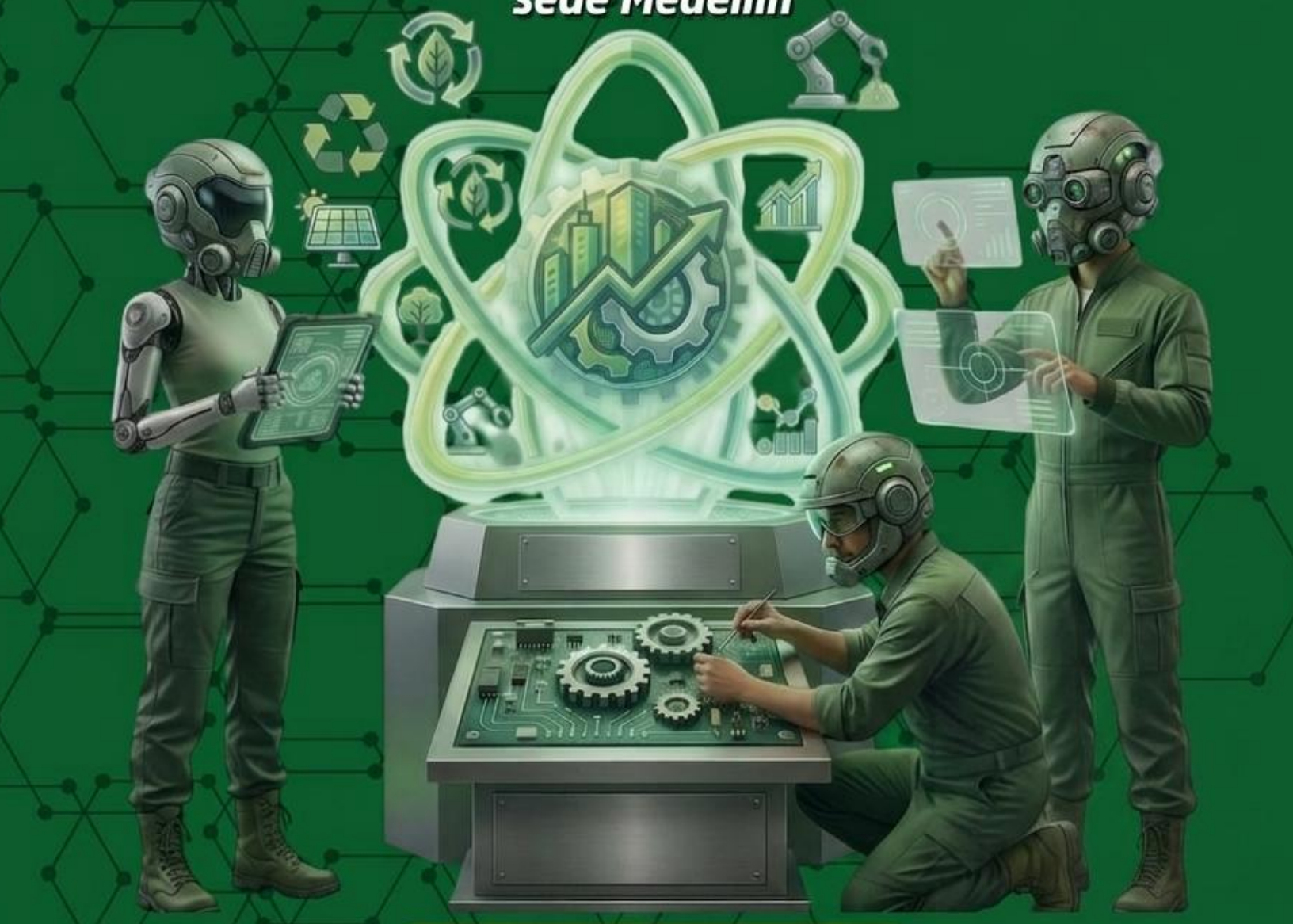
II Seminario de ingeniería, innovación y tecnología 2026

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

sede Medellín



03, 04 y 05 de Junio 2026

MEMORIAS

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

ISSN: 3114-9782 (Recurso electrónico en línea)

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida de manera alguna sin previo permiso de sus autores.

Sede Medellín
Carrera 48 No. 7– 151
El Poblado– Antioquia
Código postal: 050022
NIT: 890980136-6

Canal anticorrupción:
denuncias@elpoli.edu.co

Información:
encuentroingenieria@elpoli.edu.co

Número de edición: 02
Año y mes: Septiembre de 2026
Ciudad: Medellín
Periodicidad: Anual

Comité Organizador

Olga Lucia Henao Pardo
DECANA FACULTAD DE INGENIERIA

Adriana Xiomara Reyes Gamboa
Doctora en Ingeniería

Diana Cristina Guzmán Corredor
Magister en Sostenibilidad y Eficiencia Energética

Silvana Bolaños Chavarría
Doctora en Ingeniería Ambiental

Gladys Helena Vásquez Echavarría
Magister en Gestión de Tecnologías de la Información

