o efectos de huracanes.

## 2. METODOLOGÍA



Mediante esta publicación observamos un enfoque cualitativo basados en una exploración de fenómenos acontecidos de forma descriptiva mientras se realiza un análisis de contenido relacionado al tema de investigación. Además, y bajo un propósito explicativo se pretende identificar relaciones que podrían existir entre variables para así detectar patrones, tendencias y construir estrategias acertadas. En ese sentido se desarrolla dentro de un diseño transversal mediante el análisis de textos y casos en un periodo específico para conocer patrones o significados para así interpretar y conocer fenómenos que acontecen en Panamá.

Dentro de las técnicas investigativas empleadas se encuentra el análisis de contenido, misma que nos permite analizar normativas, estudios previos, publicaciones científicas, entrevistas y otras fuentes relevantes. Como parte de los instrumentos podemos mencionar el análisis de documentos y archivos históricos.

En cuanto a los procesos empleados en esta investigación podemos señalar los siguientes:

Definición de los objetivos del Análisis para identificar estrategias arquitectónicas sostenibles aplicables a Panamá a la vez que se evalúa el impacto ambiental de diferentes soluciones arquitectónicas y se analizan la normativa vigente y su evolución en sostenibilidad.

Luego se establece el cuerpo del análisis con base a artículos científicos y académicos sobre sostenibilidad en arquitectura, normativas panameñas sobre construcción sostenible (por ejemplo, reglamentos ambientales, certificaciones LEED, EDGE, etc.) y revisión de proyectos arquitectónicos que aplican principios sostenibles.

Posteriormente se establece la Codificación y Categorías de Análisis donde se define el uso de materiales sostenibles (reciclados, locales, de baja huella de carbono) se analiza la eficiencia energética (diseño pasivo, sistemas renovables, iluminación natural) y la gestión del agua (captación de agua de lluvia, reutilización, eficiencia en consumo), se identifica el impacto en el entorno (reducción de huella ecológica, integración con el paisaje) y se revisan normativas y certificaciones (cumplimiento de estándares internacionales y locales).

Una vez definido esto, se aborda el análisis e interpretación de datos con el fin de identificar tendencias en el diseño arquitectónico sostenible en Panamá o bien comparar con otros países de condiciones climáticas similares y evaluar el grado de aplicación de las normativas en la práctica arquitectónica.

Finalmente se establecen las conclusiones donde se proponen estrategias para mejorar la sostenibilidad en la arquitectura panameña, se identifican las brechas entre la normativa y la implementación real en edificaciones y surgen políticas públicas o incentivos para fomentar la construcción sostenible.



### 3. PRINCIPIOS CLAVE DEL DISEÑO SOSTENIBLE

#### 3.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA

Desde la firma del tratado de Kyoto y el desarrollo de los posteriores tratados internacionales para frenar el fenómeno del cambio climático (la última, COP 27 Sharm el-Sheikh, noviembre 2022), la conciencia ciudadana mundial está aumentando en relación al problema de la generación de los gases de efecto invernadero (GEI) que provocan el calentamiento global. El sector de la arquitectura y la planificación de ciudades y espacios urbanos es responsable de más de un 30% de estas emisiones. (Melgar, 2021, pág. 1)

Según Río se puede establecer lo siguiente: Conscientes del alto deterioro ambiental que genera la industria de la construcción, países alrededor del mundo están actuando y tomando las medidas necesarias para crear y generar de forma integral espacios arquitectónicos sustentables, exigiendo mejor calidad de los materiales, planeación y optimizar el proceso de diseño. (2013, pág. 79)

En cuanto a las estructuras construidas Sosa establece lo siguiente: La edificación debe entenderse como una barrera selectiva entre las condiciones climáticas exteriores y las condiciones ambientales interiores deseadas de confort. “La envolvente de la edificación es por lo tanto un filtro que debe proteger de las influencias indeseadas, mientras admite aquéllas que son beneficiosas” (2003, pág. 3). Un diseño de edificaciones adecuado a las necesidades regionales y locales debe basarse en estrategias que tomen en cuenta las características geográficas y climatológicas, para responder a las exigencias de la economía, la salud y la comodidad de los ocupantes. Un enfoque de racionalidad energética nos conduce a formular recomendaciones de diseño basadas en tres estrategias fundamentales:

- Mitigación de las cargas de calor solar
- Explotación de la ventilación natural
- Control de la iluminación natural

Sosa señala lo siguiente: “Estas estrategias servirán de guía para ser aplicadas a cada uno de los diferentes componentes arquitectónicos, sin embargo, su aplicación dentro del proyecto debe responder a una concepción holística, coherente y funcional” (2003, pág. 3).

#### 3.2 VENTILACIÓN CRUZADA

La ventilación natural, utilizada en combinación con el aislamiento, la masa térmica y las protecciones solares, puede reducir notablemente o eliminar la necesidad del aire acondicionado en los espacios interiores. Para maximizar las oportunidades de ventilar naturalmente una edificación debe asegurarse un acceso absoluto a los vientos exteriores. La velocidad del aire en un ambiente está condicionada por la velocidad del viento incidente y de los campos de presión que se generan alrededor



de la edificación, los cuales están determinados por la implantación y forma de la edificación, la permeabilidad de las fachadas y la distribución interior de los ambientes (SOSA & SIEM, 2003, pág. 125).

Respecto a la iluminación “un adecuado uso de la luz natural requiere un conocimiento básico de sus propiedades fundamentales, de transmisión y reflexión” (SOSA & SIEM, 2003, pág. 4). Materiales y colores de una alta transmitancia y/o reflectancia son factores de diseño fundamentales para un mejor uso de la iluminación natural que tiene por objetivo la racionalización del consumo de energía. La propiedad de reflexión característica de los espejos los hace aptos para su utilización práctica en la conducción o redistribución de la luz natural. Esta herramienta fue empleada en los duetos de iluminación y bandejas solares.

### **3.3 ORIENTACIÓN Y DISEÑO PASIVO**

“Las ventanas y otras aberturas ofrecen vista al paisaje y permiten de acuerdo con Sosa el paso de luz y ventilación natural”(2003, pág. 1). En contraposición, la luz solar con entrada directa a través de las ventanas puede representar una alta incidencia de calor hacia el interior de los ambientes. Eso implica más de la mitad de las cargas de energía de enfriamiento para construcciones con aire acondicionado. Las mitigaciones de ganancias solares, incluyendo sombreado, ubicación y orientación de las aperturas o ventanas y la calidad de vidrios, deben ser congruentes con las decisiones de sitio y distribución de los espacios interiores. El uso de estas estrategias, ya sea en su forma original o en variaciones, combinadas entre sí, es la manera más efectiva de lograr un confort térmico y lumínico de manera natural, o de reducir significativamente el consumo de energía del sistema de aire acondicionado.. En el caso de acondicionamiento pasivo, para aprovechar la ventilación natural es importante una alta permeabilidad en las fachadas y en los cerramientos interiores. La estratégica ubicación y tamaños de ventanas y/o aberturas estimularan la circulación y renovación del aire.

### **3.4 AISLAMIENTO TÉRMICO**

Con el creciente aumento de la población es necesario desarrollar nuevas técnicas para reducir el consumo energético y aprovechar las energías renovables, con lo cual es posible reducir la emisión de gases invernadero, disminuir el calentamiento global y al mismo tiempo satisfacer las necesidades de la población:

Estudios europeos han demostrado que las edificaciones son responsables del 40% del consumo de energía, así como del 30% de emisiones de CO<sub>2</sub>. Estas cifras son causadas principalmente por la necesidad de alcanzar el confort térmico en una habitación mediante el empleo de aire acondicionado y sistemas de calentamiento (MARTINEZ, 2013, pág. 1).



Las ventanas son los elementos de protección térmica más vulnerables, ya que las ganancias y pérdidas a través de estas constituyen hasta el 50 % de todos los factores de pérdida/ganancia de calor. Por lo tanto, el tipo de la ventana también puede depender del grado de ahorro energético en la región.

La transferencia de calor a través de una ventana se da por conducción, convección y radiación. La transferencia de calor por conducción se genera entre el vidrio y el marco. Cuando se eleva la temperatura del marco, se generan flujos de calor hacia el vidrio y viceversa, además de generarse flujos en dirección a la superficie interior y exterior de la habitación. La convección se genera mediante el gradiente de temperatura que existe entre el aire interior/exterior de la habitación y la superficie de la ventana. Por otra parte, la radiación solar ( $G$ ) que incide sobre la superficie, se descompone en varias componentes, donde una de ellas se refleja ( $G_r$ ), otra se almacena ( $G_a$ ) y otra se transmite al interior de la habitación ( $G_t$ ). (MARTINEZ, 2013, pág. 1363)

## **4 ENERGÍAS RENOVABLES**

### **4.1 PANELES SOLARES**

A finales del siglo XX, la energía solar se encontraba en su apogeo. Aunque las tecnologías de la época no eran óptimas, la capacidad de convertir la energía solar en electricidad no dejaba a nadie indiferente. Sin embargo, esta tecnología fue sustituida por la producción de energía a través de combustibles fósiles y otras tecnologías más invasivas del planeta, con un rendimiento más alto, pero con menos respeto por el medioambiente.

Por suerte, el panorama mundial está cambiando, el agotamiento del petróleo y los problemas medioambientales aparejados al uso de combustibles fósiles, han favorecido el resurgir de las energías renovables, respaldadas según Guiracocha por los gobiernos que elaboran directivas donde ya se incluye como obligatorio el uso de fuentes de energía de larga duración y no contaminantes (Guiracocha, 2018, pág. 9).

### **4.2 SISTEMAS GEOTÉRMICOS**

Algunos países tienen mejor desarrollados ciertos sistemas energéticos que otros debido a las condiciones propias de dichas regiones, como el clima, el nivel de complejidad del uso menciona Pedro:

De acuerdo con Pedro, así como para otros investigadores, “La energía geotérmica engloba el calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas, independientemente sea su temperatura, profundidad y procedencia, sin embargo el calor contenido en rocas y suelos es demasiado difuso para ser extraído directamente de forma económica, siendo necesario disponer de un fluido, generalmente agua, para transportar el calor hacia la superficie de



forma concentrada, mediante sondeos, sondas geotérmicas, colectores horizontales, o mediante intercambiadores de calor tierra-aire enterrados a poca profundidad en el subsuelo” (2021, pág. 2).

Los diseños de sistemas geotérmicos de baja entalpía con bomba de calor son altamente usados en muchos países de Europa, en Estados Unidos y Canadá teniendo muy buenos resultados en la calefacción de viviendas y en el acondicionamiento térmico de edificaciones en general. Se distinguen dentro de estos sistemas una diferenciación por el tipo de intercambiador de calor que utilizan, siendo los de mayor utilización los sistemas cerrados, verticales y horizontales, y en menor medida los abiertos con uso de aguas subterráneas. Estos sistemas han tenido un explosivo aumento en los últimos 25 años, haciéndolos en una excelente alternativa a los sistemas convencionales de calefacción y refrigeración

### **4.3 POZOS GEOTÉRMICOS PARA AGUA CALIENTE EN EDIFICACIONES**

El sistema de intercambio de calor está constituido por dos pozos, uno de producción, donde se extraerá el caudal necesario de agua, y el otro de inyección donde se introduce el agua a una temperatura menor. El pozo de producción tiene que ser capaz de proporcionar el agua necesaria para asegurar el funcionamiento de la bomba de calor durante todo el ciclo anual. Éste debe ser diseñado cuidando parámetros hidráulicos, químicos y constructivos, contemplando caudal máximo extraído, nivel de depresión de la napa al momento de la extracción, profundidad y diámetro del pozo, como profundidad de extracción y posición de la bomba dentro del mismo (SOSSA, 2013, pág. 10)

## **5 ILUMINACIÓN EFICIENTE**

Existe según Gutiérrez una clara distinción entre los tipos de iluminación artificial como la incandescente y la Led y es que la iluminación LED se diferencia de las demás bombillas por consumir entre un 80 y 90% menos de electricidad que una bombilla incandescente tradicional y un 65% menos de electricidad que una bombilla de bajo consumo de tecnología fluorescente. “En los últimos años estas bombillas han mejorado sus cualidades, disminuido sus costes y aumentando su versatilidad, así, convirtiéndose en accesibles para todo tipo de usuarios, gracias a su variedad de precios” (Gutiérrez Hernández, 2014, pág. 4).

A la hora de realizar una instalación de iluminación led, debemos de tener 3 factores en cuenta, estos son: el ángulo de emisión, el color y el tipo de casquillo, ya que dependiendo del uso que le queramos dar, pues se utilizará uno u otro.

Realizar una sustitución de la iluminación tradicional por el led, permitiría un mejor aprovechamiento de la energía en los hogares y el consiguiente ahorro en la factura de la luz. “Por ejemplo, para los baños, cocinas y pasillos, la iluminación led es ideal, ya que estos son



lugares expuestos a una gran cantidad de ciclos (continuos encendidos y apagados)” (Gutiérrez Hernández, 2014, pág. 15).

#### **4. VENTILACIÓN NATURAL**

Para implementar esta estrategia se utiliza una gran variedad de ventanas en la fachada al ingreso y a la salida del aire, mismas que tienen la función de distribuir el aire en el edificio. En la ventilación cruzada se debe considerar la profundidad efectiva es por esto que Tavares en su estudio diseñó un edificio, tomando en cuenta la forma y la profundidad más efectiva. De la misma manera la profundidad efectiva que fue estudiada también por Linden en 1999 en ambos estudios se demuestra que esta profundidad debe ser máximo 5 veces la altura libre de la habitación, por lo tanto, el dimensionamiento y la forma son importantes para maximizar el rendimiento de la ventilación cruzada. Como resultado de estos estudios se demuestra un mayor rendimiento de la ventilación natural debido a que se maximiza el efecto del viento sobre la envolvente del edificio. (ESTEVEZ, 2015, pág. 8)

#### **6 USO RESPONSABLE DE MATERIALES**

Un proyecto de construcción sostenible puede costar entre 10% y 15% más que una construcción tradicional, pero en la medida en que se desarrollan el mercado de proveedores, materiales y profesionales capacitados se va reduciendo su costo.

Varios estudios demuestran que los costos adicionales iniciales de las construcciones “verdes” se compensan con creces durante su funcionamiento. Esto se traduce en menores gastos, un mayor valor del edificio y de su alquiler, así como una tasa de ocupación más alta, lo que resulta en un mejor retorno de la inversión (En Obra). “Para garantizar que arquitectos y constructores realmente están ofreciendo a sus clientes eco-edificios, hay organizaciones que establecen los estándares de calidad ambiental: BREEAM, LEED, GREEN STAR y LEED” (Pari, 2018).

Dentro de la construcción sostenible podemos encontrar diversos materiales que son compatibles con el medioambiente. Podemos encontrar desde los más sencillos como el caso de los materiales pétreos, pinturas naturales, plásticos, maderas, que podemos encontrarla en la naturaleza, hasta materiales más complejos que necesitan un elaborado proceso de fabricación (MONROY, 2014, pág. 37)

##### **6.1 ELECCIÓN DE MATERIALES RECICLADOS, RECICLABLES O DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL.**

Los residuos de construcción y demolición de obras menores son aquellos desechos que se producen durante las actividades y procesos destinados a modificar una edificación ya



existente, sin alterar sus elementos estructurales ni su función. Esto puede incluir trabajos como la remodelación o la refacción de una infraestructura que ya está en uso.

. Se caracteriza porque cumple con los parámetros urbanísticos y de edificación, tiene un área inferior a 30 m<sup>2</sup> de área techada de intervenciones en caso de las no mensurables, tiene un valor de obra no mayor de seis UIT y se ejecuta bajo responsabilidad del propietario.

Los Gobiernos locales al tener responsabilidades sobre el manejo de RCD deben asegurar la erradicación de los lugares de disposición final inapropiada de residuos sólidos, así como la recuperación de las áreas degradadas por dicha causa, bajo los criterios que para cada caso establezca el Ministerio de Salud o en su defecto Ministerio de Ambiente”

El reciclado de RCD permite reducir los recursos naturales evitando que lleguen al vertedero reduciendo a su vez la contaminación. Ramírez (2014) define: “Proceso mediante el cual se manipulan y transforman los residuos de construcción y demolición, para valorizar su potencial de reincorporación como materia prima o insumos con el fin de obtener nuevos productos” (CHAN, 2020, pág. 22)

### Figura 1

Relación de Residuos Reutilizables o Reciclables

Instalaciones	Fachadas	Estructura
<ul style="list-style-type: none"><li>Mobiliario fijo de cocina</li><li>Mobiliario fijo de cuartos de baño</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Puertas</li><li>Ventanas</li><li>Revestimientos de piedra</li><li>Elementos prefabricados de hormigón</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Vigas y pilares</li><li>Elementos prefabricados de hormigón</li></ul>
Cubiertas	Particiones interiores	Acabados interiores
<ul style="list-style-type: none"><li>Tejas</li><li>Tragaluzes y claraboyas</li><li>Soleas prefabricadas</li><li>Tableros</li><li>Placas sandwich</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Mamparas</li><li>Tabiquerías móviles o fijas</li><li>Barandillas</li><li>Puertas</li><li>Ventanas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Cielo raso (escayola)</li><li>Pavimentos flotantes</li><li>Alicatados</li><li>Elementos de decoración</li></ul>

*Nota:* Residuos sólidos de la construcción y demolición aquellos que son generados en las actividades y procesos de construcción, rehabilitación, restauración, remodelación y demolición de edificaciones e infraestructura. Clasificándose en: residuos peligrosos y residuos no peligrosos. Tomado de El reciclaje de residuos por demolición de edificaciones menores en el desarrollo sostenible, p. 20 por Federico Villarreal 2020.

## 7 REDUCCIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN MEDIANTE PREFABRICACIÓN Y DISEÑO MODULAR.

La integración de la prefabricación y el diseño modular en la industria de la construcción representa una estrategia clave para la disminución de residuos. Estas metodologías no solo mejoran la eficiencia del proceso constructivo, sino que también contribuyen a la sostenibilidad ambiental y la optimización de recursos. Su adopción generalizada puede marcar una diferencia significativa en la reducción del impacto ecológico del sector.



A nivel internacional, la implementación de obras con sistema constructivo prefabricado se ha desarrollado con mayor rigor, varios países han propuesto estándares para el uso de este sistema constructivo tanto en el sector público como en el privado.