Julián Andrés Lenis Rodas
Doctor en Ingeniería de Materiales

Hernando Recaman Chaux
Magister en Ingeniería

Victoria Elena Meza Ochoa
Doctora en Geotecnia

Daniel Ortega Ramírez
Magister en Ingeniería Geotecnia

Jonathan Osorio Vasco
Magister en Seguridad y Salud en el Trabajo

Comité Editorial

Silvana Bolaños Chavarría
Doctora en Ingeniería Ambiental

Diana Cristina Guzmán Corredor
Magister en Sostenibilidad y Eficiencia Energética

icontec ISO 9001 SC5206-1
IQNet

TABLA DE CONTENIDO

Prólogo viii

PONENCIAS DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 1

Entrenamiento de un Modelo de Inteligencia Artificial Mediante Transferencia de Conocimiento para Reducción de la Escala Espacial en Imágenes Satelitales Ópticas 2

Caracterización de datos estructurados para un sistema multiagente basado en LLMs orientado a la evaluación de riesgo crediticio 10

Metodología de evaluación de vulnerabilidad sísmica del bloque P19 del PCJIC como estrategia de innovación tecnológica para la gestión del riesgo en edificaciones educativas existentes 15

Evaluación de las condiciones actuales del sistema de abastecimiento de agua, aspectos bioclimáticos y manejo de residuos sólidos en la comunidad de Bocas del Atrato (Turbo- Antioquia). 26

Sistema de Alerta Temprana Hidrometeorológica y protocolo de actuación ante inundaciones para la Sede Medellín del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid 34

Caracterización física de residuos sólidos Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid sede central Medellín -2025 41

PONENCIAS DE DOCTORADO (COLOQUIO) 47

Determinantes de la Innovación Sostenible y Desarrollo de una Metodología para su Medición en el Contexto Empresarial Colombiano 48

Análisis Tecnológico de Sistemas Catalíticos para la Mitigación de NOx en Motocicletas 4T: Una Perspectiva de Sostenibilidad Urbana 57

Diseño de una Arquitectura IOT–IA de Bajo Costo Basada en Biosensores para la Estimación del Confort Térmico en Pollos de Engorde 67

Arquitectura Modular Basada en Competencias para el Aprendizaje Técnico de IA en Educación Secundaria 77

Avances metodológicos y conceptuales para el diseño de una plataforma educativa asistida por inteligencia artificial para el aprendizaje matemático de estudiantes sordos 89

Gestión Curricular en Educación Superior: Análisis de Enfoques y Problemáticas mediante revisión documental. 100

Diseño de un modelo de realidad virtual para fortalecer empatía y trabajo en equipo en educación superior 107

Dimensiones estratégicas del modelo de transformación digital aplicado a la educación superior inclusiva en Colombia 117

POSTERS DE INVESTIGACIÓN 125

Modelo de Machine Learning para la priorización de vulnerabilidad sísmica en edificaciones universitarias mediante inspección visual estructural y validación computacional 126

Modelo predictivo basado en técnicas de Machine Learning para estimar la exposición ocupacional a nanopartículas de SiO2 y TiO2 en actividades del sector construcción en Colombia 127

Modelado y validación de un sistema pedagógico-tecnológico basado en inteligencia artificial generativa para el fortalecimiento de competencias prácticas en ingeniería industrial: caso de estudio en Colombia y México 128

Sistema de gestión de capacidades tecnológicas institucionales para la transferencia de resultados de investigación en Instituciones de Educación Superior: una propuesta desde el contexto colombiano. 129

Estrategias tecnológicas y sociales para la prevención de la violencia y el fortalecimiento de la convivencia pacífica en Colombia, a través de los Programas SENA y la Ciencia de Datos en el Bajo Cauca Antioqueño en el municipio del Bagre 130

Modelo inteligente de ciberseguridad para el fortalecimiento de la resiliencia digital en la industria flexográfica y convertidora 131

Framework de optimización multicriterio para el despacho Económico del Sistema Interconectado Nacional Colombiano 132

Propuesta de un Sistema Multiagente para la Representación Judicial y Extrajudicial del Municipio de Envigado 133

Estructura de Base de Datos para un Modelo Predictivo en la Posventa Automotriz 134

Intervención en Gestión de Riesgo integrado a la Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias - EMRE para las personas con Discapacidad Intelectual en Fundación Lupines del Municipio de Medellín 135

Riesgo por avenida torrencial en la quebrada Malpaso, Robledo Aures 2, Medellín 136

Estimación de almacenamiento de carbono en individuos arbóreos mediante modelación ecosistémica: caso Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid (Investigación Terminada) 137

Implementación y Evaluación de un Clúster Universitario para Despliegue Experimental de Modelos de Inteligencia Artificial en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid 138

Diseño e implementación de un sistema embebido para el control automatizado de riego en cultivos a pequeña escala con inteligencia artificial. 139

Retroalimentación inmediata en el Proyecto Pedagógico Integrador: Software para la gestión de e-rúbricas y evaluación de competencias SIIC (Semillero de Investigación en Inteligencia Computacional) 140

POSTERS PROYECTOS DE AULA 141

Propuesta de manejo integral de residuos sólidos en viviendas rurales en Bocas del Atrato (Turbo – Antioquia) 142

Análisis técnico de los Planes de Manejo de Microcuencas en el Valle de Aburrá y su incidencia en la dinámica de inundaciones urbanas 143

Modelo estratégico para la transformación sostenible del campus del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid – Sede Medellín..... 144

Fortalecimiento del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo mediante la elaboración de matrices IPEVR en la empresa miro seguridad durante el semestre 2026-1 145

Programa de Gestión de Riesgo Mecánico en la Empresa Construválvulas S.A.S. 146

Sistema de vigilancia epidemiológico de riesgo cardiometabólico en conductores de tractocamión TFT SAS 147

Diplomado en Profundización en Excel y Power BI con énfasis en el manejo inteligente de daos BI 148

Diplomado en Ciberseguridad: Ciberseguridad en plataformas de Big Data 149

Diplomado en Ciberseguridad: Amenazas emergentes y actores maliciosos: APTs, Ransomware, Phishing, Ciberterrorismo 150

Diplomado en Ciberseguridad: Mitigación de Amenazas Emergentes 151

Diplomado en Ciberseguridad: Impacto de las prácticas DevSecOps en la resiliencia organizacional..... 152

Diplomado en Ciberseguridad: Ciberdelitos y su Regulación 153

Diplomado en Ciberseguridad: Mapeo de Superficie de Ataque: Técnicas de Enumeración Crítica en Aplicaciones Web..... 154

Diplomado en Ciberseguridad: Seguridad en redes: topologías, firewall, VPN y segmentación de redes . 155

Diplomado en Ciberseguridad: Principios de confidencialidad, integridad y disponibilidad, y el ciberespacio cómo dominio estratégico..... 156

Diplomado en Ciberseguridad: Formación tecnológica masiva y riesgos emergentes de cibercrimen impulsado por IA en Colombia (Proyecto de análisis exploratorio)..... 157

CheckExport: Aplicación Web para la Verificación del Cumplimiento Fitosanitario en la Exportación de Flores Naturales hacia Mercados Internacionales 158

Ucation: Sistema Institucional de Mentorías Académicas..... 159

SmartPot: Implementación de un sistema de monitoreo y control automatizado para cultivos hidropónicos mediante arquitectura IoT basada en ESP32 160

Sistema Centralizado de Alertas Civiles Georreferenciadas (Alerto)..... 161

UrewardGo: Sistema Web Gamificado Para La Gestión De Tareas y Recompensas..... 162

Plataforma Web para Gestión y Fortalecimiento de Competencias Digitales (TechLab Urabá)..... 163

VegetableAI - Gestor de Inventario Doméstico y Alerta de Vencimiento Asistido por OCR/IA (PWA) .. 164

FoodShare: Marketplace de excedentes alimentarios para la redistribución solidaria de alimentos 165

Plataforma Web de Empleos Temporales Geolocalizados (ProntoWork) 166

PractiNexo: Centralización de Ofertas de Prácticas y Servicio Social 167

Sistema de Orientación en Salud Mediante Chatbot con Clasificación de Riesgo 168

CLICK MENTAL: Sistema Web de Gestión de Tutorías Académicas 169

Análisis comparativo internacional de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo en proyectos de construcción y su aplicabilidad en el contexto colombiano..... 170

Sistema de Análisis Académico 171

Desarrollo de una aplicación web CRM, para ALDA Tapicería 172

Plataforma de monitoreo climático..... 173

Software web para detección de tumores cerebrales en imágenes de resonancia magnética con ResNet y Grad-CAM..... 174

Diario Emocional con IA para estudiantes universitarios: NeuraApp 175

FeriaCRM: Sistema Inteligente de Gestión Comercial con IA para Metales y Soldadura 176

Desarrollo de una aplicación web CRM, para ALDA Tapicería 177

Evaluación Ergonómica de Cargue, Arrastre y Descargue de Bultos de Papa 178

Análisis ergonómico cognitivo de la línea de producción de lavado de productos agrícolas 179

Evaluación ergonómica en la tarea de selección de productos agrícolas mediante el método REBA 180

Evaluación ergonómica en el área de pesaje y empacado 181

Evolución ergonómica del puesto de trabajo en agricultura con el método ALLA 182

Evaluación ergonómica mediante el método Erin en operarios de selección manual de papa en banda transportadora..... 183

Evaluación Ergonómica de pesaje manual de costales de papa y zanahoria mediante el método REBA .. 184

Evaluación Ergonómica del Puesto de Trabajo en Banda Transportadora 185

Evaluación ergonómica del operario de trómmel en lavadora LAS BRISAS 186

Evaluacion postural con IA y REBA en el lavadero de papa y zanahorias Las Brisas SAS 187

Caracterización de los peligros a los que se exponen los mayordomos en los trabajos formales e informales 188

Sistema de Alerta Temprana (SAT) para Inundaciones - Modelo Predictivo con Machine Learning..... 189

Prólogo

La ingeniería contemporánea enfrenta el desafío histórico de responder a las crecientes demandas de la sociedad y el planeta mediante soluciones fundamentadas en el rigor científico, la técnica y el compromiso ambiental. En este escenario, la Facultad de Ingeniería del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid presenta las memorias del *II Seminario de Ingeniería, Innovación y Tecnología 2026*, un espacio diseñado para explorar las corrientes tecnológicas que están transformando la realidad global y territorial.