Resaltan países como Estados Unidos, Japón, Alemania, España, Brasil, Perú, Uruguay, Argentina.

La posible generación de residuos o necesidad de extraer nuevos recursos con que producir nuevos elementos destinados a nuevas construcciones se amortizan en un periodo de tiempo más largo. Y como bien lo señala Novas: “La prefabricación es el único modo industrial de acelerar masivamente la construcción de edificaciones” . Claramente si se cuenta con un presupuesto, un flujo de caja fijo y una programación acorde al nivel de producción. Los componentes del sistema de prefabricado se realizan bajo fabricación controlada, lo cual permite que se aprovechen mejor los materiales mediante procesos de reciclaje, a diferencia de lo que ocurre en obra con los sistemas tradicionales en donde hay una mayor generación de residuos que se convierten en desechos. Los componentes del sistema de prefabricado se realizan bajo producción controlada, lo cual permite que se aprovechen mejor los materiales mediante procesos de reciclaje a diferencia de lo que ocurre en obra con los sistemas tradicionales en donde hay una mayor generación de residuos que se convierten en desechos. (ARDILA, 2022, pág. 31)

## **8 GESTIÓN EFICIENTE DEL AGUA EN LAS EDIFICACIONES**

### **8.1 CAPTACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUA PLUVIAL.**

El agua de lluvia puede ser una alternativa al agua potable en varios usos tanto domésticos como industriales, lo que podría ayudar a reducir hasta un 40% el consumo de agua potable. La recolección de agua de lluvia se puede realizar a través del escurrimiento en techos, patios y paredes exteriores, y se puede almacenar en cisternas, aljibes o tanques, entre otros. A estos sistemas de recolección de agua de lluvia se les conoce como SCALL, por sus iniciales. Para evacuar el agua pluvial se debe diseñar el canal colector, la rejilla o tragante (de ser necesario) y el bajante pluvial tomando como referencia según Fresquet, normas existentes en Cuba como la norma cubana NC 600:2008: Edificaciones: Requisitos de diseño del sistema de drenaje pluvial. “Por su parte el filtro se coloca antes de la cisterna, siendo su función más importante la de retener elementos de mayor tamaño y otras suciedades que pueden ser arrastradas por el agua”(Fresquet-Blanco, 2019, pág. 125).

### **8.2 REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PARA SISTEMAS DE RIEGO EN EDIFICACIONES**

Las aguas residuales pueden como otros elementos de desecho reciclarse para volver a emplearse en usos más simples logrando reducir la contaminación:



Pese a que pareciera que el avance en materia de reutilización de aguas residuales en países latinoamericanos es incipiente comparado con otras regiones del mundo; resulta de gran importancia unificar esfuerzos para incentivar estas prácticas en aquellos sitios donde la crisis del agua afecta no solo el abastecimiento para saneamiento básico sino también otros sectores como el de producción y/o servicios (Corpus, 2018, pág. 2).

Una de las opciones para abordar en parte la escasez de agua es utilizar el agua residual para el riego agrícola, que proviene tanto de la población urbana como de las industrias. Sin embargo, hay pocos estudios que se centren en la calidad sanitaria y la productividad agrícola. “A su vez, las aguas tratadas serán un recurso disponible para la actividad de siembra a nivel de huertas caseras que actualmente se ve limitada por la falta del recurso hídrico para riego de las plantas” (Corpus, 2018, pág. 1).

### **8.3 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE AHORRO DE AGUA (GRIFOS Y SANITARIOS DE BAJO CONSUMO).**

Al introducir por ejemplo duchas de bajo flujo, se genera una reducción en el consumo de agua y sin afectar la funcionalidad, por lo que es importante identificar la relación de flujo y presión, asimismo esta medida se aplica tomando en cuenta que el flujo real de las duchas sea inferior a al flujo del caso base, ya que esto representa un mayor ahorro de agua.

Los grifos eficientes para baños pueden tener aireadores y control de cierre automático, además los grifos deben tener una presión de 3 bares para la etapa de diseño ya que se garantiza coherencia en el diseño.

Los grifos de bajo flujo reducen el uso de agua sin afectar la funcionalidad, además que reduce el consumo de agua y aporta a la eficiencia tanto hídrica como energética. Los grifos deben tener una presión de 3 bares para la etapa de diseño ya que se garantiza coherencia en el diseño. (Lopez, 2023, pág. 34)

## **9 CALIDAD DEL AIRE INTERIOR MEDIANTE MATERIALES NO TÓXICOS.**

### **9.1 IMPLEMENTAR SISTEMAS DE VENTILACIÓN MECÁNICA CON FILTROS HEPA.**

Hoy en día existen varias compañías y proyectos que han contribuido a la mejora de la calidad del aire interior con la generación de diversos filtros como el HEPA (High Efficiency Particulate Air) (Benítez de Lugo, et al, 2018), y hasta sistemas de doble fachada sostenibles como el Breathe Bric.

Filtros y sistemas tradicionales ya existentes como el HEPA y el ladrillo Breathe Brick. Por otro lado es importante tomar en consideración que los materiales orgánicos presentan características que ayudan la purificación de aire además de ser de menor costo.



También existe el sistema conocido como breath brick, que es un sistema de doble fachada que está diseñado para realizar parte del sistema de ventilación normal del edificio, este compuesto por ladrillos normales y una capa de ladrillos especializados que son los que están dispuestos hacia el exterior. Breathe Brick funciona como un sistema de ventilación mecánica y pasiva, en que el ladrillo provee un flujo de aire filtrado en el medio de la pared; este posteriormente puede ir al interior del edificio por medio de equipo mecánico, este sistema absorbe alrededor de 30 % de las partículas finas y un 100% las partículas gruesas. (RODAS, 2020, pág. 32)

## 10 EJEMPLOS DE EDIFICACIONES SOSTENIBLES

**Figura 2**

*The Edge Building, Amsterdam*



*Nota:* Está considerado oficialmente como el edificio de oficinas más sostenible del mundo, habiendo recibido la calificación más alta jamás registrada por el Building Research Establishment (BRE), el evaluador mundial de edificios sostenibles. Tomado de "The Edge / PLP Architecture" 22 Abr 2016. ArchDaily por Christele Harrouk,

**Figura 3**

*Bosco Verticale, Milán*



*Nota:* El bosque vertical aumenta la biodiversidad. Promueve la formación de un ecosistema urbano donde diversos tipos de plantas crean un ambiente vertical separad, pero que funciona dentro de la red existente, capaz de ser habitado por pájaros e insectos. Tomado de ArchDaily en español. Accedido el 19 Feb 2025 por Christele Harrouk,

## 11 CONCLUSIÓN

El diseño arquitectónico sostenible en las edificaciones es una solución clave para enfrentar los desafíos ambientales, económicos y sociales de estos tiempos. Su ejecución permite optimizar los recursos naturales, reducir la huella de carbono y mejorar la calidad de vida de los ocupantes, promoviendo construcciones más eficientes y resilientes. La implementación de un Diseño Arquitectónico Sostenible para reducir el impacto ambiental en Edificaciones



en Panamá año, 2025 representa una estrategia clave para reducir el impacto ambiental del sector de la construcción en Panamá, mejorar la eficiencia energética y promover el bienestar de los usuarios. A través del uso de materiales ecológicos, optimización de los recursos naturales y la integración de tecnologías renovables es posible desarrollar sitios más responsables con el entorno y económicamente viables a largo plazo. (González-Couret, 2024, pág. 28). También se incentiva una mayor adopción de materiales locales y reciclados (madera certificada, bambú, concreto ecológico) y por otro lado se logra una reducción del consumo energético mediante estrategias de diseño bioclimático. (MONROY, 2014, pág. 37)

Además, se permite la integración de sistemas de captación de agua de lluvia y tratamiento de aguas grises en nuevas edificaciones y se establece la necesidad de mayor capacitación en diseño sostenible en universidades y cursos profesionales. (Corpus, 2018, pág. 1) Ahora bien, su desarrollo afronta desafíos como los altos costos iniciales, la falta de regulación en algunos contextos y la necesidad de mayor capacitación en dicha sección del mercado. Para lograr una adopción masiva, es fundamental que Panamá, profesionales y sociedad trabajen en conjunto para fomentar políticas sostenibles, incentivos económicos y programas educativos. En conclusión, el diseño arquitectónico sostenible no solo responde a la necesidad de mitigar el cambio climático, sino que también representa una oportunidad para mejorar el entorno construido en nuestras más grandes ciudades y generar un impacto positivo en la economía y el bienestar social de nuestro país. Su adopción a gran escala permitirá construir un futuro más responsable y equilibrado entre el desarrollo urbano y el respeto por el medio ambiente.

## 12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, D. (2002). Reducción y gestión de residuos de la construcción y demolición (rcd). *Tecnología y construcción*, 20.
- Ardila, C. C. (2022). Sistema constructivo prefabricado (off site), análisis técnico para desarrollar su uso en la construcción. *Universidad nacional de colombia*. Bogota, colombia.
- Chan, E. J. (2020). “reciclaje de residuos por demolición de edificaciones menores en el desarrollo sostenible. *“el reciclaje de residuos por demolición de edificaciones menores en el desarrollo sostenible*.
- Corpus, S. P. (2018). *Diseño e implementación de un filtro para tratamiento de aguas grises en la aplicación de un sistema de riego para una huerta casera*. Diseño e implementación de un filtro para tratamiento de aguas grises en la aplicación de un sistema de riego para una huerta casera: <file:///c:/users/daniel/downloads/sfontalvo,+2.pdf>



- Estevez, J. P. (2015). Optimización energética para el aprovechamiento de ventilación natural en edificaciones en climas calidos del ecuador. *Tesis*. Escuela politécnica nacional, quito.
- Fresquet-blanco, R. T.-h. (enero abril de 2019). *Captación de lluvia para descarga de inodoros en edificio alto*. Scielo: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s1680-03382019000100122&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s1680-03382019000100122&script=sci_arttext)
- González, L. V. (2024). Diseño bioclimático para reducir temperatura en casa habitación y disminuir el consumo energético, utilizando la técnica de sombreado. *Lumen et virtus*.
- González-couret, D. (2024). *Adaptación del hábitat urbano al calentamiento global en la habana. Propuestas de transformación*. Adaptación del hábitat urbano al calentamiento global en la habana. Propuestas de transformación.: [https://openurl.ebsco.com/epdb%3agcd%3a1%3a31071857/detailv2?sid=ebsco%3apl%3ascholar&id=ebsco%3agcd%3a181178529&crl=c&link\\_origin=scholar.google.com](https://openurl.ebsco.com/epdb%3agcd%3a1%3a31071857/detailv2?sid=ebsco%3apl%3ascholar&id=ebsco%3agcd%3a181178529&crl=c&link_origin=scholar.google.com)
- Guiracocha, G. V. (2018). Optimización energética y ambiental de sistemas fotovoltaicos para su integración en la edificación. En *archivo digital upm*. Madrid.
- Gutiérrez hernández, M. C. (2014). Iluminacion led. Ahorro, eficiencia e innovación proyecto de iluminación de un hotel. *Trabajo de grado*. Universidad de la laguna, tenerife.
- Lopez, A. M. (2023). *Diseño de una edificación multifamiliar con parámetros edge para*. Diseño de una edificación multifamiliar con parámetros edge para: [file:///c:/users/daniel/downloads/t030\\_72952102\\_t%20apari%20lopez,%20andrea%20martina.pdf](file:///c:/users/daniel/downloads/t030_72952102_t%20apari%20lopez,%20andrea%20martina.pdf)
- Martinez, E. H. (2013). Impacto de las ventanas en el consumo energético de edificaciones residenciales. *Congreso internacional anual de la somin*. Hidalgo.
- Melgar, S. G. (2021). *Arquitectura sostenible y eficiencia energética en los edificios*. Arquitectura sostenible y eficiencia energética en los edificios: [https://www.uhu.es/aula-experiencia/sites/aula-experiencia/files/2023-11/programa\\_de\\_arquitectura\\_sostenible.pdf](https://www.uhu.es/aula-experiencia/sites/aula-experiencia/files/2023-11/programa_de_arquitectura_sostenible.pdf)
- Monroy, J. M. (2014). Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interes social y prioritario. Bogota, colombia.
- Ramos, D. C. (2010). *Criterios de diseño sustentable para la arquitectura habitacional*. “criterios de diseño sustentable para la arquitectura habitacional: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/12833/06\\_avila\\_david.pdf?sequence=1&isallowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/12833/06_avila_david.pdf?sequence=1&isallowed=y)
- Rio, A. D. (diciembre de 2013). Revista legado de arquitectura y diseño. *Legado*. Revista legado de arquitectura y diseño: <https://www.redalyc.org/pdf/4779/477947373007.pdf>



- Rodas, D. L. (2020). *Sistema de biofiltro con materiales orgánicos para restablecer la calidad del aire interior en viviendas*. Retrieved 2025, from sistema de biofiltro con materiales orgánicos para restablecer la calidad del aire interior en viviendas: sistema de biofiltro con materiales orgánicos para restablecer la
- Sosa, M. E., & siem, g. (febrero de 2003). Criterios de diseño para edificaciones energéticamente. *Revista de la facultad de ingeniería*.
- Sossa, M. S. (2013). Diseño e integración de energía geotérmica de baja entalía aplicada a proyectos de construcción. *Diseño e integración de energía geotérmica de baja entalía aplicada a proyectos de construcción*. Santiago, chile. Diseño e integración de energía geotérmica de baja entalía aplicada a proyectos de construcción.



Revista Especializada de Ingeniería  
y Ciencias de la Tierra

VOL: 5 N° 1 Julio - Diciembre 2025  
ISSN L: 2805-1874

---

## **Sobre Redes Neuronales y el Pronóstico de Cargas en Sistemas de Generación y Distribución Eléctrica, Panamá, 2010**

### **On Neural Networks and Load Forecasting in Electric Generation and Distribution Systems, Panama, 2010**

Jorge Luis Martinez Ramirez  
Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá  
jorgel.martinez@up.ac.pa  
<http://orcid.org/0000-0002-1036-6167>

Jose Simmonds  
Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá  
jose.simmonds@up.ac.pa  
<https://orcid.org/0000-0001-6180-3497>

DOI <https://doi.org/10.48204/reicit.v5n1.7684>

**Recibido: 9/2/2025 Aceptado: 10/6/2025**

#### **RESUMEN**

El presente trabajo aborda el pronóstico de cargas en redes de distribución eléctrica mediante una metodología que no se limita a una sola variable, sino que selecciona y analiza múltiples variables relacionadas con la predicción de carga, utilizando datos viables en escenarios de red reales. Se proponen diversas líneas de investigación futuras, como la integración de la metodología en sistemas de tiempo real para monitorear variables de red y generar pronósticos horarios, así como la incorporación de sistemas inteligentes que respondan automáticamente a interrupciones y permitan consultas sobre datos históricos y factores de carga. Además, se sugiere mejorar los modelos mediante técnicas como redes MLP, algoritmos genéticos para optimizar parámetros de redes neuronales, y la aplicación conjunta de modelos neuronales y transformadas wavelet para filtrar ruido en series de



datos y mejorar la precisión de las predicciones. Estas propuestas buscan incrementar la eficacia y aplicabilidad de la metodología en entornos operativos reales.

**PALABRAS CLAVE:** Pronóstico de cargas, métodos de pronósticos, redes neuronales, series temporales, técnicas de inteligencia artificial.

## ABSTRACT

This paper addresses load forecasting in electrical distribution networks using a methodology that is not limited to a single variable, but rather selects and analyzes multiple variables related to load prediction, using viable data from real-world network scenarios. Several future lines of research are proposed, such as the integration of the methodology into real-time systems to

monitor network variables and generate hourly forecasts, as well as the incorporation of intelligent systems that automatically respond to outages and allow queries on historical data and load factors. Furthermore, it is suggested that the models be improved using techniques such as MLP networks, genetic algorithms to optimize neural network parameters, and the joint application of neural models and wavelet transforms to filter noise in data series and improve prediction accuracy. These proposals seek to increase the effectiveness and applicability of the methodology in real-world operating environments.

**KEY WORDS:** Load forecasting, forecasting methods, neural networks, time series, artificial intelligence techniques.

## INTRODUCCIÓN

El correcto funcionamiento de una compañía de generación de energía requiere modelos matemáticos precisos para el pronóstico de la carga eléctrica. Estos modelos facilitan la toma de decisiones sobre la compra y generación de energía, la administración de la carga de conmutación y la planificación de infraestructura. Además, son fundamentales para proveedores de energía, organizaciones de estándares internacionales (ISO), instituciones financieras y otros actores en los mercados de generación, transmisión y distribución de electricidad. El pronóstico de carga se clasifica en tres tipos según el horizonte temporal: corto plazo (PCCP), que abarca de una hora a una semana; mediano plazo (PCMP), que cubre de una semana a un año; y largo plazo (PCLP), que se extiende más allá de un año. Cada categoría de pronóstico cumple funciones específicas dentro de la planificación y operación de las compañías eléctricas.

Desde la perspectiva del sistema de energía eléctrica, las cargas pueden clasificarse en tres grupos funcionales:

Cargas domiciliarias



Cargas industriales

Cargas comerciales

Estas cargas presentan características muy distintas entre ellos con relación al tamaño, simetría ( $1\Phi$  o  $3\Phi$ ), constancia de la carga y el período de funcionamiento.

La precisión del pronóstico varía según el horizonte temporal. A corto plazo, se puede estimar la carga del día siguiente con un margen de error de 1-3%, mientras que predecir la carga pico de un año en adelante es más complejo debido a la falta de pronósticos meteorológicos precisos a largo plazo. Para estos casos, se utilizan distribuciones probabilísticas basadas en datos históricos y la denominada carga meteorológica normalizada, calculada a partir del promedio de condiciones climáticas características de la carga pico en un periodo de 25-30 años.

Dado que factores como fluctuaciones en la oferta y demanda, condiciones meteorológicas y precios de la energía pueden impactar significativamente la red eléctrica, el pronóstico de cargas resulta esencial. Su aplicación en el corto plazo permite gestionar los flujos de carga, prevenir sobrecargas y mejorar la confiabilidad del sistema, reduciendo fallos y apagones. Además, influye en la evaluación de contratos y productos financieros vinculados a los precios de la energía. En un mercado des-regulado, los pronósticos a largo plazo justifican inversiones en infraestructura y ajustes tarifarios.