Celebrado los días 3, 4 y 5 de junio de 2026 en la Sede Medellín, este encuentro se consolidó como un punto de convergencia donde la investigación aplicada se conectó directamente con las necesidades del entorno. Durante tres jornadas de trabajo continuo, expertos nacionales e internacionales compartieron visiones y desarrollos en áreas estratégicas como la robótica, la inteligencia artificial, la conectividad IoT, la movilidad urbana y la gestión ambiental, articulando la técnica con la construcción de ciudades más inteligentes y sostenibles.

El presente volumen reúne una valiosa panorámica de las actividades e investigaciones desarrolladas durante el seminario:

- **Conferencias y paneles:** Reflexiones sobre gobernanza colaborativa, valorización de residuos mineros y de construcción, economía circular e infraestructura verde.
- **Coloquio Doctoral:** Avances de investigación en modelos predictivos de confort térmico, sistemas catalíticos, transformación digital inclusiva y plataformas educativas asistidas por inteligencia artificial.
- **Ponencias investigativas:** Trabajos aplicados en reducción de escala en imágenes satelitales, sistemas de alerta temprana hidrometeorológica, evaluación de vulnerabilidad sísmica y estudios de sostenibilidad en comunidades rurales como Bocas del Atrato.
- **Muestra de Posters de Investigación:** Exposición interactiva que visibilizó el talento investigativo en sus diversos niveles formativos, abarcando propuestas doctorales y de maestría, trabajos de grado del área de Ingeniería Civil, y proyectos de aula desarrollados por los estudiantes.
- **Hitos institucionales:** El lanzamiento del libro *Gestión del conocimiento en la calidad del aire*, proyecto financiado por el Sistema General de Regalías que constituye un valioso aporte científico para la región.
- **Apropiación social y muestra ambiental:** La realización de la Feria del Medio Ambiente "ReCrea el Ambiente", enfocada en economía circular, desarrollo de eco-juguetes y articulación empresarial.

A través de la publicación de estas memorias, la Facultad de Ingeniería reitera su compromiso con la excelencia y la acreditación en alta calidad, ofreciendo un testimonio documental que sistematiza el conocimiento generado y promueve la formación de profesionales capaces de liderar los retos del futuro con creatividad, rigor y responsabilidad social.

Agradecemos a los estudiantes, docentes, investigadores y aliados estratégicos que hicieron parte de este encuentro y continúan transformando el territorio a través del conocimiento.

Comité Editorial y Organizador
II Seminario de Ingeniería, Innovación y Tecnología 2026
Facultad de Ingeniería — Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
Medellín, Colombia • Junio de 2026

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid © 2025 Sede Medellín
Carrera 48 No. 7 – 151 | El Poblado | PBX: (+57) 604 444 76 54 - (+57) 604 319 79 00 |
NIT: 890980136-6 Código Postal: 050022

PONENCIAS DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

icontec
ISO 9001
SC5206-1

Entrenamiento de un Modelo de Inteligencia Artificial Mediante Transferencia de Conocimiento para Reducción de la Escala Espacial en Imágenes Satelitales Ópticas

Juan Valdés-Quintero[1], Rubén Darío Vásquez-Salazar[1], Juan Camilo Parra[1], César Olmos-Severiche[1], Andrés Gustavo Camargo-Perea[1], Cristian Alejandro Tibavija-Abril[1], Jean Pierre Díaz-Paz[2]

[1] Facultad de Ingeniería. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia

[2] Facultad de Ingeniería. Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, Colombia

Resumen.
En este trabajo se ajusta un modelo de inteligencia artificial para la reducción de escala espacial en imágenes satelitales ópticas mediante técnicas de transferencia de conocimiento. En particular, se adapta la arquitectura basada en Transformers SwinIR al dominio de imágenes satelitales a partir de un conjunto de datos compuesto por pares de imágenes Landsat 8/9 y Sentinel-2. Se evaluaron dos configuraciones de entrenamiento con el objetivo de analizar distintos niveles de adaptación del modelo al dominio objetivo. El desempeño fue evaluado mediante métricas tradicionales (MSE, PSNR, SSIM) y métricas perceptuales (LPIPS, DISTS), permitiendo un análisis integral de la fidelidad de reconstrucción y la calidad visual. Los resultados muestran que los modelos entrenados mediante ajuste fino (fine-tuning), especialmente aquel con un ajuste más profundo, superan al modelo preentrenado, principalmente en términos de calidad perceptual y preservación estructural. En conjunto, los resultados evidencian la efectividad de la transferencia de conocimiento para adaptar modelos de superresolución generales al dominio de imágenes satelitales.