Los métodos de pronóstico incluyen técnicas estadísticas (TE) y de inteligencia artificial (IA), como regresión lineal (RL), redes neuronales (RN), lógica difusa (LD) y sistemas expertos (SE). Para el mediano y largo plazo, se emplean modelos econométricos y de uso final, mientras que en el corto plazo se utilizan enfoques como días similares, modelos de series temporales y algoritmos de aprendizaje estadístico. La precisión del pronóstico depende tanto de la calidad de las técnicas utilizadas como de la exactitud de los escenarios meteorológicos proyectados.

Aunque el pronóstico del clima queda fuera del alcance de este estudio, se reconoce el avance de modelos computacionales como el MM5, desarrollado por un consorcio de universidades (Dudhia, 2014; Dudhia & Bresch, 2002; Skamarock et al., 2018; Skamarock et al., 2012; Weber & Mass, 2019).

Por lo posteriormente mencionado, el objetivo de esta publicación es demostrar que el algoritmo de las redes neuronales resulta mejor en realizar la tarea de pronóstico de carga eléctrica en un conjunto de datos en particular. Este enfoque se justifica por la capacidad de las redes neuronales para capturar patrones complejos y no lineales en los datos, lo que las convierte en una herramienta poderosa para mejorar la precisión en el pronóstico de cargas eléctricas.

**CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL.** En las redes de distribución eléctrica se generan numerosas estadísticas cuyo análisis podría ayudar a abordar problemas como la demanda y las pérdidas de



carga en los sistemas de generación y distribución. Uno de estos desafíos es la predicción de carga, que se complica por la naturaleza distribuida de los dispositivos y la diversidad de servicios ofrecidos, dificultando la selección y pronóstico de variables relacionadas con los niveles de uso. En este trabajo, utilizando un conjunto de datos particular, proponemos una metodología basada en paradigmas de Inteligencia Artificial para resolver este problema.

## Proceso de adquisición del conocimiento

La minería de datos (Data Mining, en inglés) facilita la aplicación de algoritmos, como redes neuronales, árboles de decisión, lógica difusa y algoritmos genéticos, a los vastos datos generados en la industria eléctrica, permitiendo descubrir conocimiento oculto. Sin embargo, aunque los algoritmos son cruciales, la adquisición de conocimiento va más allá de estructuras de datos y técnicas avanzadas; estas deben aplicarse en las áreas y datos adecuados. Este proceso es un ciclo iterativo de aprendizaje que mejora las soluciones con el tiempo (Ahlemeyer-Stubbe & Coleman, 2014; Linoff & Berry, 2011; Shmueli et al., 2017).

La Figura 1 muestra un círculo íntegro de un proceso de adquisición de conocimiento en un ambiente de la industria eléctrica, cuyas etapas son cuatro:

1. **Identificar el problema.** En esta etapa se identifican los dominios en que el análisis de los datos puede tener algún valor significativo.

En el sector eléctrico, este paso implica analizar diversos datos de la red (consumo de clientes, variables temporales, climáticas, magnitud de carga y flujos de potencia) y orientarlos según el problema a resolver, como:

- ⇒ Analizar estadísticas de generación y distribución para resolver el problema de predicción de carga.
- ⇒ Estudiar la caracterización de la carga, esto es clave para una gestión adecuada de la demanda.
- ⇒ Utilizar datos de clientes para estudios de mercado o identificación de perfiles.

Estas estadísticas pueden obtenerse de:

- ⇒ Dispositivos de medición en redes reales.
- ⇒ Estaciones o subestaciones de generación y distribución.
- ⇒ Centros meteorológicos.

Estos datos permiten analizar y predecir la carga en redes de distribución. Sin embargo, usarlos directamente como entradas en un modelo de predicción puede generar errores significativos o incluso impedir la predicción. Para evitarlo, es necesario procesar la información y darle una representación adecuada según el modelo de predicción empleado.



**2. Transformar los datos en información.** Esta etapa de la metodología utiliza técnicas artificiales para transformar datos en información útil, extrayendo características representativas mediante su análisis. Estas técnicas se clasifican según el procesamiento aplicado a los datos en:

1. Limpieza de datos: Se elimina ruido, se corrigen inconsistencias y se detectan valores atípicos. Por ejemplo, valores infinitos pueden reemplazarse por el promedio de los datos.

2. Integración de datos: Se combinan datos de múltiples fuentes (bases de alarmas, estadísticas de hardware, simuladores) para resolver redundancias. Técnicas como las correlaciones de Pearson y Spearman facilitan este proceso.

3. Transformación de datos: Los datos se adaptan para su uso en minería de datos mediante normalización, suavizado, agregación, generalización o estandarización. Por ejemplo, modelos no lineales pueden linealizarse aplicando transformaciones a las variables (Linoff & Berry, 2011).

Otro ejemplo sería normalizar los valores de una variable en los rangos de 0 a 1 o de -1 a 1 (ver ANEXO, Cuadro 4).

4. Reducción de datos. Las técnicas de reducción de datos buscan simplificar la representación de los datos sin comprometer su integridad. Ejemplos incluyen operaciones de agregación para construir cubos de datos y la detección de variables irrelevantes mediante algoritmos como C4.5 (Cervantes et al., 2018; Weiss, 2003; Weiss, 2009; Xu et al., 2014).

La estadística de un dispositivo en la red de distribución se considera una variable del sistema. La transformación de datos aplica técnicas artificiales a las  $m$  variables de red para seleccionar las  $n$  que mejor representen la información, como se muestra en la Figura 2.

Dado el cambio constante en las fluctuaciones de carga, las estadísticas pueden presentar inconsistencias y ruido, por lo que es necesario limpiar y estandarizar los datos antes de usarlos como entrada en un modelo de predicción.

Además, el gran número de variables obtenidas de la red puede incluir redundancias o irrelevancias que no contribuyan a la predicción. Para resolver esto, se aplican técnicas de correlación y selección, reduciendo el número de variables de  $m$  a  $n$ , donde  $n < m$ .

Finalmente, una vez seleccionadas y estandarizadas las variables, se elige un modelo de predicción adecuado.

**3. Transformar la información en conocimiento.** Esta transformación se realiza aplicando técnicas de minería de datos. Es decir, aplicar técnicas como RN, árboles de decisión, clustering o algoritmos genéticos a un conjunto de datos de entrada para obtener patrones o relaciones entre ellos.



La información se considera a las variables seleccionadas y estandarizadas, estas variables son entrada de un modelo de predicción el cual llevará a cabo la transformación de esta información en conocimiento. Esta transformación consiste en predecir el valor de una variable dependiente basándose en los valores de un conjunto de variables independientes. El conocimiento obtenido será la predicción de la carga a una, dos, tres días o horas, ver Figura 2.

Además, el problema de predicción puede abordarse utilizando técnicas como árboles de decisión, redes neuronales (RN) o algoritmos genéticos.

**4. Transformar el conocimiento en inteligencia.** Esta fase implica seleccionar patrones relevantes y analizar los resultados para integrar el conocimiento obtenido en un sistema experto. El objetivo es interpretar y comprender dicho conocimiento, que en muchas aplicaciones se utiliza para que el sistema experto (Weiss, 1999; Weiss & Hirsh, 1998a, 1998b) pueda resolver problemas de forma automática. Esta capacidad de aplicar el conocimiento adquirido es lo que se considera inteligencia.

### **Pronóstico de cargas en sistemas de generación y distribución eléctrica**

El proceso de adquisición de conocimiento, como se mencionó antes, es un ciclo de cuatro etapas, cada una con varios pasos. Identificar un problema implica recopilar datos, transformarlos en información usando técnicas de inteligencia artificial, y luego convertir esa información en conocimiento eligiendo el algoritmo de predicción adecuado según el tipo de datos. Interpretar los resultados no se limita a medir el error, sino a verificar si cumplen con lo esperado. Esta sección propone una metodología para analizar estadísticas de una red eléctrica y resolver el problema de pronóstico de carga usando inteligencia artificial.

La metodología no solo busca resolver el pronóstico, sino que también genera resultados parciales que ayudan a entender el comportamiento de la red. Los pasos son:

1. Recolección de datos: Obtener estadísticas (series de tiempo) que describan el comportamiento de la red de generación y distribución.
2. Preparación y limpieza de datos: Asegurar que los datos estén listos para su análisis.
3. Selección de variables no redundantes: Analizar la correlación entre variables para eliminar redundancias.
4. Selección de variables relevantes: Descartar variables irrelevantes para la predicción.
5. Pronóstico de variables: Predecir series de tiempo basadas en las variables seleccionadas.
6. Predicción del objetivo (carga de la red): Predecir la carga usando las variables pronosticadas.
7. Interpretación y evaluación de resultados: Analizar y validar los resultados del modelo predictivo.

Como se muestra en la Figura 3, la metodología no es lineal, sino recursiva. Si un paso no cumple con los resultados esperados, es necesario retroceder para hacer ajustes. Por ejemplo, si el modelo tiene un error alto, puede ser necesario modificar sus propiedades o revisar las variables seleccionadas. Este enfoque iterativo asegura que el proceso se adapte y mejore continuamente.



## Colecta de datos en un escenario de red de generación y distribución

El objetivo de este experimento fue analizar las estadísticas de carga en un sistema de generación y distribución eléctrica. Para ello, se diseñó, implementó y evaluó un modelo de red neuronal (RN) con capacidad predictiva, basado en inteligencia artificial, comparándolo con métodos estadísticos tradicionales. Cada estadística generada por el sistema se consideró como una variable de red.

La recopilación de datos sobre la carga eléctrica y la variable climática (temperatura) fue un proceso complejo. La mayoría de las bases de datos públicas ofrecen esta información en promedios mensuales o anuales, mientras que las empresas privadas, aunque registran datos detallados, suelen ser reacias a compartirlos. Tras una extensa búsqueda, se obtuvieron datos horarios y diarios de carga eléctrica del Centro de Despacho de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), que opera en la zona del canal.

La obtención de las series climáticas (temperatura) también presentó desafíos, principalmente por la necesidad de datos horarios y su correspondencia geográfica con los datos de carga. Finalmente, esta información se consiguió a través de la sección de Hidrología y Meteorología de la ACP.

## Preparación y limpieza de los datos

El segundo paso de la metodología consiste en asegurar la consistencia de los datos. El problema principal radicaba en que algunas muestras de las series temporales de datos meteorológicos (velocidad y dirección del viento, radiación solar, temperatura y humedad) presentaban valores faltantes o indefinidos, debido al alto nivel de desagregación de estas series.

Para solucionar este problema se utilizó el programa WEKA Workbench (software de minería de datos. <https://ml.cms.waikato.ac.nz/weka/>), en donde todas las muestras de la serie de tiempo que no tuvieran un valor definido o que presentaran data faltante en la serie se insertaba un valor constante igual a cero.

Mediante la eliminación de ruido en los datos, se puede obtener la siguiente información sobre las variables que componen la serie temporal:

1. Identificación del tipo de variables: determinar si son unarias, binarias, nominales, ordinales o de intervalo.
2. Cálculo de medidas estadísticas: obtener el valor mínimo, máximo, media y desviación estándar para cada variable.
3. Representación gráfica: visualizar la distribución de las variables.



4. Transformación de variables: crear nuevas variables a partir de las existentes, como una variable binaria derivada de una variable de intervalo.

No obstante, este análisis estadístico solo proporciona información individual sobre cada variable de la serie temporal, sin revelar las relaciones o dependencias entre ellas.

### **Selección de variables no significativas**

Identificar variables que contengan toda la información necesaria o que no aporten nada relevante en aplicaciones como bases de datos puede optimizar el uso del espacio en disco. En redes de telecomunicaciones, detectar variables redundantes permite reducir el número de elementos a analizar para entender el comportamiento del sistema completo. Además, esto facilita la recopilación de datos en situaciones reales.

Para llevar a cabo la correlación de Spearman entre  $m$  variables de la serie de tiempo, se utilizó el lenguaje de programación estadístico R versión 4.3.3 y Visual Studio Code versión 1.89 como la IDE (Ambiente de Desarrollo Integrado) para la implementación de los códigos que generasen una matriz de correlación de  $m \times m$  valores.

La elección de variables no redundantes se realiza así:

Se fija un umbral  $u$  para identificar correlaciones fuertes entre las variables.

Si el valor de correlación  $v_{i,j}$  entre las variables  $i$  y  $j$ , supera el umbral  $u$ , se considera que existe una alta correlación, por lo que sólo una de las dos variables debe incluirse en el conjunto de variables no redundantes. Por otro lado, si  $v_{i,j}$  no supera el umbral  $u$ , se considera una baja correlación, y ambas variables pueden incluirse en dicho conjunto.

En el caso de que el valor de correlación  $v_{k,j}$  entre las variables  $k$  y  $j$ , no supere el umbral  $u$ , antes de añadirlas al conjunto de variables no redundantes, es necesario verificar que no estén ya incluidas.

Tras este análisis de correlación, se obtiene el conjunto de variables no redundantes. Finalmente, es importante analizar la relación entre estas variables y la variable que se desea predecir.

### **Selección de variables para la predicción**

El rendimiento de una red eléctrica puede verse influenciado por diversas variables, como el consumo de los clientes, la carga de trabajo en las unidades de despacho, el factor de carga, el factor de simultaneidad, el factor de coincidencia, la demanda máxima y mínima, la temperatura, la humedad, entre otros. Sin embargo, para este estudio, se ha seleccionado como variable principal a predecir el



nivel de utilización de los servicios de generación y distribución eléctrica, ya que el objetivo es comprender mejor la carga del sistema.

Es importante destacar que, entre las variables no redundantes, pueden existir algunas irrelevantes que no contribuyen a la predicción de la variable objetivo. Además, un número elevado de variables de entrada puede afectar negativamente los modelos de predicción. Por un lado, cuantas más variables se incluyan, mayor será el riesgo de sobreentrenamiento el modelo y de aumentar el volumen de datos de entrenamiento. Por otro lado, en modelos basados en redes neuronales, un mayor número de variables puede dificultar la optimización de los pesos. Este desafío en la selección de variables es común en análisis estadísticos, y los árboles de decisión son una herramienta útil para identificar las variables más relevantes (Linoff & Berry, 2011).

El propósito de la selección de variables no se limita únicamente a reducir el número de entradas del modelo, sino también a identificar aquellas que sirvan como indicadores confiables de los cambios en los niveles de carga. Tras el análisis de selección de variables en relación con el objetivo, se determinan las variables que serán utilizadas como entradas en el modelo de predicción.

### **Pronóstico de las variables seleccionadas.**

El modelo de predicción tiene como objetivo principal utilizar  **$n$  variables de entrada** para generar **una salida**. En la Cuadro 1 se muestra un ejemplo de cómo se organizan los datos para esta tarea. Cada fila representa un caso, donde las columnas corresponden a los valores de las  **$n$  variables independientes**, y la última columna indica la **variable dependiente**, que es el valor que el modelo intenta predecir. En este caso de estudio, la salida del modelo es el valor predicho, como se ilustra en la Figura 2. Así, basándose en los valores de las variables de entrada en un momento  **$t$** , el modelo puede estimar el valor del **target** en ese mismo momento. Sin embargo, el verdadero desafío es predecir el valor del **target** en un momento futuro  **$t+1$** . Para lograrlo, es necesario pronosticar primero los valores de las variables de entrada en  **$t+1$** , como se ejemplifica en la Cuadro 2, para un modelo con  **$n$  entradas** y un **target** de salida.

El pronóstico de estas variables puede realizarse mediante un modelo de regresión lineal. Además, un modelo **VAR** (vector autoregresivo) puede implementarse utilizando una red **neuronal tipo**



**perceptrón**. La Figura 4 muestra la arquitectura de un perceptrón con  $n$  **unidades de entrada** y  $n$  **variables de salida** que se desean pronosticar.

El entrenamiento de una red neuronal perceptrón implica usar como datos de entrada los valores de las variables en un momento  $t-1$  (ver Cuadro 2) y como salida, su pronóstico en el momento  $t$  (ver Cuadro 3). Los valores del **target  $i$**  en el modelo de pronóstico son los mismos que los de la **variable de entrada  $i$** , pero desplazados una unidad de tiempo. De esta manera, después del entrenamiento, cuando la red reciba los valores de las variables en el momento  $t$ , podrá predecir su valor en  $t+1$ .

Este modelo, basado en una red neuronal perceptrón, no solo permite pronosticar un conjunto de variables para usarlas como entrada en un modelo de predicción, sino que también puede ayudar a analizar el comportamiento futuro de variables en una red de distribución eléctrica.

### **Predicción de carga**

El modelo de predicción se basó en una red neuronal con arquitectura de perceptrón multicapa (MLP, por sus siglas en inglés). La Figura 4 ilustra su estructura general, que incluye  $n$  **unidades de entrada** (variables independientes), una capa oculta y una única variable de salida (variable dependiente).

El entrenamiento de la red MLP utiliza como entrada los valores de las variables en el tiempo  $t+1$  y genera como salida la predicción del objetivo (target) en el mismo tiempo  $t+1$ . Este enfoque permite predecir la carga diaria. Además, se identificaron las variables relacionadas con el target, lo que en un escenario real permitiría recopilar datos de estas variables para predecir la carga futura con un perfil horario, aplicable a cualquier día de la semana (lunes a domingo).

### **Interpretación de los resultados.**

Una red se entrena reduciendo una función de error (también conocida como criterio de estimación). Muchas de estas funciones se basan en el principio de máxima probabilidad, que depende de una familia de distribuciones de error (ruido). Para variables de intervalo, se suele emplear la distribución normal, también llamada criterio de error cuadrático medio. Este enfoque es común cuando los objetivos tienen una distribución de ruido normal con varianza constante.



El objetivo es encontrar una red que funcione bien con datos nuevos. La forma más sencilla de comparar diferentes redes neuronales es evaluar la función de error utilizando datos independientes a los usados en el entrenamiento. Varias redes se entrenan minimizando una función de error definida sobre el conjunto de entrenamiento. Luego, su rendimiento se compara evaluando la función de error en un conjunto de validación independiente, seleccionando la red con el menor error en estos datos.

Para evaluar las predicciones del modelo, es necesario calcular la diferencia entre el valor pronosticado y el valor real. Para ello, se utilizan diversas métricas de error.

### Suma de los errores cuadráticos

$$SSE = \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2$$

### Error cuadrático medio

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2$$

### Raíz del error cuadrático medio

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}$$

### Donde:

- $y_t$  es la salida (valor del pronóstico),
- $\hat{y}_t$  es el valor real,
- $n$  es el número de muestras.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Estudio de Caso** Se presenta un escenario de un sistema eléctrico de potencia para ilustrar la aplicación de la metodología propuesta en esta iniciativa. Dicha metodología consiste en una serie de pasos diseñados para predecir la carga en sistemas de generación y distribución eléctrica. En esta sección, se aplicarán estos pasos a un caso de estudio basado en un escenario de red de datos comunes en empresas del sector eléctrico (Ausmus et al., 2019; Figueiredo et al., 2005; Schuelke-Leech et al., 2015).

### Colectar los datos en un escenario de sistema eléctrico de potencia



Se recopilan datos estadísticos generados en las unidades de despacho de una red eléctrica. Esta red opera en el centro de despacho de la ACP y se basa en una topología de mediciones que incluye lecturas de carga horarias, diarias y mensuales, correspondientes al período de enero a diciembre de 2007.

### **Preparación y limpieza de los datos**

El procesamiento de los datos se lleva a cabo sobre la serie de tiempo construida. El primer paso consiste en identificar y corregir ruido e inconsistencias en los datos. Se resolvió el problema de valores y variables no definidos utilizando Excel y R. En los Cuadros 5 y 6 se presenta una sección de la serie de tiempo antes y después de aplicar el escalado lineal (**Linear Scaling**) entre **-1** y **+1**, como parte de la preparación y limpieza de los datos.

Para el análisis estadístico de las variables de la serie de tiempo, se empleó la herramienta WEKA Workbench, que incluye diversas bibliotecas para limpiar, explorar y analizar datos, así como para desarrollar y validar modelos de Minería de Datos y el Aprendizaje de Máquinas.

No obstante, el análisis estadístico solo proporciona información sobre el uso de la red, sin revelar las relaciones o dependencias entre las distintas variables.

### **Selección de variables no significativas**

Tras asegurar la consistencia de los datos, se procedió al análisis de variables en la serie temporal. El primer paso fue identificar un conjunto de variables no significativas, con el objetivo de reducir su número sin comprometer la calidad de los datos. Para resolver este problema, se empleó la **correlación de Spearman** y un modelo basado en **árboles de decisión**.

Se utilizó el lenguaje estadístico R para calcular la correlación de Spearman entre las cinco variables de la serie temporal: velocidad del viento, dirección del viento, temperatura, humedad y radiación solar. Como resultado, se generó una **matriz de 365x365**.

En la simulación, se analizó la estadística de uso de toda la red de datos. Tras el análisis de correlación, se descartaron las variables con índices de correlación insignificantes, seleccionando únicamente aquellas relevantes para el modelo.

### **Selección de variables para la predicción**

La selección de las variables relacionadas con la carga se realizó mediante un análisis de correlación y un árbol de decisiones. Para ello, se utilizó WEKA Workbench, que incluye una herramienta específica para crear árboles de decisiones, como se observa en la Figura 5. Este modelo consta de dos componentes principales:



1. Conjunto de datos: Contiene las 18 variables previamente seleccionadas. WEKA Workbench facilita la importación y exportación de estos datos.
2. Árbol de decisiones: Este componente genera el árbol basándose en el criterio de división elegido, permitiendo analizar y visualizar las relaciones entre las variables.

Este enfoque simplifica el proceso de identificación de las variables más relevantes para la carga.

### **Pronóstico de variables seleccionadas e interpretación de resultados**

Como se mencionó antes, solo contamos con datos hasta el momento  $t$ . Para predecir la variable objetivo (el target) en el tiempo  $t+1$ , necesitamos los valores de las 18 variables de entrada en ese mismo instante. Dado que estos datos no están disponibles al momento de la predicción, utilizamos un modelo VAR para pronosticar los valores de siete (7) de estas variables en  $t+1$ . Este modelo se basa en los valores pasados de las propias variables y de las demás. O sea, que es posible desarrollar un modelo VAR utilizando una Red Neuronal Perceptron, como se muestra en la Figura 4. En este caso, las 18 variables seleccionadas son la entrada del modelo VAR en el tiempo  $t$ , y la salida es el valor de la variable de carga eléctrica en el tiempo  $t+1$ .

El modelo consta de cinco componentes principales:

1. Conjunto de datos: Incluye las 18 variables previamente seleccionadas.
2. División de datos: Dos tercios de los datos se usaron para entrenar el modelo, mientras que el tercio restante se destinó a la validación. Para realizar esta división, se utilizó la herramienta WEKA Data Miner, que permite particionar los datos de manera aleatoria dentro del conjunto total. Sin embargo, es importante destacar que el orden temporal de las muestras no se altera, ya que se trata de una serie temporal.

### **Pronóstico de la carga (i+1)**

La predicción se realizó utilizando tres modelos para estimar la carga esperada del día siguiente ( $i+1$ ). La selección de las variables se basó en modelos previos, siguiendo la metodología de conclusiones e interdependencias establecidas. El modelo de pronóstico para un día es el siguiente:

$$Carga_{(i+1)} = F \left( \text{Mes}, \text{Día\_semana}, \text{TempMax}_{(i)}, \text{TempMax}_{(i-1)}, \text{TempMax}_{(i-2)}, \text{TempMax}_{(i-3)}, \right. \\ \left. \text{TempMin}_{(i)}, \text{TempMin}_{(i-1)}, \text{TempMin}_{(i-2)}, \text{TempMin}_{(i-3)}, \text{TempMed}_{(i)}, \text{TempMed}_{(i-1)}, \text{TempMed}_{(i-2)}, \right. \\ \left. \text{TempMed}_{(i-3)}, \text{Carga}_{(i)}, \text{Carga}_{(i-1)}, \text{Carga}_{(i-2)}, \text{Carga}_{(i+1)} \right)$$

Tras la limpieza, depuración y predicción de las variables de entrada, se trabajó con un conjunto de 361 observaciones. A partir de estas, se construyó una matriz con 18 variables de entrada y se identificó una carga de salida ( $i+1$ ). Los datos se dividieron en dos grupos después de su limpieza y



preparación: los primeros 241 conjuntos se utilizaron para el aprendizaje, y los 120 restantes se destinaron a la validación (ver Cuadro 7).

### **Pronóstico de la carga (i+1) con el Modelo M5P de Weka**

Primero, se construyó un "modelo de árbol" utilizando el clasificador M5P en la herramienta Weka. Se evaluaron los datos con dos enfoques: en el primero, se impidió la poda del árbol, mientras que en el segundo se permitió. En el Cuadro 8 se detallan los parámetros seleccionados para cada caso, y en el Cuadro 9 se muestran los resultados del modelo M5P sin poda (izquierda) y con poda (derecha).

El modelo de árbol podado mostró una mayor precisión ( $R = 0.777$ ) en comparación con el modelo árbol sin podar ( $R = 0.077$ ). Ambos modelos presentaron errores significativos ( $RMSE = 57.904$  y  $3054.982$ , respectivamente), resultados que coinciden con los hallazgos de Maskey [REF 27]. Además, el árbol podado es más sencillo de interpretar que el no podado (Figura 6), reduciendo el número de reglas de 131 a 4. Aunque existe una ligera diferencia en el tiempo de procesamiento entre ambos modelos (1.4 y 1.04 segundos), esta podría considerarse irrelevante.

### **Pronóstico de la carga (i+1) con el Modelo MLP de Weka y MATLAB**

Se utilizaron tanto Weka como MATLAB para desarrollar el modelo MLP con el fin de predecir la carga (i + 1). En el Cuadro 10 se detallan los parámetros de la red neuronal MLP empleados en ambas herramientas para configurar el modelo.

Durante el entrenamiento, es posible ajustar los parámetros de aprendizaje, siendo los más críticos las funciones ocultas y la tasa de aprendizaje. Las Figuras 7 y 8 ilustran el modelo MLP implementado en Weka y MATLAB, respectivamente.

Al comparar los errores de las dos técnicas, específicamente la raíz del error cuadrático medio (RMSE) tras las ejecuciones (Figuras 9 y 10), se observa que el modelo PCM en Weka fue ligeramente menos preciso ( $R = 0.796$ ) que el desarrollado en MATLAB ( $R = 0.816$ ). Además, el error en Weka fue mayor ( $RMSE = 57.533$ ) en comparación con el de MATLAB ( $RMSE = 39.959$ ), que resultó significativamente menor. Esta diferencia en la magnitud del error podría deberse a que MATLAB ejecuta el algoritmo PCM más rápido, ya que utiliza la "tasa de aprendizaje del descenso por el gradiente", lo que permite un control más preciso de los cuatro parámetros y optimiza el tiempo de calibración frente a la "tasa de aprendizaje adaptativo" empleada en Weka. Cabe destacar que lograr resultados consistentes en ambos modelos no es sencillo, por lo que se requieren criterios más estrictos para alcanzar los mismos resultados.

### **Pronóstico de la carga (i+1) con el Modelo FBR de Weka y MATLAB**



El modelo FBR se configuró ajustando el número de clusters (grupos de aprendizaje) en ambos enfoques. Tras varios intentos de prueba y error, se determinó que el mejor valor constante de clusters para Weka fue 7, mientras que en MATLAB se estableció un valor constante de 15500 para el parámetro spread (ancho) de la función de base radial, cuyo valor por defecto es 1.0. Estos ajustes permitieron normalizar los datos.

Se observó que, al modificar estos parámetros, los resultados fueron más precisos en MATLAB (Figura 11), con un error menor (RMSE = 34.065) en comparación con Weka (Figura 12; RMSE = 88.142). Estas diferencias son significativas, ya que el objetivo es minimizar el error. A pesar de ello, los resultados obtenidos con MATLAB fueron altamente aceptables tanto en el entrenamiento como en la verificación, como se mencionó anteriormente.

En cuanto a la FBR (Función de Base Radial), MATLAB mostró un coeficiente de correlación notablemente mayor ( $R = 0.760$ ) en los datos de prueba, mientras que Weka obtuvo un valor menos significativo ( $R = 0.332$ ). Además, se evidenció que el modelo Weka tuvo dificultades para simular los picos en la gráfica de verificación (Figura 11).

### **Comparación con otros modelos**

Tras completar las fases de entrenamiento y validación, se compararon los resultados de los modelos implementados en Weka y MATLAB (árbol M5P, red neuronal (RN) y función de base radial (FBR)) con otros algoritmos disponibles en estas plataformas (ver Figuras 13 y 14). El objetivo era evaluar en qué medida las redes neuronales superan a otros métodos como herramienta de modelado y predicción. Para ello, se analizaron los siguientes modelos:

- Regresión Lineal: Incluye la regresión lineal simple, expresada como  $y = mx + b + \epsilon$ .
- Redes Elman: Se utilizó un modelo con la estructura [10 1].

Los resultados de esta comparación se resumen en el Cuadro 11.

Como se muestra en la Figura 11, el  $R^2$  del modelo neuronal con Weka es ligeramente inferior al obtenido con la regresión lineal simple en términos de ajuste, pero resulta más eficaz en la predicción. Además, el Cuadro indica que el algoritmo Elman tuvo un  $R^2$  menos preciso que ambos métodos, aunque presentó el menor error. Esto podría deberse a que las variables que explican la evolución de la demanda eléctrica en el tiempo están relacionadas de manera no lineal. Al utilizar modelos lineales, como la regresión lineal, se ignora la parte no lineal del fenómeno, lo que genera un error significativo en el ajuste. En cambio, las redes neuronales (RN), al emplear funciones de transferencia no lineales, permiten capturar estas relaciones no lineales, lo que mejora la capacidad del modelo para representar la dinámica del fenómeno estudiado.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### *Conclusiones*

Las técnicas de inteligencia artificial, especialmente la minería de datos, han demostrado ser efectivas para resolver problemas en redes de distribución eléctrica, permitiendo el pronóstico de series temporales y la predicción de variables de carga. Este estudio propone una metodología para predecir la carga en sistemas de generación y distribución eléctrica, aplicable incluso sin ser experto en el sector.

La metodología transforma estadísticas descriptivas del comportamiento de la carga en conocimiento predictivo sobre la red. Se emplearon técnicas como la correlación de Spearman para identificar variables no redundantes y árboles de decisión para seleccionar las más relevantes. Para el pronóstico, se utilizó un modelo vector autoregresivo basado en una red neuronal Perceptrón, y una red MLP para la predicción de carga, demostrando su eficacia en el caso de estudio. Finalmente, se integraron los resultados en un escenario real de generación y distribución.

Además, se destacó la influencia de variables climatológicas, como la temperatura, y factores temporales en la curva de carga eléctrica, aunque la relación exacta con la demanda sigue siendo compleja, asemejándose a una "caja negra" que procesa entradas para generar salidas ajustadas a ciertos criterios.

### *Recomendaciones*

La metodología propuesta tiene la ventaja de no basar el pronóstico de carga en una sola variable, sino en un proceso de selección de variables relacionadas con la predicción, utilizando datos viables en un escenario de red real.

Entre las posibles líneas de investigación derivadas de este trabajo, destacan:

1. Integración en tiempo real: Implementar la metodología en un sistema para monitorear constantemente las variables de red seleccionadas, ya sea mediante hardware o software, para predecir la carga en los puntos de compra de empresas eléctricas. Esto permitiría obtener pronósticos horarios para cualquier día futuro.
2. Sistemas inteligentes: Incorporar los valores de predicción en un sistema automatizado que responda ante interrupciones en el suministro, permitiendo consultas sobre datos históricos, factores de carga, demanda máxima/mínima, entre otros.
3. Mejora de modelos: Durante el desarrollo de la metodología, se podrían explorar modelos basados en redes MLP o combinar técnicas de selección para reducir el error en la validación de datos.



4. Optimización con algoritmos genéticos: Dada la incertidumbre en los parámetros de la red neuronal (unidades ocultas, tasa de aprendizaje, etc.), se podría estudiar su optimización mediante algoritmos genéticos, reduciendo el riesgo de mínimos locales en el entrenamiento.
5. Uso de transformadas wavelets: Investigar la aplicación conjunta de modelos neuronales y transformadas wavelet para filtrar ruido en series de datos, permitiendo predicciones más precisas sobre la evolución del fenómeno estudiado.

Estas propuestas buscan mejorar la precisión y aplicabilidad de la metodología en escenarios reales.

## AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a los colaboradores de la sección de energía y al personal de la Sección de Hidrología y Meteorología de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) por su apoyo brindado al suministrar la data necesaria para el desarrollo de este trabajo. Finalmente, al Ingeniero Javier Acosta por todo el apoyo brindado, consejos y sugerencias respecto al tema de la generación de energía eléctrica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahlemeyer-Stubbe, A., & Coleman, S. (2014). *A practical guide to data mining for business and industry*. John Wiley & Sons.
- Ausmus, J., de Carvalho, R. S., Chen, A., Velaga, Y. N., & Zhang, Y. (2019). Big data analytics and the electric utility industry. 2019 international conference on smart grid synchronized measurements and analytics (SGSMA),
- Cervantes, B., Monroy, R., Medina-Pérez, M. A., Gonzalez-Mendoza, M., & Ramirez-Marquez, J. (2018). Some features speak loud, but together they all speak louder: A study on the correlation between classification error and feature usage in decision-tree classification ensembles. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 67, 270-282.
- Dudhia, J. (2014). A history of mesoscale model development. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 50, 121-131.
- Dudhia, J., & Bresch, J. F. (2002). A global version of the PSU-NCAR Mesoscale Model. *Monthly Weather Review*, 130(12), 2989-3007.
- Figueiredo, V., Rodrigues, F., Vale, Z., & Gouveia, J. B. (2005). An electric energy consumer characterization framework based on data mining techniques. *IEEE Transactions on power systems*, 20(2), 596-602.
- Linoff, G. S., & Berry, M. J. (2011). *Data mining techniques: for marketing, sales, and customer relationship management*. John Wiley & Sons.



- Schuelke-Leech, B.-A., Barry, B., Muratori, M., & Yurkovich, B. (2015). Big Data issues and opportunities for electric utilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 937-947.
- Shmueli, G., Bruce, P. C., Yahav, I., Patel, N. R., & Lichtendahl Jr, K. C. (2017). *Data mining for business analytics: concepts, techniques, and applications in R*. John Wiley & Sons.
- Skamarock, W. C., Duda, M. G., Ha, S., & Park, S.-H. (2018). Limited-area atmospheric modeling using an unstructured mesh. *Monthly Weather Review*, 146(10), 3445-3460.
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Duda, M. G., Fowler, L. D., Park, S.-H., & Ringler, T. D. (2012). A multiscale nonhydrostatic atmospheric model using centroidal Voronoi tessellations and C-grid staggering. *Monthly Weather Review*, 140(9), 3090-3105.
- Weber, N. J., & Mass, C. F. (2019). Subseasonal weather prediction in a global convection-permitting model. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100(6), 1079-1089.
- Weiss, G. M. (1999). Timeweaver: A genetic algorithm for identifying predictive patterns in sequences of events. Proceedings of the 1st Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation-Volume 1,
- Weiss, G. M. (2003). *The effect of small disjuncts and class distribution on decision tree learning*. Rutgers The State University of New Jersey, School of Graduate Studies.
- Weiss, G. M. (2009). The impact of small disjuncts on classifier learning. In *Data mining: Special issue in annals of information systems* (pp. 193-226). Springer.
- Weiss, G. M., & Hirsh, H. (1998a). Learning to predict rare events in categorical time-series data. International Conference on Machine Learning,
- Weiss, G. M., & Hirsh, H. (1998b). Learning to Predict Rare Events in Event Sequences. KDD,
- Xu, Z., Kusner, M. J., Weinberger, K. Q., Chen, M., & Chapelle, O. (2014). Classifier cascades and trees for minimizing feature evaluation cost. *The Journal of Machine Learning Research*, 15(1), 2113-2144.