Palabras clave: Superresolución, Imágenes Satelitales, Reducción de escala espacial, Inteligencia Artificial, Transferencia de conocimiento, Landsat, Sentinel-2.

1. Introducción

El monitoreo de coberturas terrestres es fundamental para el estudio de problemáticas ambientales y dinámicas relacionadas con el uso del suelo [1]. En las últimas décadas, las imágenes satelitales se han consolidado como una de las principales fuentes de información para el análisis de cambios como la expansión urbana, la deforestación y la variación en cuerpos de agua, entre otros [2]. Misiones como Landsat y Sentinel han proporcionado grandes volúmenes de datos de acceso abierto con cobertura global y amplios periodos temporales [3, 4]. Sin embargo, existe una limitación estructural en el uso de estas misiones: la dificultad de obtener información que combine simultáneamente alta resolución espacial y series históricas extensas. Por ejemplo, Sentinel-2 ofrece imágenes con resolución de 10 m, pero únicamente a partir de 2015 [4]. Landsat, en contraste, posee datos desde los años 70, aunque con una resolución tres veces menor (30m) [3]. Esta brecha impide realizar análisis precisos de transformaciones territoriales a largo plazo.

Las técnicas de fusión de datos satelitales y reducción de escala espacial (DownScaling) permiten integrar información de diferentes sensores para superar estas limitaciones. En particular, combinar Landsat y Sentinel-2 aprovecha la extensa serie temporal del primero y el mayor detalle espacial del segundo [5]. Tradicionalmente, estos problemas se han abordado con métodos estadísticos e interpolación, que presentan limitaciones como artefactos de aliasing y pérdida de textura [6].

El avance del aprendizaje profundo ha posibilitado el desarrollo de modelos de superresolución cada vez más robustos. En este contexto, los modelos basados en Transformers han demostrado resultados sobresalientes en tareas de reconstrucción de detalles espaciales [7, 8, 9]. Sin embargo, estos modelos fueron entrenados con imágenes pertenecientes a dominios distintos al de las imágenes satelitales, lo que limita su capacidad de generalización en este tipo de datos. Este trabajo tiene como objetivo adaptar, mediante técnicas de transferencia

de conocimiento (transfer learning), un modelo basado en Transformers, específicamente la arquitectura SwinIR, al dominio de imágenes satelitales. Para ello, se emplea un conjunto de datos conformado por pares de imágenes Landsat y Sentinel de baja y alta resolución, respectivamente.

2. Materiales y Métodos

El trabajo se enmarca en una investigación de tipo aplicada que emplea Python como lenguaje de programación principal, aprovechando sus librerías para el procesamiento de imágenes. Para la descarga y tratamiento de las imágenes se emplearán las plataformas Google Earth Engine (GEE) y Google Colab. Adicionalmente, todos los productos obtenidos son almacenados en Google Drive, garantizando un acceso centralizado.

Se planteó una metodología compuesta por tres etapas: 1. la construcción del conjunto de datos con pares de imágenes satelitales de baja y alta resolución, 2. el entrenamiento de la arquitectura SwinIR y 3. la evaluación de su desempeño con métricas.

2.1. Generación del conjunto de datos

La construcción del conjunto de datos se realizó mediante un proceso automatizado que integra la consulta, selección y preprocesamiento de imágenes de las misiones Landsat 8/9 (Collection 2, Level-2) y Sentinel-2 (Level-2A). El proceso sigue tres etapas principales: definición de parámetros, selección de criterios de filtrado y adquisición de imágenes.

2.1.1. Parámetros

Se seleccionaron las bandas del espectro visible RGB (Rojo, Verde, Azul), dado que la mayoría de modelos de superresolución operan sobre imágenes RGB y permiten evaluación visual directa. El tamaño de los parches de alta resolución (HR) se fijó en 192×192 píxeles (Sentinel-2), y el de baja resolución (LR) en 64×64 píxeles (Landsat), correspondiendo a un factor de escala 3, consistente con la diferencia de resolución espacial entre los sensores [3, 4]. El muestreo geográfico se realizó de forma aleatoria a nivel global, restringido a latitudes entre −30° y 30° para evitar zonas polares. El periodo temporal de búsqueda se restringe a los años 2022–2023 para poder usar los filtros de nubes proporcionados por las plataformas satelitales (Figura 1).