Revista Especializada de Ingeniería  
y Ciencias de la Tierra

VOL: 5 N° 1 Julio - Diciembre 2025

ISSN L: 2805-1874

---

**Efectividad del Protocolo Terapéutico Aplicado a Pacientes con Accidente  
Ofídico Atendidos en el Cuarto de Urgencias de un Hospital Público  
Ubicado en la Provincia de Veraguas. Enero-diciembre, 2021**

**Effectiveness of the Therapeutic Protocol Applied to Snakebite Patients  
Treated in the Emergency Room of a Public Hospital in the Province of  
Veraguas. January-december, 2021**

Serena Pérez Aguilar

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Panamá

serena.perez@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-8159-0641>

Andrea Mojica

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Panamá

andrea.mojica@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-0295-9509>

Daniela Rodríguez

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Panamá

danila.rodriguez@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-64106029>

Betzy Camarena

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Panamá

betzy.camarena@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0001-6075-0119>

Suseth Bósquez

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Panamá

suseth.bosquez@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-8922-2085>



Yamila Robles  
Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Panamá  
yamila.robles@up.ac.pa  
<https://orcid.org/0000-0002-8825-9337>

Lisbeth Lopez  
Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Panamá  
lisbeth.lopez-s@up.ac.pa  
<https://orcid.org/0000-0003-0746-2438>

Victor Parada  
Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Panamá  
victor.parada@up.ac.pa  
<https://orcid.org/0000-0002-7411-7856>

**Recibido: 9/2/2025 Aceptado: 10/6/2025**

DOI <https://doi.org/10.48204/reicit.v5n1.7685>

## **RESUMEN**

Se realizó un estudio cuantitativo, con el objetivo de determinar el nivel de efectividad del protocolo terapéutico aplicado a pacientes atendidos con accidente ofídico en el Cuarto de Urgencias del Hospital Luis Chicho Fábrega durante el período correspondiente a enero-diciembre 2021. El estudio fue de tipo descriptivo, de corte transversal y retrospectivo, con un universo de 235 casos de sexo masculino y femenino, de los cuales se tomó como muestra a todos los pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión, conformados por 194 casos. Se utilizó el programa Microsoft office Word 2017 para la redacción del informe final, el programa estadístico SPSS y Excel 2013 para la realización de gráficos y tablas. Se obtuvo la información mediante la aplicación del instrumento Manejo clínico según norma terapéutica de los autores Solís-Tinoco con la revisión directa de los expedientes clínicos de los pacientes. El análisis del cumplimiento del protocolo se realizó con base a los cuatro pilares fundamentales del manejo terapéutico: área de localización de la mordida, indicación de pruebas de laboratorios, administración del suero antiofídico y la cobertura antimicrobiana. Los resultados determinaron que la identificación del cuadro clínico de acuerdo con signos y síntomas presentados por el paciente en relación con su nivel de toxicidad, según el protocolo aplicado fueron: 23% casos de envenenamiento ausente, 33% leve, 40% moderado y 4% severos.



Se concluyó que el cumplimiento terapéutico según la norma de atención a pacientes intoxicados en dichos casos fue de 77.3% en relación con la administración del suero antiofídico, la realización de pruebas de laboratorios y exámenes complementarios necesarios para la evaluación del daño de las toxinas por el veneno a los diferentes órganos fue del 100% igual porcentaje para la cobertura antimicrobiana.

**PALABRAS CLAVE:** efectividad, protocolo terapéutico, accidente ofídico.

## **ABSTRACT**

A quantitative study was carried out with the aim of determining the level of effectiveness of the therapeutic protocol applied to patients treated with snakebite in the Emergency Room of the Luis Chicho Fábrega Hospital, in the period corresponding to January-December 2021. The study was descriptive, cross-sectional and retrospective, with a universe of 235 male and female cases, of which all patients who met the inclusion criteria were taken as a sample, made up of 194 cases. The Microsoft office Word 2017 program was used to write the final report, the SPSS statistical program and Excel 2013 for making graphs and tables. The information was obtained through the application of the Clinical management according to therapeutic standard instrument by the authors Solís-Tinoco with the direct review of the patients' clinical records. The compliance analysis of the protocol was carried out based on the four fundamental pillars of therapeutic management: area of bite location, indication of laboratory tests, administration of anti-venom serum and antimicrobial coverage. The results determined that the identification of the clinical picture according to signs and symptoms presented by the patient in relation to their level of toxicity, according to the applied protocol were: 23% cases of absent poisoning, 33% mild, 40% moderate and 4% severe. It was concluded that therapeutic compliance according to the Standard of care for poisoned patients in such cases was 77.3% in relation to the administration of anti-venom serum, the performance of laboratory tests and complementary examinations necessary for the evaluation of the damage of toxins by the venom to the different organs was 100%, the same percentage for antimicrobial coverage.

**Keywords:** effectiveness, therapeutic protocol, snakebite accident.



## 1. Introducción

Se conoce como accidente ofídico a una mordedura causada por una serpiente que inocula sustancias tóxicas en los tejidos y que puede producir lesiones irreversibles e incluso la muerte si no se da una pronta atención. El desarrollo de actividades agrícolas se relaciona estrechamente con la incidencia de los casos, así también con la localización anatómica de las heridas en su mayoría miembros inferiores (Mota, 2008).

A nivel mundial, las especies de serpientes oscilan aproximadamente entre 3,000 de las cuales sólo la sexta parte son venenosas. Por sus características ecológicas y biogeográficas, Centroamérica posee una rica fauna de reptiles, entre los que se dan más de 150 especies de serpientes. En nuestro país, predominan 2 familias responsables de ofidotoxicosis: Elapidae y Viperidae. Se menciona que está presente la familia Hidropidae; sin embargo, hasta el momento no hay casos confirmados que la involucren.

El veneno de cualquier especie puede contener más de cien productos tóxicos y no tóxicos que incluyen proteínas, péptidos, carbohidratos, lípidos, aminas, entre otros, que determinan la gravedad del cuadro clínico del paciente y, por ende, el manejo terapéutico que radica principalmente en la administración del suero antiofídico para evitar las complicaciones de mayor grado.

La evolución del paciente va en dependencia de diversos factores, como son: acceso inmediato a centro de salud, personal de salud capacitado para abordar a pacientes con accidente ofídico y disponibilidad de medicamentos, especialmente, de suero antiofídico.

En este trabajo, se realizó una revisión del cumplimiento de protocolo en el manejo clínico de pacientes con accidente ofídico, ya que la evolución favorable y las complicaciones que se presenten de manera inmediata o largo plazo dependerán de la atención rápida, y correcto abordaje médico.

El propósito de esta investigación fue analizar las manifestaciones clínicas en los pacientes que acudieron al área de Emergencia del Hospital Dr. Luis Chicho Fábrega durante el año 2021, con lo cual se determinará la relación de los factores de riesgo con la presentación de complicaciones en el curso evolutivo de la enfermedad, que permitirá actualizar información de esta patología de gran demanda en el hospital y fortalecerá los



conocimientos en cuanto a prevención y manejo inicial de accidentes ofídicos, de esta forma se espera disminuir la incidencia y la mortalidad.

A través de un estudio retrospectivo, transversal y descriptivo, se registró la información de todos los pacientes con diagnóstico de mordeduras de serpientes, captados desde el mes de enero hasta diciembre del 2021. Se analizaron los antecedentes evolutivos de la enfermedad, su incidencia a nivel local, epidemiología, métodos complementarios de diagnóstico y tratamientos vigentes hasta la actualidad en el área de Emergencia del Hospital Luis Chicho Fábrega. El universo estuvo constituido por todos los pacientes que llegaron al área de emergencia, siendo la muestra los que acudieron por accidente ofídico desde enero a diciembre del año 2021, a quienes se les llenó una ficha clínica con los datos necesarios para esta investigación. Se trata de una investigación descriptiva-retrospectiva, donde se evaluó la efectividad de la aplicación del protocolo de atención a pacientes con intoxicación por veneno de serpientes desde el momento de ingreso hasta su alta hospitalaria.

En el presente trabajo, se realizó una revisión del protocolo en el manejo clínico de pacientes con accidente ofídico, ya que la evolución favorable y las complicaciones que se presenten de manera inmediata o largo plazo dependerán de la atención rápida, y correcto abordaje médico.

Los resultados obtenidos de esta investigación permiten establecer las bases de un adecuado manejo de los pacientes instando a fortalecer la difusión del protocolo del Ministerio de Salud para que tenga acceso todo el personal médico y paramédico a nivel nacional, logrando así disminuir la morbi-mortalidad.

- **Antecedentes**

La ofidotoxicosis, también conocida como accidente ofídico, es el daño causado por la intoxicación luego de la inoculación de veneno como resultado de mordedura de serpientes venenosas que, por lo general, producen lesiones a los tejidos que ocasionan un conjunto de manifestaciones clínicas propias causando alteraciones fisiopatológicas a nivel local o sistémico. La periodicidad y magnitud del accidente constituyen la relevancia o significación, clasificado como un evento de interés para la salud pública (Walteros y Paredes, 2017).

Es claro lo que el autor indica que la ofidotoxicosis es un estado de salud muy crítico que puede originar la muerte de una persona provocada, específicamente, por la mordedura



de una serpiente, siendo esto lo más afectados lo que se encuentran en zonas donde existen algún tipo de animales venenosos y letales como son los ofidios.

Pérez et al. (2009), plantean que:

Las serpientes son miembros de la clase reptilia, que pueden encontrarse en prácticamente en cualquier lugar y muchas de ellas pueden ser muy peligrosas. Las serpientes venenosas al atacar y morder, inoculan veneno el cual está constituido por una mezcla de proteínas, polipéptidos y sustancias no proteicas como histamina, bradiquinina, serotonina y acetilcolina; que son la causante del intenso dolor, del edema y la hipotensión arterial. (p.8)

Se puede deducir que el autor hace hincapié de la clase de miembro animal que son las serpientes muy peligrosas, que atacan sin pensar, introduciendo su veneno donde producen fuertes dolores y malestares.

Se hace énfasis de los elementos proteicos que tienen los ofidios provocando hemorragia, bloqueo de las terminaciones nerviosas, parálisis, varias lesiones locales; y otras series de complicaciones que la víctima puede presentar al momento de sufrir un accidente ofídico.

Al respecto, Guerrero y Ludeña (2012), presenta una clasificación de la sintomatología en 3 niveles de envenenamiento: *envenenamiento leve*, presentan dolor leve, edema, eritema local del segmento, entre las 2 a 5 horas después del accidente; *envenenamiento moderado*, presentan dolor, edema, equimosis y/o flictenas serohemáticas en el sitio de la mordedura, por lo general a horas o días del accidente; *envenenamiento severo*, presentan dolor intenso, gran edema, necrosis superficial o profunda, que pueden aparecer seguido al accidente.

Las estadísticas mundiales citan un rango de 1200.000 a 5000.000 de casos anuales, de los cuales se cuantifican envenenamientos por el orden de 421.000 hasta 2500.000 casos, causando entre 20.000 a 125.000 muerte al año. Cerca de 400.000 de los pacientes afectados requieran amputación y presentan secuelas físicas y psicológicas, con el consecuente impacto a nivel sanitario y socio – económico. Las regiones más afectadas son Asia, África, Centro y Suramérica (Pineda y Rengifo, 2002).

En este caso, el autor informa cuantitativamente casos anuales donde sitúan los porcentajes y valores de afectados en los accidentes ofidios, de acuerdo al caso saber impacto



que ocasionan estos acontecimientos a las víctimas, para luego saber cómo tratarlas a cada uno de ellos.

En Colombia el 90–95% de los accidentes ofídicos son ocasionados por serpientes del género *Bothrops*, principalmente la *Bothrops atrox* (equis). Los accidentes ofídicos en el país registran una tendencia estable y que en promedio es de 13.21 casos por 100.000 habitantes. Se reportan entre 1500 a 1600 casos siendo las provincias del litoral como: Los Ríos, Guayas (Gualán, 2011).

- **El accidente ofídico en el mundo**

Es importante destacar que el accidente ofídico representa un importante problema de salud pública en las zonas tropicales y subtropicales del mundo; afectando con mayor frecuencia la población de trabajadores rurales, especialmente campesinos jóvenes en plena actividad productiva (Gutiérrez, 2011; López, 2013; Chippaux, 2011).

En el mundo, anualmente, se presentan cada año alrededor de 5.400.000 incidentes con ofidios, de los cuales 2.682.500 producen envenenamiento con 125.345 muertes (Chippaux, 2011); indicando las cifras que entre 50 y 75% de los casos requieren tratamiento para prevenir la muerte, las amputaciones o las secuelas permanentes (Organización Panamericana de la Salud, [OPS], 2007). Autores como Brenes Zúñiga (2014), estiman mundialmente al menos 421.000 envenenamientos y 20.000 muertes cada año.

Para Latinoamérica, se contemplan 175.000 mordeduras con cerca de 100.000 envenenamientos y 3.000 decesos por esta causa (Chippaux, 2011). Las especies pertenecientes al género *Bothrops* (mapanares) y *Crotalus* (cascabeles) tienen los índices más altos de morbilidad y mortalidad en América Latina (Bethancourt y Sosa, 2014). Esta misma condición ocurre en el territorio venezolano (Rodríguez, 2009). El perfil epidemiológico del ofidismo indicaría que poseen mayor riesgo los hombres que habitan en áreas rurales de países tropicales, especialmente quienes trabajan en el campo durante la temporada de lluvia y de horario vespertino. Le siguen, en frecuencia de riesgo, los niños por escasa supervisión de sus padres (Vélez-Alarcón et al., 2019).

## **2. Materiales y métodos**

En la presente investigación la información se obtuvo de la fuente primaria, es decir, de los expedientes clínicos de los pacientes.



Con el objetivo de obtener resultados confiables, fidedignos y obtenidos directamente de la realidad en relación con el cumplimiento de protocolo sobre accidente ofídico, se aplicó el método científico, basándonos en la selección del problema de estudio, para valorar el nivel de cumplimiento de las normas y protocolo en manejo clínico de pacientes con accidente ofídico, destacando su correspondiente sistema de variables, que sirvió de base para la elaboración de la ficha de recolección de datos y con la información obtenida se formularon las conclusiones y recomendaciones en torno a la problemática en estudio.

El instrumento fue aplicado por las investigadoras con la temática relacionada a las partes que forman el protocolo terapéutico utilizado para la atención y tratamiento del paciente con accidente ofídico a los expedientes de pacientes con diagnóstico de Mordedura de Ofidio atendidos en el Cuarto de Urgencias de Hospital Luis Chicho Fábrega en el período comprendido del 1 de enero al 31 de diciembre del 2021.

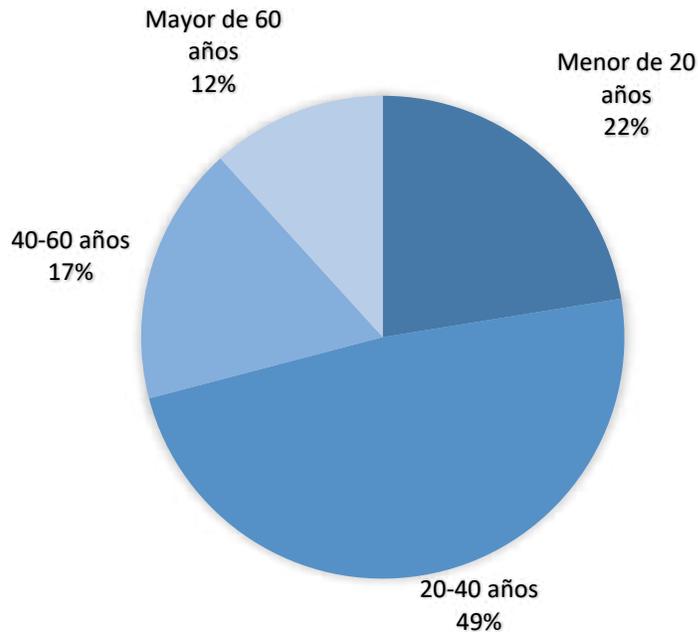
El proceso de tabulación y análisis de los resultados se realizó con la ayuda del programa SPSS, versión 23. Las tablas y gráficos se elaboraron mediante el programa Microsoft Excel.

### **3. Resultados y discusión**

De los 235 pacientes que conformaron el universo, solo 194 de ellos cumplían con los criterios de inclusión, conformando la muestra de estudio; por lo que el análisis se llevó a cabo con base a dichos pacientes.

#### **Figura 1**

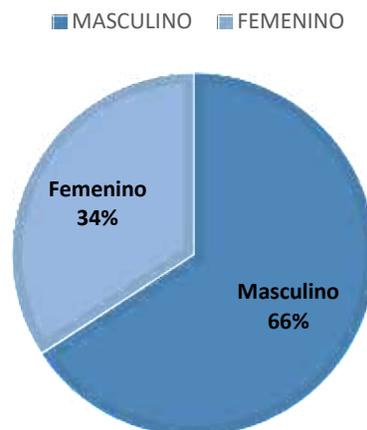
*Edad de pacientes atendidos con accidente ofídico, cuarto de urgencias, hospital Luis Chicho Fábrega. Enero a diciembre 2021.*



El predominio de edad corresponde a adultos jóvenes (20-40 años) que representa el 49% de población en estudio, similar a los datos brindado por Brenes (2014), en comparación con la guía Colombiana para el manejo del paciente intoxicado que brinda un intervalo de edad de 15-44 años, esta diferencia puede atribuirse a que la edad productiva en éste país inicie de forma temprana.

**Figura 2**

*Sexo de pacientes atendidos con accidente ofídico en el cuarto de urgencias del hospital Luis Chicho Fábrega. Enero a diciembre 2021.*



Referente al sexo, predomina el sexo masculino (66%) lo que coincide mucho con la bibliografía en revisión, que menciona al sexo masculino como mayor predominio (Brenes,

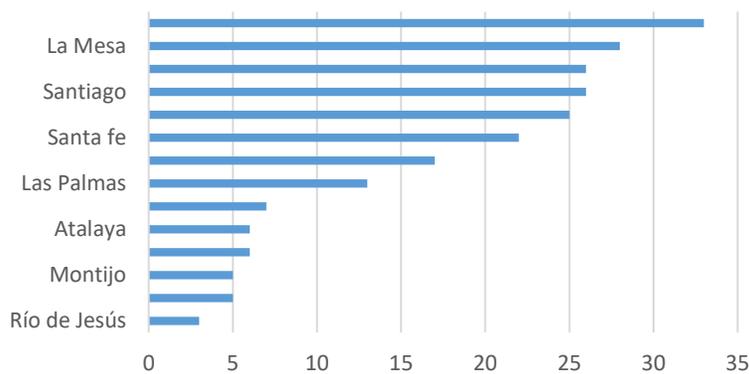


2014). Esta similitud puede deberse a características propias de la provincia de Veraguas en donde el hombre realiza en su mayor parte las labores del trabajo rural.