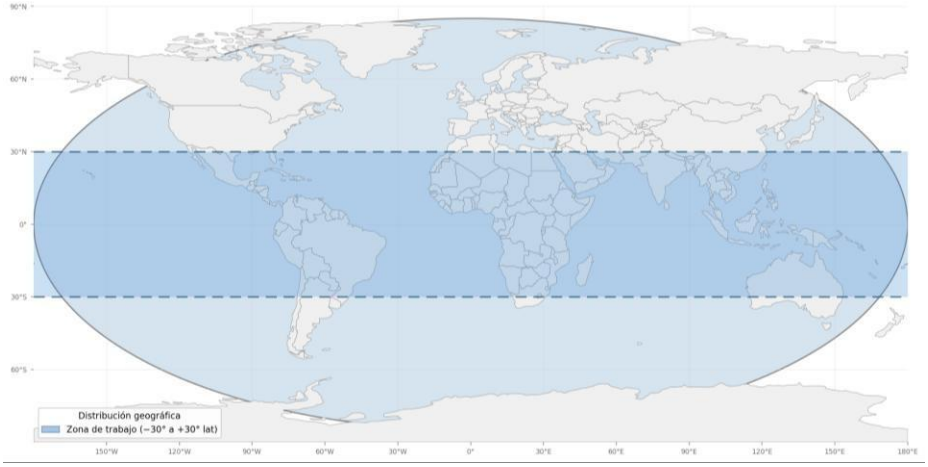


Figura 1. Distribución geográfica de las ubicaciones de muestreo del conjunto de datos de Landsat-Sentinel-2 (latitudes entre -30° y 30°)

2.1.2. Criterios de filtrado

Para la búsqueda aleatoria de imágenes se definieron tres criterios de filtrado. Primero, cobertura de nubes: umbral máximo del 1%, estimado a partir de las bandas de calidad QA60 (Sentinel-2) y QA_PIXEL (Landsat) [3, 4]. Segundo, cobertura de agua: empleando el índice NDWI (Normalized Difference Water Index) [10], se descartaron escenas con más del 50% de superficie cubierta por agua. Tercero, variabilidad espectral: se calculó el coeficiente de variación (CV) de las bandas RGB, estableciendo un umbral mínimo del 20% para garantizar diversidad de coberturas [11].

2.1.3. Adquisición de imágenes

El proceso de obtención de pares Sentinel-2/Landsat se implementó mediante un procedimiento automatizado en Python-GEE. Para cada región de interés (ROI), generada aleatoriamente, se consultan las colecciones disponibles de ambos sensores, se evalúa si cumplen los criterios de filtrado y se selecciona el par cuya diferencia temporal sea mínima, con una tolerancia máxima de cinco días. Las imágenes seleccionadas se someten a corrección radiométrica (reflectancia de superficie) y son redimensionadas mediante remuestreo basado en áreas para garantizar parches cuadrados de 192×192px (HR) y 64×64px (LR). Finalmente, las imágenes se almacenan en múltiples formatos (punto flotante normalizado, entero de 8 bits) junto con un archivo CSV de metadatos. Mediante este procedimiento se generaron 3000 pares de imágenes destinados al entrenamiento de los modelos y 500 pares adicionales para la etapa de prueba.

2.2. Entrenamiento de modelos

Para el ajuste del modelo basado en la arquitectura SwinIR se utilizó una de sus variantes preentrenadas orientada a superresolución clásica con un factor de escala ×3. A partir de este modelo base, se definió un proceso de entrenamiento para su adaptación al dominio de imágenes satelitales.

El proceso de entrenamiento se llevó a cabo utilizando el repositorio KAIR del autor Kai Zhang, el cual proporciona implementaciones para tareas de restauración de imágenes y permite la carga de modelos preentrenados, así como la configuración de diferentes esquemas de entrenamiento. En este entorno, se integró el conjunto de datos construido a partir de imágenes Landsat–Sentinel, el cual fue cargado y definido como fuente de datos para el proceso de entrenamiento supervisado.

Con el objetivo de analizar diferentes niveles de adaptación del modelo, se plantearon dos configuraciones de entrenamiento: En el ajuste parcial se congelaron todas las capas del modelo, excepto la convolución de salida del módulo de extracción de características profundas y las capas del módulo de reconstrucción (upsampling). En el ajuste extendido se congelaron todas las capas del modelo, exceptuando las correspondientes al último de los seis bloques del módulo de extracción de características profundas, la convolución de salida de dicho módulo y las capas del módulo de reconstrucción.

Estas configuraciones permiten modificar de forma controlada el grado de ajuste del modelo respecto al dominio de entrenamiento, manteniendo una parte de las representaciones aprendidas y adaptando selectivamente componentes específicos de la red.

La estructura general de la arquitectura utilizada, así como la ubicación de los bloques mencionados, incluyendo los módulos de extracción de características, los bloques Swin Transformer (RSTB) y las capas de reconstrucción empleadas en el proceso de superresolución (Figura 2).

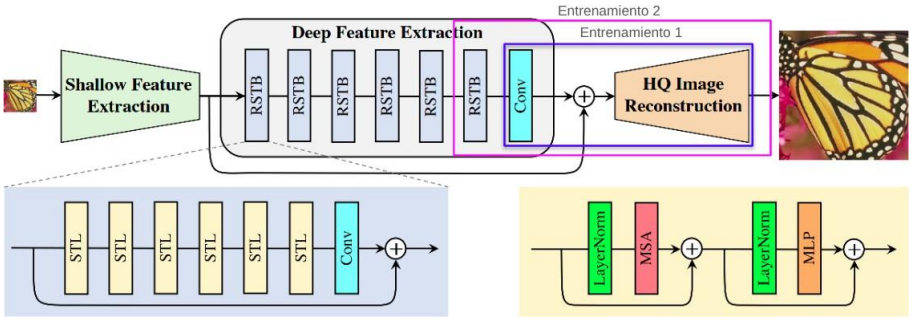


Figura 2. Arquitectura del modelo SWINIR [7].

Finalmente, con el fin de evaluar el desempeño de los modelos, se procede a aplicar el modelo preentrenado, los entrenados e incluso un modelo de interpolación a las 500 imágenes de baja resolución del conjunto de datos de prueba.

2.3. Evaluación de modelos

Con el fin de evaluar el desempeño del modelo desde diferentes perspectivas, se seleccionó un conjunto de métricas ampliamente utilizadas en tareas de superresolución de imágenes, considerando tanto criterios basados en error numérico como métricas orientadas a la percepción visual. En este sentido, MSE y PSNR permiten cuantificar la fidelidad de reconstrucción a partir de diferencias píxel a píxel, mientras que SSIM evalúa la preservación de estructuras locales y características visuales de la imagen. Adicionalmente, se incorporaron métricas perceptuales profundas como LPIPS y DISTS, las cuales analizan similitudes en el espacio de características extraídas por redes neuronales, permitiendo evaluar aspectos relacionados con textura, estructura y calidad perceptual. De esta manera, la combinación de estas métricas proporciona una evaluación más integral del rendimiento de los modelos de superresolución.

La evaluación cuantitativa se llevó a cabo mediante la aplicación de las métricas seleccionadas sobre las imágenes generadas por cada uno de los modelos, utilizando como referencia las correspondientes imágenes de alta resolución (ground truth). El proceso de cálculo de métricas se implementó en Python, empleando diferentes bibliotecas especializadas. Para las métricas tradicionales, se utilizó la librería scikit-image, mientras que para las métricas perceptuales se emplearon lpips y PyTorch, junto con modelos preentrenados disponibles en torchvision.

3. Resultados y Discusión

Como primer resultado del marco metodológico propuesto, se generó exitosamente un conjunto de datos compuesto por pares de imágenes satelitales LR–HR de alta diversidad geográfica y de coberturas terrestres. La estrategia de muestreo geográfico aleatorio global junto con los criterios de filtrado aplicados garantiza la obtención de escenas con variedad de tipos de superficie: vegetación, suelo descubierto, zonas urbanas y cuerpos de agua (Figura 3).

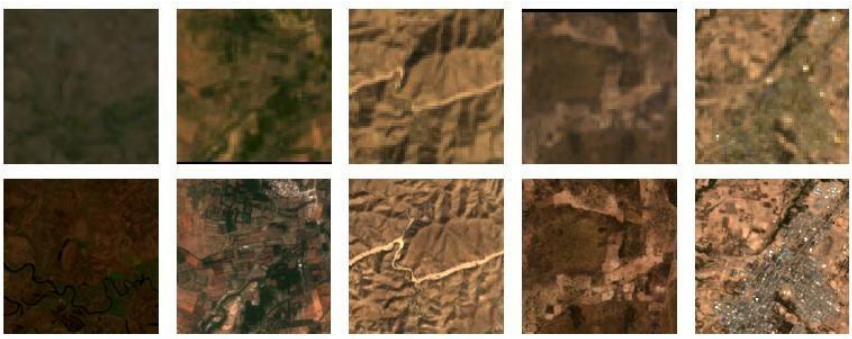


Figura 3. Conjunto de datos diseñado (arriba: imágenes de LR, abajo: imágenes de HR. De izquierda a derecha: diferentes muestras del conjunto)

Los pares de imágenes obtenidos evidencian coherencia espacial entre sensores, permitiendo observar la misma escena con diferentes niveles de detalle. Las imágenes LR (Landsat, 64×64px) y HR (Sentinel-2, 192×192 px) mantienen la relación de resolución espacial de factor 3, consistente con las diferencias instrumentales entre ambos sensores. Sin embargo, a pesar de la aplicación de filtros basados en bandas de calidad, se identificó la presencia de algunas nubes dispersas en una minoría de escenas, lo que confirma las limitaciones conocidas de los detectores de nubes QA60 y QA_PIXEL.

Por otro lado, se observaron diferencias en los niveles de reflectancia entre Sentinel-2 y Landsat, atribuibles a características instrumentales diferentes. En esta etapa no se aplicó corrección, con el propósito de evaluar si el modelo de superresolución puede aprender estas variaciones de manera autónoma. La Figura 4 presenta una muestra representativa de cinco escenas diferentes, donde se establece una comparación entre las imágenes de baja resolución, las imágenes de referencia de alta resolución, los resultados obtenidos mediante interpolación espacial y las salidas generadas tanto por el modelo preentrenado como por los modelos ajustados mediante transferencia de conocimiento.