El distrito con la mayor cantidad de casos presentados fue el distrito de San Francisco con 33 casos, siendo este lugar predominante por las características ambientales, ocupando el segundo lugar el distrito de La Mesa con 28 casos y el tercer lugar el distrito de Ñurum con 26 casos.

### Figura 3

*Procedencia según distrito de los pacientes atendidos en el cuarto de urgencias del hospital Luis Chicho Fábrega. Enero a diciembre 2021.*

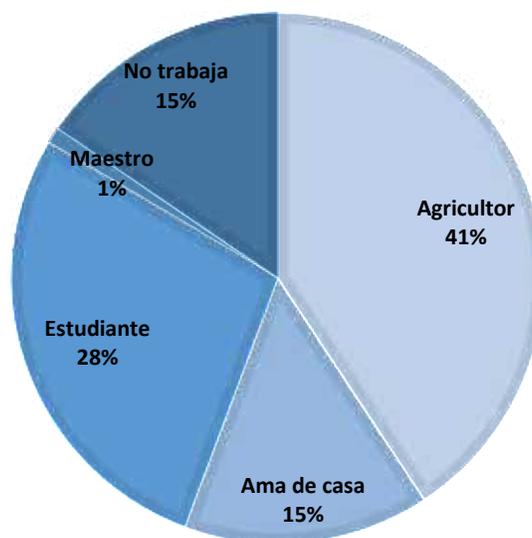


Fuente: Expediente clínico.

### Figura 4

*Ocupación de pacientes atendidos con accidente ofídico en el cuarto de urgencias del hospital Luis Chicho Fábrega. Enero a diciembre de 2021.*

■ Agricultor ■ Ama de casa ■ Estudiante ■ Maestro ■ No trabaja

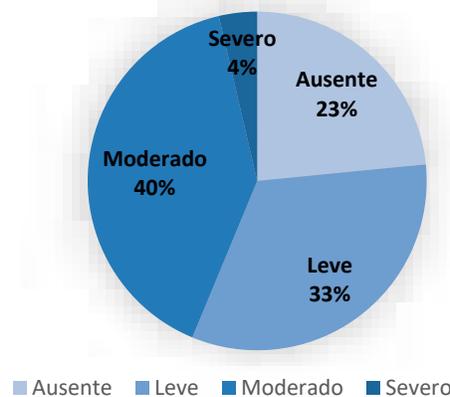




La ocupación de la mayor parte de los pacientes que formaron parte del estudio fue el de agricultor con el 41%, estudiantes con un 28% y las amas de casa y personas que no trabajan co 15% respectivamente. Coincide mucho el hecho que al dedicarse al trabajo de agricultura conlleva mayor probabilidad de sufrir accidentes ofídicos por el riesgo de exposición laboral, tal y como se menciona en el artículo: El envenenamiento por mordedura de serpientes en Centroamérica (Arroyo, et al., 1999, citado por el Instituto Clodomiro Picado, 2009) y atribuirse el resto de los casos de forma casual.

### Figura 5

*Nivel de envenenamiento en pacientes atendidos con accidente ofídico en el cuarto de urgencias del hospital Luis Chicho Fábrega. Enero a diciembre 2021.*



Por otra parte según los hallazgos de acuerdo al nivel de envenenamiento, el 40% de los casos fueron de envenenamiento moderado ocupando el mayor porcentaje de los pacientes estudiados lo que está relacionado con el artículo: Toxicología: Accidente Ofídico de Brenes (2014), para el manejo del paciente intoxicado con el volumen inoculado por el espécimen así como el peso, talla y estado fisiológico general de la persona mordida, sin embargo estos últimos aspectos no forman parte de los objetivos de nuestro estudio pero se puede afirmar que la cantidad de veneno inoculado en estos pacientes fue reducida por las características del cuadro.

### Tabla 1

*Medidas previas de pacientes atendidos con accidentes ofídico, cuarto de urgencias, hospital Luis Chicho Fábrega. Enero a diciembre 2021*

Medidas Adoptadas	Frecuencia	%
Incisiones en sitio de mordedura	5	2.6
Colocación de torniquete	3	1.5
Succión de herida con la boca	2	1.0



Colocación de emplastos o pomada en sitio de la mordedura	8	4.1
Acudir inmediatamente a Institución de salud	176	90.8
<b>Total</b>	<b>194</b>	<b>100</b>

Fuente: Expediente clínico.

En cuanto a las medidas previas 31 98% de los poacientes con accidente ofídico no tomo ninguna antes de acudir a la unidad de salud más cercana, lo que impresiona que la mayoría tiene conocimiento de que deben acudir inmediatamente por atención médica para evitar complicaciones lo que mejora de ciert manera la rápida recuperación del paciente y evitar la iatrogenia (Jara, et al., 2014).

Sin embargo, el 10.0% de los pacientes que, si tomaron medidas previas ante el accidente ofídico, de las cuales destacan la colocación de emplastos o pomadas en el sitio de la mordedura en primer lugar (4.1%)., la colocación de torniquetes (1.5%), succión de la herida con la boca (1.0%) e incisiones en el sitio de la mordedura (2.6%), presentaron evolución de su cuadro clínico en más días de hospitalización.

**Tabla 2**

*Administración del suero antiofídico según nivel de envenenamiento en pacientes con accidente ofídico atendidos en el cuarto de urgencias del hospital Luis Chicho Fábrega. Enero a diciembre 2021*

Nivel de envenenamiento	Administración de suero antiofídico			
	Si		No	
	Fr	%	Fr	%
Ausente	0	0.0	41	93.2
Leve	61	40.7	3	6.8
Moderado	82	54.7	0	0.0
Severo	7	4.7	0	0.0
Total.	150	100	44	100



Fuente: Expediente clínico.

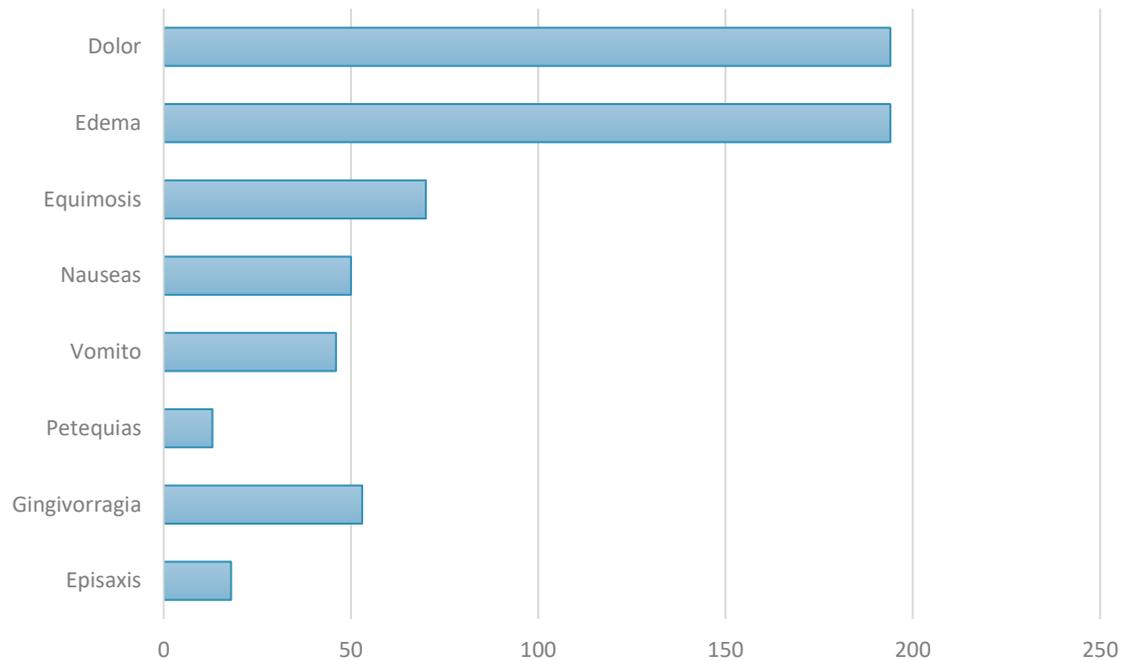
Dado que el suero antiofídico es uno de los pilares fundamentales del tratamiento según la norma de atención de los pacientes mordidos de ofidio del Hospital del Niño (2018), y el estudio de Saracco (2017), encontramos en nuestro estudio la administración del suero antiofídico a 150 pacientes que por cuadro clínico y valoración médica presentaban envenenamiento leve a severo que representan el 77.3% de los pacientes atendidos, sin tomarse en cuenta a los que presentaban envenenamiento ausente que por normativa no se le administra.

Sin embargo, no se administró ninguna dosis de suero a 3 de los pacientes con envenenamiento leve. Con estos pacientes, no se cumplió con un manejo integral y completo, representado un riesgo potencial de complicación, por lo cual hace que el cumplimiento en los estándares en el manejo de la atención no se cumpla al 100%.

Un dato relevante del estudio fue que la mayor parte de los pacientes se le administró sus dosis respectivas de suero antiofídico, lo que significa que hay existencia del mismo en las instituciones de salud de la provincia de Veraguas a las cuales acudieron por asistencia médica, esto garantiza que el paciente pueda tener una mejor evolución, menos riesgo de complicaciones y un manejo completo, de tal forma que se cumpla con lo establecido de las normas de atención a pacientes con mordedura de ofidio.

### **Figura 6**

*Clasificación del cuadro clínico en pacientes atendidos con accidente ofídico en el cuarto de urgencias del hospital Luis Chicho Fábrega. Enero a diciembre de 2021.*

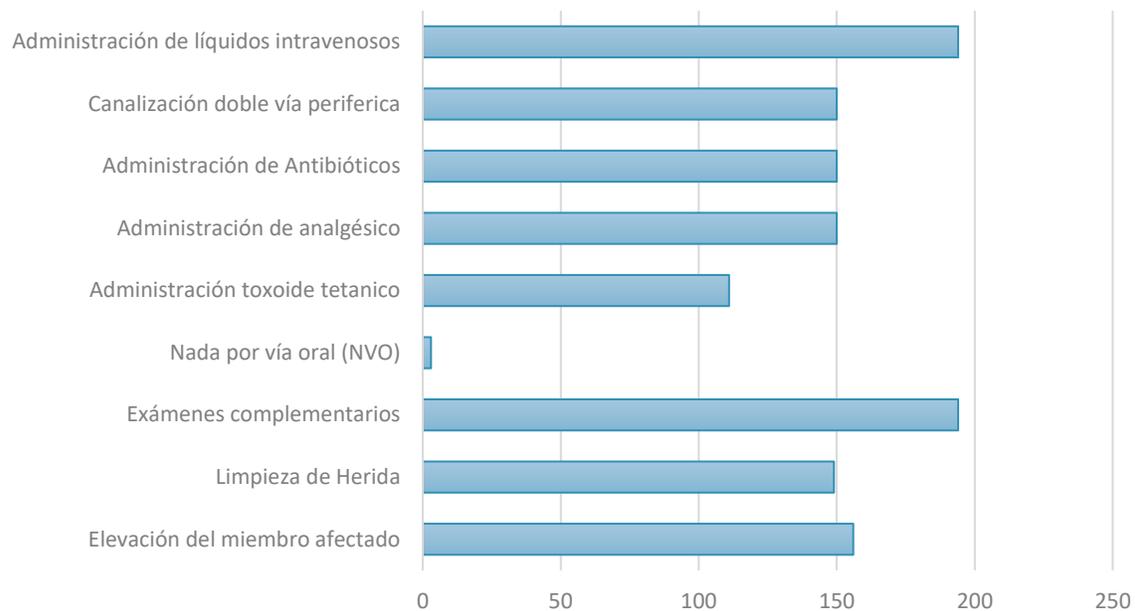


Todos los pacientes que presentaron accidente ofídico presentaron edema, de los cuales el 100 % se localizó en el sitio de la mordedura lo que significa que la mayoría de los casos fueron clasificados como moderado, al compararse con el estudio de Betancourt & Sosa (2013), encontramos que el edema es un signo presente en el 100% de los pacientes estudiados. Lo que indica que el edema es una manifestación clínica presente en la mayoría de los accidentes ofídicos independientemente de su clasificación por envenenamiento.

De la misma manera, el dolor en el sitio de la mordedura estuvo presente en el 100% de los pacientes que sufrieron dicho accidente siendo esto una característica que acompaña el efecto del veneno (Instituto Clodomiro Picado, 2009).

**Figura 7**

*Medidas terapéuticas en pacientes atendidos con accidente ofídico en el cuarto de urgencias del hospital Luis Chicho Fábrega. Enero a diciembre 2021.*



Fuente: Expediente clínico.

Según Brenes (2014), señala que el tratamiento complementario debe ser precedido por la administración de suero antiofídico. Al analizar los datos encontrados la revisión de expedientes, se cumplió con la mayor parte de las medidas terapéuticas registradas en la norma de atención a pacientes mordidos de ofidio. Al analizar cada una de las indicaciones solamente 3 de los 194 pacientes se dejó en NVO (nada por vía oral) lo que puede relacionarse con la gravedad del cuadro clínico o el nivel de envenenamiento, se administró líquidos intravenosos a los 194 pacientes que incluyen tanto para mantener vía periférica como líquidos de mantenimiento cumpliéndose solo un 100%. Según el registro del nivel de envenenamiento de leve a moderado los 150 pacientes tenían doble vía periférica, lo que indica que el 100% contaban con vías para la administración del suero antiofídico y otra vía destinada para líquidos intravenosos y resto de medicamentos. Dicha práctica se recomienda en la normativa para evitar que se contrarreste la efectividad del suero antiofídico el cual debe tener una vía periférica exclusiva en su administración.

Una pauta para la cobertura con antimicrobianos según el Ministerio de Salud Pública de Ecuador (MSPE, 2013), sostiene que los venenos de serpientes son fluidos biológicos muy



contaminados con diversos gérmenes, los más comunes son: anaerobios, como Clostridium spp y bacterias Gram negativas, principalmente enterobacterias, y pseudomonas, las cuales originar infección local e incluso sepsis. Con base en estos estudios se utiliza: penicilina sódica o la clindamicina generalmente combinada con un aminoglucósido como la gentamicina, como tratamiento empírico inicial, valorando posteriormente a cada paciente de forma individual. Puede decirse, por lo tanto, según la revisión de los casos en estudios que el 100% cumplen con dicha indicación según la base científica y según normativa, lo que refleja un buen conocimiento de esta pauta por parte del personal de salud (López, 2013).

La normativa de atención a pacientes con mordedura de ofidio habla acerca del tratamiento de las lesiones locales, en relación con las pautas como son la limpieza de la herida y elevación del miembro afectado se cumplió en el 80.4% y 76.8% respectivamente. Representa por lo tanto el 2/3 del personal médico que atendió dichos casos conoce sobre las medidas que deben tomarse en el miembro que sufrió la lesión. La realización de exámenes complementarios es necesaria para la evaluación del daño de las toxinas del veneno a los diferentes órganos, según lo menciona en la guía colombiana para el manejo de pacientes intoxicados. De los casos evaluados se cumplió con el 100% de las pruebas indicadas, como son las pruebas de coagulación TP y TPT un parámetro vital en el seguimiento, mejora y revaloración individual de los pacientes. En un menor porcentaje se encuentran el resto de los exámenes que valoran daño al órgano, entre ellos destacan pruebas de función renal (creatinina, cpk) con un promedio de 64.6% de cumplimiento, pruebas hepáticas (TGO, TGP) con un promedio de 40%. Se vio una tendencia a disminuir cada vez el número de exámenes complementarios indicados en la revisión de expedientes, si bien son pruebas auxiliares, no podemos justificar su ausencia por omisión u olvido de la misma, pues como se ha venido mencionando son parámetros que ya están establecidos un protocolo nacional para dicho manejo respaldado por una base científica. Los 194 pacientes que sufrieron accidente ofídico fueron dados de alta, no hubo ningún fallecido, traslado ni fuga pese al abordaje terapéutico que se les brindó.

#### **4. Conclusiones**

Se realizó el presente estudio para valorar la efectividad del manejo clínico según norma terapéutica, de pacientes atendidos en el Cuarto de Urgencias del Hospital Luis Chicho Fábrega. Una vez finalizado el estudio, se llegó a las conclusiones siguientes:

- La edad predominante en los pacientes fue la comprendida entre los 20-34 años, el sexo femenino, la ocupación fue la de Agricultor, la procedencia fue rural, la localidad con mayores casos fue el Distrito de San Francisco.



- La identificación del cuadro clínico de los pacientes en base a signo y síntomas familia de ofidios fue: 23% casos de envenenamiento ausente, 33% leve, 40% moderado y 4 severos pertenecientes a la familia Viperidae.
- El cumplimiento terapéutico según la Norma de atención a pacientes intoxicados fue de 90.7% en relación a la administración del suero antiofídico, la administración del tratamiento adicional y el esquema antitetánico se cumplió en 77.3% y 57.2% respectivamente. Con respecto a la cobertura antimicrobiana fue del 100%.
- Se procedió al egreso de todos los pacientes vivos y sin ninguna complicación en el momento de su alta con cita de seguimiento por consulta externa; lo que permite confirmar la efectividad del protocolo terapéutico en el cumplimiento total de la Norma para el manejo en los casos analizados del presente estudio.
- Por período epidemiológico y anual la incidencia de accidentes ofídicos en la provincia de Veraguas, es importante tenerla en cuenta para realizar la caracterización epidemiológica, de esta manera poder clasificarlo dentro de los eventos de importancia en salud pública.
- Identificar población en riesgo y orientar las acciones de prevención y control, se deben analizar los datos por grupos etarios.
- El presente estudio nos facilitó hacer la propuesta para el manejo de pacientes con accidente ofídico, debido a la importancia de establecer el tipo de tratamiento instaurado, el número de casos tratados de forma hospitalaria y el uso de suero antiofídico, para que las instituciones de salud conozcan la situación real en cada distrito que facilite la oportuna atención de los pacientes.

### Referencias bibliográficas

- Betancourt, N. y Sosa, S. (2014). *Perfil eco-epidemiológico y clínico de los accidentes causados por ofidios en el Estado Anzoátegui, Venezuela. periodo 2009-2011*. [Tesis de Fin de Grado]. Universidad de Oriente. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/228524>
- Brenes Zúñiga, M. (2014). Toxicología: Accidente Ofídico. *Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica*, LXXII (611), 539-550. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revmedcoscen/rmc-2014/rmc143zd.pdf>
- Chippaux, J. (2011). Estimate of the Burden of Snakebites in sub-Saharan Africa: A Meta-analytic Approach. *Toxicon*, 57(4), 586-599. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21223975/>



- Gualán, S. (2011). *Caracterización epidemiológica y clínica de los pacientes que presentaron accidente ofídico, atendidos en el Hospital Marco Vinicio Iza de la provincia de Sucumbíos, durante el periodo de enero a diciembre del año 2010*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. [https://rraae.cedia.edu.ec/Record/PUCE\\_dbdbdbe5a6f4a23a6f9ccadcdda19117](https://rraae.cedia.edu.ec/Record/PUCE_dbdbdbe5a6f4a23a6f9ccadcdda19117)
- Guerrero E. y Ludeña, R. (2012). *Evaluación del manejo prehospitalario de pacientes por mordedura de serpiente que acuden al Área de Salud No 9 Hospital Básico de Alamor y complicaciones en el manejo clínico, atendidos en el periodo abril 2012 a septiembre 2012*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja]. [https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UNL\\_8ad3fb476fd14c6ec08c6634bcf8313a](https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UNL_8ad3fb476fd14c6ec08c6634bcf8313a)
- Gutiérrez, J. M. (2011). Envenenamientos por mordeduras de serpientes en América Latina y el Caribe: Una visión integral de carácter regional. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 51(1), 1-16. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1690-46482011000100001](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482011000100001)
- Jara, C., Lozada, S., y Peñaranda, J. (2014). *Conocimientos, actitudes y prácticas sobre la mordedura de ofidio. Patuca-Morona Santiago*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. <https://es.scribd.com/document/409981558/Tesis-de-Ecuador-pdf>
- Hospital del Niño Dr. José Renán Esquivel. (2018). Protocolo de Manejo del Paciente con Mordedura de Ofidio. Panamá. <https://hn.sld.pa/wp-content/uploads/2022/03/Mordedura-de-ofidio-.pdf>
- Instituto Clodomiro Picado (2009). El Envenenamiento por Accidente Ofídico en Centroamérica. Universidad de Costa Rica. [https://www.icp.ucr.ac.cr/sites/default/files/paragraphs-img/El envenenamiento por mordedura en Centroamerica 2009 color.pdf](https://www.icp.ucr.ac.cr/sites/default/files/paragraphs-img/El%20envenenamiento%20por%20mordedura%20en%20Centroamerica%202009%20color.pdf)
- López, D. (2013). *Utilidad de antibiótico terapia en relación a la presentación de complicaciones en accidente ofídico de pacientes atendidos en el Hospital Provincial Puyo periodo enero 2012-agosto 2012*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Ecuador]. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/8325ada7-44f9-4cfb-ba1e-9fd0e47e320c>
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador (2013). *Manual de normas y procedimientos sobre prevención y tratamiento de accidentes ocasionados por mordedura de serpientes*. Dirección de Normatización del Sistema Nacional de Salud. <https://aplicaciones.msp.gob.ec/salud/archivosdigitales/documentosDirecciones>
- Mota, J. (2008). *Accidente ofídico en Venezuela: Epidemiología, Clínica y Tratamiento del accidente ofídico en Venezuela*. Universidad Rómulo Gallegos. Área de Ciencia de la Salud. <https://repositorio.ug.edu.ec/bitstreams/e9ecfa10-fc5c-4059-a7f6-e47357f35712/download>
- Organización Panamericana de la Salud. (2007). Consulta Técnica sobre Accidente con Animales Ponzosos en Latinoamérica. Brasil. <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/34288/consultatecnica-spa.pdf?sequence=2>
- Pérez, E., Carvajal, A. y Rivas, H. (2009). Serpiente Venenosas: reconocimiento y tratamiento general de sus mordeduras. <https://www.revista.unam.mx/vol.1/num3/sabias2/>.
- Pineda, D. y Rengifo J. (2002). *Accidente ofídico*. Instituto Nacional de salud, Colombia. <https://www.redalyc.org/pdf/843/84322104.pdf>



- Rodríguez, A. (2009) Serpiente de Venezuela: Manejo médico. <https://sostelemedicina.ucv.ve/serpiente/ArchivosHTML/publicaciones.htm>
- Saracco, A. (2017). Guía Diagnóstico y Tratamiento de Envenenamientos por Ofidios. Estado de Mendoza. Argentina. <https://www.mendoza.gov.ar/wp-content/uploads/sites/16/2017/05/Recomendaciones-Envenenamiento-por-Ofidios-de-Cuyo-2017.pdf>
- Vélez-Alarcón, L., Real-Cotto Jhony Joe, Idrovo-Castro Katherine Janela, Alvarado-Franco Hugo Javier, Jaramillo-Feijoo Leyda Elizabeth y Ordóñez-Sánchez, Joe Luis. (2019). Caracterización del accidente por mordedura de serpiente atendidos en unidades de Salud, Zona 5, Ecuador. *Revista científica digital INSPILIP*, 3(1), 1-16. [https://docs.bvsalud.org/biblioref/2019/09/1015211/a-caracterizacion-del-accidente-por-mordedura-de-serpiente-ate\\_bVU36fo.pdf](https://docs.bvsalud.org/biblioref/2019/09/1015211/a-caracterizacion-del-accidente-por-mordedura-de-serpiente-ate_bVU36fo.pdf)
- Walteros, D. y Paredes, A. (2017). Accidente Ofídico. Protocolo de Vigilancia en Salud Pública. Instituto Nacional de Salud Pública, Colombia. [https://www.ins.gov.co/buscador/Lineamientos/PRO%20Accidente%20ofidico\\_.pdf](https://www.ins.gov.co/buscador/Lineamientos/PRO%20Accidente%20ofidico_.pdf)



Revista Especializada de Ingeniería  
y Ciencias de la Tierra

VOL: 5 N° 1 Julio - Diciembre 2025

ISSN L: 2805-1874

---

## **La inteligencia artificial y su uso efectivo en el aula. Caso de estudio Bachillerato**

### **Artificial Intelligence and its effectiveness in the classroom. Study Case of High School**

Angelica Patricia Díaz Villavicencio  
Unidad Educativa 29 de agosto, Ecuador.  
patriciadiazvi27@gmail.com.  
<https://orcid.org/0009-0003-1718-060X>

Rocío Lara Suárez  
Unidad Educativa 29 de agosto, Ecuador  
rocio\_lara1@outlook.com  
<https://orcid.org/0009-0005-8240-490X>

Reyes Johan Calderón Angulo  
Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador  
rcalderona010@utb.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0003-3258-3853>

**Recibido: 9/2/2025 Aceptado: 10/6/2025**

DOI <https://doi.org/10.48204/reicit.v5n1.7686>

#### **RESUMEN**

Este estudio investigó la percepción y adopción de la inteligencia artificial (IA) en la educación secundaria mediante un taller participativo realizado en la Unidad Educativa 29 de agosto, ubicada en el recinto Mata de Cacao, Babahoyo, Ecuador. Se seleccionaron 20 docentes de manera aleatoria, utilizando un muestreo por conveniencia. Los resultados indicaron un cambio significativo en la percepción de los docentes sobre la IA tras el taller, aumentando las percepciones positivas y disminuyendo las negativas. Los docentes mostraron alta satisfacción con el taller, especialmente en términos de contenido, calidad de los instructores y aplicabilidad práctica. A pesar de los beneficios percibidos, los docentes expresaron preocupaciones sobre la



privacidad de los datos y la dependencia tecnológica, destacando la necesidad de políticas claras y soporte continuo. Este estudio subraya la importancia de la capacitación y el equilibrio entre la tecnología y la interacción humana para una adopción efectiva de la IA en la educación.

**PALABRAS CLAVE:** Inteligencia Artificial, Educación Secundaria, Capacitación, Percepción.

## **ABSTRACT**

This study examined the perception and adoption of artificial intelligence (AI) in secondary education through a participatory workshop held at Unidad Educativa 29 de Agosto, located in Mata de Cacao, Babahoyo, Ecuador. Twenty teachers were randomly selected using convenience sampling. The results indicated a significant shift in teachers' perceptions of AI after the workshop, with positive perceptions increasing and negative ones decreasing. Teachers expressed high satisfaction with the workshop, particularly regarding its content, instructor quality, and practical applicability. Despite the perceived benefits, teachers voiced concerns about data privacy and technological dependence, highlighting the need for clear policies and continuous support. This study underscores the importance of training and balancing technology with human interaction for the effective adoption of AI in education.

**Keywords:** Artificial Intelligence, High School Education, Training, Perception.

## **INTRODUCCIÓN**

La inteligencia artificial (IA) ha transformado diversos sectores de la sociedad moderna, y la educación no es la excepción. En el ámbito educativo, la IA promete revolucionar la manera en que se imparten y reciben conocimientos, ofreciendo herramientas que facilitan la personalización del aprendizaje, mejoran la eficiencia de la enseñanza y potencian la capacidad de los docentes para atender las necesidades individuales de los estudiantes (Wang, 2019). Esta investigación se centra en el uso efectivo de la IA en el aula de bachillerato, tomando como caso de estudio la Unidad Educativa 29 de Agosto, donde se implementaron talleres participativos con docentes para incentivar la adopción de estas tecnologías.

Los talleres participativos diseñados para este estudio tenían como objetivo principal capacitar a los docentes en el uso de herramientas basadas en IA, destacando su potencial para personalizar el aprendizaje y mejorar los resultados académicos. Se exploraron diversas aplicaciones de la IA, tales como sistemas de tutoría inteligente, análisis de datos educativos para la personalización del aprendizaje, y herramientas de evaluación automatizada (Lindner et al., 2019). Estos sistemas no solo ofrecen retroalimentación inmediata y personalizada a los estudiantes, sino que también permiten a los docentes identificar patrones de aprendizaje y dificultades específicas, facilitando una intervención más efectiva y oportuna (L. Chen et al., 2020).

Este estudio pretende contribuir a la creciente literatura sobre la implementación de la IA en el ámbito educativo, proporcionando un análisis detallado de las mejores prácticas y los desafíos asociados con su integración en el aula de bachillerato. Al compartir estos hallazgos,



se espera que otras instituciones educativas puedan beneficiarse de las experiencias y lecciones aprendidas en la Unidad Educativa 29 de Agosto, fomentando una adopción más amplia y efectiva de la IA en la educación secundaria.

## Revisión de Literatura

La inteligencia artificial (IA) ha emergido como una herramienta transformadora en el ámbito educativo, ofreciendo nuevas oportunidades para mejorar la enseñanza y el aprendizaje a través de la personalización y la automatización. Diversos estudios han investigado las aplicaciones y el impacto de la IA en la educación, proporcionando una base sólida para entender cómo estas tecnologías pueden integrarse efectivamente en el aula. Cevallos et al. (2023) exploran la integración de la IA en la educación, destacando cómo estas tecnologías pueden facilitar la personalización del aprendizaje y la adaptación a las necesidades individuales de los estudiantes. La IA permite un análisis más profundo de los datos educativos, lo que ayuda a identificar patrones de aprendizaje y a proporcionar retroalimentación personalizada. Este enfoque puede mejorar significativamente el rendimiento académico y la motivación de los estudiantes.

Delgado et al. (2024) examinan las percepciones del profesorado sobre los beneficios y limitaciones de la IA en diferentes niveles educativos. Los resultados indican que los docentes reconocen el potencial de la IA para mejorar la eficacia educativa, especialmente en términos de personalización y evaluación. Sin embargo, también se identifican desafíos, como la falta de formación adecuada y las preocupaciones éticas relacionadas con la privacidad y el uso de datos. Forero Corba y Negre Bennásar (2024a, 2024b) realizan una revisión sistemática de las técnicas y aplicaciones del machine learning y la IA en la educación. Estos estudios destacan la diversidad de aplicaciones, desde sistemas de tutoría inteligente hasta herramientas de evaluación automatizada. Las revisiones enfatizan la importancia de la formación docente y el desarrollo profesional continuo para asegurar una implementación efectiva de estas tecnologías.

González y Rosúa (2023) investigan el uso de la IA para diseñar propuestas didácticas en Física y Química en educación secundaria. Los autores encuentran que la IA puede ayudar a crear materiales educativos más interactivos y personalizados, lo que facilita la comprensión de conceptos complejos y mejora el rendimiento de los estudiantes. Herrera (2023) analiza el impacto de la IA en el proceso de enseñanza y aprendizaje en la educación secundaria. El estudio revela que la IA puede mejorar la eficiencia de la enseñanza al automatizar tareas rutinarias y proporcionar recursos educativos personalizados. Sin embargo, también señala la necesidad de una infraestructura tecnológica adecuada y el apoyo institucional para aprovechar plenamente estas tecnologías.

Lara et al. (2023) ofrecen un análisis del presente y futuro de la IA en la educación superior. Su investigación subraya las oportunidades que la IA ofrece para la innovación educativa, incluyendo la personalización del aprendizaje y la mejora de la accesibilidad. No obstante, también destacan los desafíos relacionados con la formación docente y la integración tecnológica. Sanabria-Navarro et al. (2023) discuten las incidencias de la IA en la educación contemporánea, enfatizando la capacidad de la IA para transformar la educación mediante la



creación de entornos de aprendizaje más dinámicos y adaptativos. Este estudio también aborda las implicaciones éticas y la necesidad de políticas que regulen el uso de la IA en el ámbito educativo.

Vera (2023) explora los desafíos y oportunidades de la integración de la IA en la educación superior, destacando la necesidad de un enfoque equilibrado que considere tanto los beneficios educativos como las preocupaciones éticas y de privacidad. La formación docente y el desarrollo profesional son cruciales para asegurar una implementación exitosa. Vivar y Peñalvo (2023) reflexionan sobre la ética, potencialidades y retos de la IA en el marco de la educación de calidad. Los autores argumentan que la IA puede contribuir significativamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente en la mejora de la calidad educativa. Sin embargo, enfatizan la necesidad de un marco ético robusto que guíe el uso de la IA en la educación.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La presente investigación utilizó un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para obtener una comprensión integral del uso de la inteligencia artificial (IA) en el aula de bachillerato. Se adoptó un diseño descriptivo para analizar las percepciones, actitudes y conocimientos de los docentes respecto a la IA antes y después de la intervención educativa. La investigación se llevó a cabo en la Unidad Educativa 29 de Agosto, ubicada en el recinto Mata de Cacao, Babahoyo, Ecuador, donde se seleccionaron 20 docentes mediante muestreo por conveniencia para participar en talleres participativos realizados en el tercer trimestre del año 2024, que fueron diseñados para incentivar el uso de la IA y promover una educación basada en competencias.

Los participantes fueron 20 docentes de diversas materias en el nivel de bachillerato, seleccionados al azar mediante un muestreo por conveniencia. Este método permitió incluir a docentes que estuvieran disponibles y dispuestos a participar en el estudio, asegurando una muestra representativa de la comunidad educativa. Los docentes participantes varían en edad, experiencia y familiaridad previa con tecnologías de IA.

Para la recolección de datos se emplearon varios instrumentos. Se diseñó y administró un cuestionario estructurado antes y después de los talleres para evaluar los conocimientos y actitudes de los docentes respecto a la IA. El cuestionario incluía preguntas cerradas y abiertas, permitiendo tanto la cuantificación de datos como la obtención de información cualitativa detallada. Adicionalmente, se realizaron entrevistas semi-estructuradas con los docentes al finalizar los talleres, proporcionando una comprensión más profunda de sus experiencias y percepciones.

El estudio se desarrolló en tres fases. En la primera fase, se administró un cuestionario pre-taller a los docentes para evaluar su conocimiento inicial y actitudes hacia la IA. En la segunda fase, se llevaron a cabo los talleres participativos. Estos talleres se estructuraron en cuatro sesiones de dos horas cada una, abarcando temas como los fundamentos de la IA, aplicaciones prácticas en la educación, herramientas de tutoría inteligente y análisis de datos



educativos. Los talleres incluyeron presentaciones teóricas, demostraciones prácticas y actividades colaborativas diseñadas para fomentar la interacción y el aprendizaje activo.

Durante las sesiones, se utilizaron diversas herramientas tecnológicas y recursos educativos para ilustrar el potencial de la IA en el aula. Los participantes tuvieron la oportunidad de experimentar con estas herramientas, aplicándolas a escenarios educativos específicos y discutiendo sus posibles beneficios y desafíos. Al finalizar cada taller, se realizaron sesiones de reflexión grupal donde los docentes compartieron sus impresiones y debatieron sobre la aplicabilidad de lo aprendido en sus contextos de enseñanza.

En la tercera fase, se administró un cuestionario post-taller para medir los cambios en el conocimiento y las actitudes de los docentes. Además, se llevaron a cabo entrevistas semi-estructuradas con una selección de docentes para profundizar en sus experiencias y percepciones sobre el uso de la IA en la educación. Las entrevistas fueron grabadas, transcritas y analizadas utilizando técnicas de análisis de contenido cualitativo para identificar temas y patrones recurrentes.

Los datos cuantitativos obtenidos de los cuestionarios pre y post-taller se analizaron utilizando técnicas estadísticas descriptivas, como medidas de tendencia central y dispersión, para comparar los conocimientos y actitudes de los docentes antes y después de la intervención. Se realizaron pruebas de hipótesis para determinar la significancia de los cambios observados. Los datos cualitativos de las entrevistas se analizaron mediante un enfoque de análisis temático, identificando categorías y subcategorías que reflejan las percepciones y experiencias de los docentes respecto a la IA.

## RESULTADOS

Luego del levantamiento de información, previo y post la encuesta realizada a estudiantes, se utilizaron métodos estadísticos para sintetizar dicha información, este apartado presenta los principales resultados obtenidos en base a la metodología diseñada. Primeramente, la Tabla 1 presenta la Percepción de los Docentes sobre la IA.

**Tabla 1**

*Percepción de los Docentes sobre el Uso de IA.*

Percepción de la IA	Antes del Taller (%)	Después del Taller (%)
Muy positiva	10	50
Positiva	15	40
Neutral	30	10
Negativa	30	0
Muy negativa	15	0



Total	100	100
-------	-----	-----

*Nota.* Esta tabla muestra un cambio significativo en la percepción de la IA por parte de los docentes antes y después del taller. Se observa un aumento considerable en las percepciones "Muy positiva" y "Positiva" después de la intervención educativa.

La Tabla 1 ilustra la percepción de los docentes sobre la inteligencia artificial (IA) antes y después de participar en el taller. Inicialmente, solo el 10% de los docentes tenía una percepción "Muy positiva" sobre la IA, mientras que un 15% la consideraba "Positiva". Sin embargo, después del taller, estas percepciones mejoraron significativamente, con un 50% de los docentes calificando su percepción como "Muy positiva" y un 40% como "Positiva". Las percepciones "Neutral", "Negativa" y "Muy negativa" disminuyeron drásticamente, reflejando el impacto positivo del taller en la percepción de los docentes sobre la IA.

**Tabla 2**

*Nivel de Satisfacción de los Docentes con el Taller*

Aspecto Evaluado	Muy Satisfecho (%)	Satisfecho (%)	Neutral (%)	Insatisfecho (%)	Muy Insatisfecho (%)
Contenido del taller	60	35	5	0	0
Calidad de los instructores	70	25	5	0	0
Relevancia de los temas tratados	65	30	5	0	0
Aplicabilidad práctica de lo aprendido	55	40	5	0	0
Organización y logística del taller	75	20	5	0	0
Promedio General	65	30	5	0	0

*Nota.* Esta tabla refleja el alto nivel de satisfacción de los docentes con diferentes aspectos del taller, destacándose especialmente la calidad de los instructores y la organización del taller.



A continuación, la tabla 2 resume el nivel de satisfacción de los docentes respecto al taller, evaluando varios aspectos clave. El 95% de los docentes se mostraron "Muy satisfechos" o "Satisfechos" con el contenido del taller, y un 95% también valoraron positivamente la calidad de los instructores. La relevancia de los temas tratados y la aplicabilidad práctica de lo aprendido también recibieron altas calificaciones, con un 95% de satisfacción en ambos aspectos. La organización y logística del taller fueron especialmente bien valoradas, con un 75% de los docentes "Muy satisfechos". En general, la tabla refleja un alto nivel de satisfacción con todos los aspectos evaluados del taller.

**Tabla 3**

*Aprovechamiento del Taller por Parte de los Docentes*

<b>Aspecto Evaluado</b>	<b>Muy Alto (%)</b>	<b>Alto (%)</b>	<b>Medio (%)</b>	<b>Bajo (%)</b>	<b>Muy Bajo (%)</b>
Incremento en el conocimiento sobre IA	55	35	10	0	0
Aplicabilidad de la IA en su práctica docente	50	40	10	0	0
Confianza en el uso de herramientas de IA	45	40	15	0	0
Mejora en la planificación de clases	60	30	10	0	0
Interacción y participación en el taller	70	25	5	0	0
Promedio General	56	34	10	0	0

*Nota.* Esta tabla muestra el alto grado de aprovechamiento del taller por parte de los docentes, con una mejora notable en su conocimiento sobre IA, su aplicabilidad en la práctica docente y su confianza en el uso de herramientas de IA.



La Tabla 3 muestra el grado de aprovechamiento del taller por parte de los docentes, medido en varios indicadores. Un 90% de los docentes reportaron un "Muy alto" o "Alto" incremento en su conocimiento sobre IA, y un 90% también consideraron que la IA es aplicable en su práctica docente. La confianza en el uso de herramientas de IA aumentó significativamente, con un 85% de los docentes sintiéndose más seguros. La mejora en la planificación de clases y la interacción y participación en el taller también fueron evaluadas positivamente, con un 90% y 95% de satisfacción respectivamente. Esta tabla destaca que los docentes aprovecharon el taller de manera significativa, incrementando su conocimiento y confianza en el uso de la IA en la educación.

**Tabla 4**

*Percepción de los Docentes sobre la Utilidad de la IA en la Educación*

<b>Indicador Evaluado</b>	<b>Totalmente de acuerdo (%)</b>	<b>De acuerdo (%)</b>	<b>Neutral (%)</b>	<b>En desacuerdo (%)</b>	<b>Totalmente en desacuerdo (%)</b>
La IA mejora la personalización del aprendizaje	40	45	10	5	0
La IA facilita la evaluación automática	55	35	5	5	0
La IA ayuda a identificar patrones de aprendizaje	50	40	10	0	0
La IA ahorra tiempo en tareas administrativas	60	30	5	5	0
La IA puede motivar a los estudiantes	45	40	10	5	0
Promedio General	50	38	8	4	0

*Nota.* Esta tabla muestra que la mayoría de los docentes tienen una percepción positiva sobre la utilidad de la IA en diversos aspectos de la educación



La Tabla 4 detalla la percepción de los docentes sobre la utilidad de la inteligencia artificial (IA) en la educación, utilizando una escala de Likert. Los resultados muestran que una mayoría significativa de los docentes considera que la IA mejora diversos aspectos del aprendizaje. El 85% de los docentes están de acuerdo o totalmente de acuerdo en que la IA mejora la personalización del aprendizaje, y un 90% apoya que facilita la evaluación automática. Asimismo, el 90% reconoce que la IA ayuda a identificar patrones de aprendizaje, y el 90% considera que ahorra tiempo en tareas administrativas. Además, el 85% cree que la IA puede motivar a los estudiantes. En general, los docentes tienen una percepción muy positiva sobre la utilidad de la IA en la educación, con porcentajes altos en las categorías más favorables.

**Tabla 5**

*Percepción de los Docentes sobre las Limitaciones de la IA en la Educación*

<b>Indicador Evaluado</b>	<b>Totalmente de acuerdo (%)</b>	<b>De acuerdo (%)</b>	<b>Neutral (%)</b>	<b>En desacuerdo (%)</b>	<b>Totalmente en desacuerdo (%)</b>
La IA puede amenazar la privacidad de los datos	25	40	20	15	0
La IA puede reemplazar la interacción humana	15	30	25	20	10
La IA requiere formación técnica especializada	50	35	10	5	0
La IA es costosa de implementar	30	45	15	10	0
La IA puede crear dependencia tecnológica	20	35	25	15	5
<b>Promedio General</b>	<b>28</b>	<b>37</b>	<b>19</b>	<b>13</b>	<b>3</b>

*Nota.* Esta tabla destaca las percepciones de los docentes sobre las limitaciones de la IA en la educación.



A su vez, la Tabla 5 recoge la percepción de los docentes sobre las limitaciones de la IA en la educación, también utilizando una escala de Likert. Aunque los docentes reconocen ciertos beneficios de la IA, también expresan preocupaciones significativas. El 65% de los docentes están de acuerdo o totalmente de acuerdo en que la IA puede amenazar la privacidad de los datos. Además, el 45% teme que la IA pueda reemplazar la interacción humana en la educación. Un 85% está de acuerdo en que la IA requiere formación técnica especializada y el 75% considera que su implementación es costosa. Por último, el 55% está de acuerdo en que la IA puede crear dependencia tecnológica. Estos resultados subrayan la necesidad de abordar estas limitaciones para lograr una integración efectiva de la IA en el ámbito educativo.

**Tabla 6**

*Comentarios Relevantes de los Docentes sobre el Uso de IA en Educación*

<b>Categoría</b>	<b>Comentario</b>
Potencial de la IA	La IA tiene el potencial de transformar la educación, motiva a los estudiantes, permite identificar patrones de aprendizaje, personaliza el aprendizaje y ofrece recursos educativos a estudiantes de diferentes contextos. La retroalimentación instantánea es muy valiosa.
Preocupaciones	Hay preocupaciones sobre la privacidad de los datos de los estudiantes, el costo de implementación, la dependencia tecnológica y la necesidad de políticas claras sobre el uso de datos y privacidad. El soporte técnico continuo es necesario.
Necesidad de formación	Se necesita más formación para aprovechar plenamente la IA y se requieren más recursos para implementar estas tecnologías en las aulas.
Interacción humana	La interacción humana sigue siendo insustituible y la IA debe complementar, no reemplazar al docente. Es crucial mantener un equilibrio entre la tecnología y el toque humano en la educación.
Evaluación y ahorro de tiempo	La evaluación automática con IA ahorra mucho tiempo, permitiendo a los docentes enfocarse en la enseñanza directa.
Capacitación y soporte	La capacitación recibida fue excelente, pero se necesita más soporte técnico y ejemplos específicos del contexto local. La implementación de IA requiere un cambio de mentalidad en docentes y estudiantes.
Implementación gradual	Es necesario un plan claro y gradual para la implementación de la IA en la educación.
Herramientas específicas	Las herramientas de tutoría inteligente son particularmente útiles para estudiantes con dificultades de aprendizaje.



*Nota.* Esta tabla resume los principales comentarios agrupados por categoría.

Finalmente, la Tabla 6 presenta los comentarios cualitativos más relevantes de los docentes sobre el uso de la IA en la educación. Los comentarios reflejan un entusiasmo general por el potencial transformador de la IA, destacando su capacidad para personalizar el aprendizaje y ahorrar tiempo en tareas administrativas. Sin embargo, también revelan preocupaciones sobre la privacidad de los datos, la posible dependencia tecnológica y la necesidad de formación técnica y soporte continuo. Los docentes enfatizan la importancia de un equilibrio entre tecnología y interacción humana y solicitan políticas claras y recursos adecuados para la implementación efectiva de la IA en el aula. En conjunto, los comentarios cualitativos proporcionan una perspectiva rica y matizada sobre las oportunidades y desafíos que presenta la IA en la educación.

## **DISCUSIÓN**

Los resultados del presente estudio reflejan un cambio significativo en la percepción y adopción de la inteligencia artificial (IA) por parte de los docentes después de participar en el taller. Antes del taller, las percepciones negativas y neutras sobre la IA predominaban, pero tras la intervención educativa, la percepción positiva aumentó drásticamente, alineándose con los hallazgos de Cevallos et al. (2023), quienes destacan la importancia de la capacitación para mejorar la percepción de la IA en la educación. Asimismo, la alta satisfacción de los docentes con el taller, especialmente en términos de contenido, calidad de los instructores y aplicabilidad práctica, coincide con los beneficios percibidos por el profesorado en estudios como los de Delgado et al. (2024), que subrayan la necesidad de formación adecuada para la implementación exitosa de la IA.

En cuanto a las limitaciones percibidas de la IA, los docentes expresaron preocupaciones similares a las identificadas en la literatura, como la privacidad de los datos (Sanabria-Navarro et al., 2023) y la posible dependencia tecnológica (Vivar & Peñalvo, 2023). Estas preocupaciones destacan la necesidad de políticas claras y medidas de seguridad para abordar los desafíos éticos y técnicos de la IA en la educación. Además, la percepción de que la IA requiere una formación técnica especializada y que su implementación es costosa refleja los desafíos prácticos señalados por Forero Corba y Negre Bennásar (2024a), quienes enfatizan la necesidad de soporte continuo y recursos adecuados para los docentes.



Los comentarios cualitativos proporcionan una visión rica y matizada del impacto del taller, mostrando tanto entusiasmo por las posibilidades que ofrece la IA como preocupaciones sobre su implementación práctica y ética. Esta dualidad en las percepciones resalta la complejidad de integrar nuevas tecnologías en el entorno educativo y la necesidad de un enfoque equilibrado que combine la tecnología con la interacción humana, como se observa en los estudios de Herrera (2023) y González & Rosúa (2023). En conjunto, los resultados de este estudio subrayan la importancia de la capacitación continua y el apoyo institucional para facilitar la adopción efectiva de la IA en la educación secundaria.

## CONCLUSIONES

El presente estudio revela un cambio notable en la percepción y adopción de la inteligencia artificial (IA) por parte de los docentes de la Unidad Educativa 29 de Agosto tras participar en un taller participativo. Inicialmente, la mayoría de los docentes tenía percepciones negativas o neutrales sobre la IA, pero después del taller, estas percepciones cambiaron significativamente hacia una actitud más positiva. Los docentes expresaron un alto nivel de satisfacción con el contenido del taller, la calidad de los instructores y la aplicabilidad práctica de lo aprendido. Este cambio positivo sugiere que la capacitación adecuada es fundamental para mejorar la percepción y adopción de la IA en el ámbito educativo.

Sin embargo, los docentes también expresaron preocupaciones relevantes sobre la implementación de la IA, particularmente en relación con la privacidad de los datos y la posible dependencia tecnológica. Estas preocupaciones destacan la necesidad de desarrollar políticas claras y proporcionar soporte continuo para abordar los desafíos éticos y prácticos asociados con la IA. Además, se identificó una necesidad significativa de recursos y formación técnica especializada para asegurar una implementación efectiva y sostenible de estas tecnologías.

En conclusión, mientras que la IA tiene el potencial de transformar la educación secundaria al mejorar la personalización del aprendizaje y optimizar tareas administrativas, es crucial mantener un equilibrio entre la tecnología y la interacción humana. La IA debe ser vista como una herramienta complementaria que apoya, pero no reemplaza, el papel fundamental del docente. Para lograr una integración efectiva de la IA en la educación, es esencial contar con una estrategia de implementación bien planificada, recursos adecuados y una formación continua que empodere a los docentes para utilizar estas herramientas de manera efectiva y ética.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Almulla, M. A. (2020). The effectiveness of the project-based learning (PBL) approach as a way to engage students in learning. *Sage Open*, 10(3), 2158244020938702.
- Campos, H. (2018). *Uso, creencias y aptitudes sobre las TICs en los procesos de enseñanza-aprendizaje del personal académico de un Centro Público de Investigación: Caso: CIBNOR*. Universidad Internacional Iberoamericana.
- Carmona, C. V., & Mancero, P. C. B. (2020). Virtualidad como herramienta de apoyo a la presencialidad: Análisis desde la mirada estudiantil. *Revista de Ciencias Sociales*, 26(1), 219–232.
- Córdoba, M. E. (2020). El constructivismo sociocultural lingüístico como teoría pedagógica de soporte para los Estudios Generales. *Revista Nuevo Humanismo*, 8(1). <https://doi.org/10.15359/rnh.8-1.4>
- Cyrulies, E., & Schamne, M. (2021). El aprendizaje basado en proyectos: una capacitación docente vinculante. *Páginas de Educación*, 14(1), 1–25.
- Dofe, J., & Kurwadkar, S. (2021). Project-based learning: Contrasting experience between traditional face-to-face instruction and virtual instruction. *2021 ASEE Virtual Annual Conference*.
- Farcis, F., Budi, G. S., & Wijayanti, E. (2022). Effect of Project-Based Learning and Science Literacy Ability on Critical Thinking Skills in Virtual Learning of the Thermodynamics Course. *JPPS (Jurnal Penelitian Pendidikan Sains)*, 12(1), 56–68.
- Guo, P., Saab, N., Post, L. S., & Admiraal, W. (2020a). A review of project-based learning in higher education: Student outcomes and measures. *International Journal of Educational Research*, 102, 101586.
- Guo, P., Saab, N., Post, L. S., & Admiraal, W. (2020b). A review of project-based learning in higher education: Student outcomes and measures. *International Journal of Educational Research*, 102, 101586.
- Haro Gordillo, P. (2017). *Evaluando la innovación educativa con TIC en centros educativos. Estudio de un caso*. Universidad de Málaga.
- Macías, C. V., Silva, C. Z., Rodríguez, S. C., & Villón, M. C. (2022). Aprendizaje basado en proyectos y la gamificación para generar el aprendizaje activo en los estudiantes. *Ciencia Unemi*, 15(39), 35–43.
- Mafruudloh, N., & Fitriati, R. (2020). THE EFFECT OF PROJECT BASED LEARNING TO THE STUDENTS'SPEAKING ABILITY. *Celtic: A Journal of Culture, English Language Teaching, Literature and Linguistics*, 7(1), 57–64.
- Martín, J. G., & Martínez, J. E. P. (2018). Aprendizaje basado en proyectos: método para el diseño de actividades. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*, 37–63.



- Owens, A. D., & Hite, R. L. (2022). Enhancing student communication competencies in STEM using virtual global collaboration project based learning. *Research in Science & Technological Education*, 40(1), 76–102.
- Pari, Y. R. C., Puma, M. I., & Ramos, C. B. (2021). Aprendizaje basado en proyectos y su incidencia en el logro de las competencias profesionales en tiempos de pandemia de los estudiantes de la Escuela Profesional de Educación de la UNAMAD–2020. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 3048–3061.
- Peraza, A. V. F., & Furumura, Y. (2022). Project-based learning to develop intercultural communicative competence in virtual exchange contexts. *International Journal of Computer-Assisted Language Learning and Teaching (IJCALLT)*, 12(3), 1–17.
- Pérez, M. M. (2019). Aprendizaje basado en proyectos colaborativos. Una Experiencia en Educacin Superior. *Laurus*, 14(28), 158–180.
- Rozal, E., Ananda, R., Zb, A., Fauziddin, M., & Sulman, F. (2021). The effect of project-based learning through YouTube presentations on English learning outcomes in physics. *AL-Ishlah: Jurnal Pendidikan*, 13(3), 1924–1933.
- Soplapuco, Y. (2022). Las TIC en el aprendizaje en educación básica, una revisión sistemática. *Revista Científica Emprendimiento Científico Tecnológico*, 3, 13.
- Suárez-Álvarez, R., & Rivera Martín, B. (2022). “Learning by doing” para la capacitación de los estudiantes universitarios basado en Aprendizaje Significativo y Aprendizaje Basado en Proyectos Colaborativos mediados por TIC. *Reto de La Evaluación En La Enseñanza Universitaria y Otras Experiencias Educativas*, 627–639.
- Vygotsky, L. S., & Cole, M. (1978). *Mind in society: Development of higher psychological processes*. Harvard university press.
- Warr, M., & West, R. E. (2020). Bridging academic disciplines with interdisciplinary project-based learning: Challenges and opportunities. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 14(1).
- Zambrano Briones, M. A., Hernández Díaz, A., & Mendoza Bravo, K. L. (2022). El aprendizaje basado en proyectos como estrategia didáctica. *Conrado*, 18(84), 172–182.