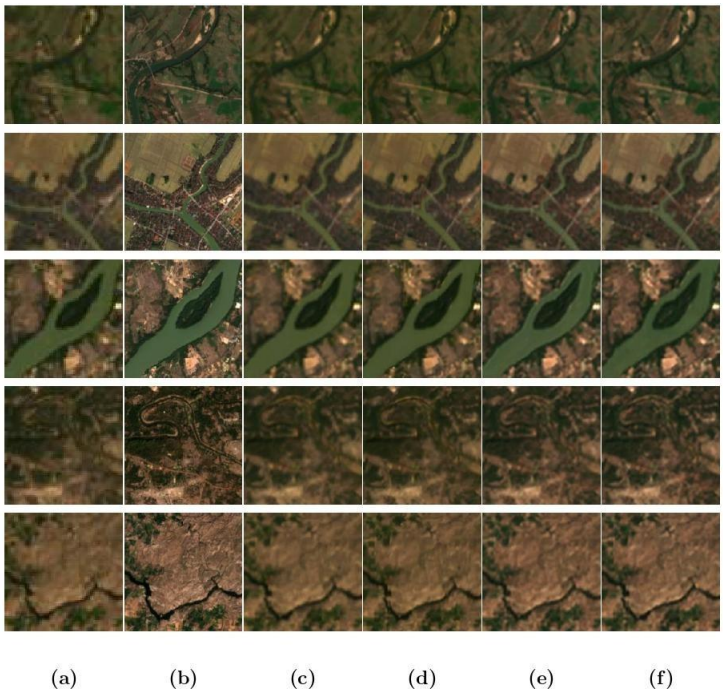


Figura 4. Resultados de aplicación de modelos de superresolución: (a) LR, (b) HR, (c) Interpolación, (d) SwinIR entrenamiento 1 y (e) SwinIR entrenamiento 2. De arriba a abajo: diferentes muestras del conjunto.

El modelo preentrenado muestra una mejora en la reconstrucción de detalles en comparación con la interpolación. De manera visual, se observa una mayor definición de estructuras y texturas, lo que evidencia la capacidad de estos modelos para recuperar información espacial más compleja, incluso sin haber sido adaptados específicamente al dominio de imágenes satelitales.

No obstante, es tras el proceso de ajuste donde se evidencian los mejores resultados. Ambas configuraciones de ajuste fino permiten una adaptación más adecuada del modelo al conjunto de datos, lo que se traduce en una reducción del efecto de suavizado y en una reconstrucción más fiel de los detalles finos, particularmente en términos perceptuales. En la Tabla 1 se presenta el desempeño cuantitativo promedio de los modelos evaluados, en términos de MSE, PSNR, SSIM, LPIPS y DISTS, calculado sobre todo el conjunto de prueba. En general, los resultados permiten analizar tanto la fidelidad de reconstrucción como la calidad perceptual de las imágenes generadas.

Tabla 1. Resultados de métricas aplicadas (mejores resultados en negrilla, segundos mejores resultados subrayados)

Modelo	MSE	PSNR	SSIM	LPIPS	DISTS
Interpolación	68,7653	34,1635	0,8537	0,3068	0,7507
SwinIR	70,9958	33,9010	0,8514	0,2680	0,7129
SwinIR_TRAIN1	**45,0557**	<u>35,0274</u>	<u>0,8679</u>	<u>0,2602</u>	<u>0,7060</u>
SwinIR_TRAIN2	<u>53,3857</u>	**35,3503**	**0,8740**	**0,2492**	**0,6924**

El modelo basado en interpolación presenta el desempeño más limitado en todas las métricas evaluadas (MSE, PSNR, SSIM, LPIPS y DISTS), evidenciando un mayor error de reconstrucción, menor preservación estructural y mayor distancia perceptual respecto a las imágenes de referencia en comparación con los modelos basados en aprendizaje profundo.

Por su parte, el modelo SwinIR preentrenado muestra una mejora frente a la interpolación en métricas perceptuales como LPIPS y DISTS. Sin embargo, los valores de MSE, PSNR y SSIM, por el contrario, empeoran, lo que sugiere que, aunque el modelo logra capturar mejor la estructura visual, esta mejora no se refleja en las métricas que dependen fuertemente de valores de intensidad de píxel. Esta situación puede atribuirse, a la diferencia inherente entre los sensores utilizados para las imágenes de alta y baja resolución (Sentinel-2 y Landsat), lo cual introduce variaciones radiométricas y espaciales que dificultan la correspondencia directa entre ambas representaciones.

En contraste, los modelos ajustados mediante transferencia de conocimiento (SwinIR_TRAIN1 y SwinIR_TRAIN2) presentan el mejor desempeño global. En particular, SwinIR_TRAIN2 obtiene los mejores resultados en la mayoría de las métricas reportadas en la Tabla X, destacándose por el aumento del PSNR y SSIM, así

como la disminución consistente en LPIPS y DISTS. Estos resultados reflejan una mejora tanto en la fidelidad de reconstrucción como en la calidad perceptual.

Finalmente, el análisis de las métricas complementa los resultados visuales, evidenciando que los modelos ajustados presentan una reducción del efecto de suavizado y una mayor preservación de detalles espaciales, especialmente en comparación con la interpolación y el modelo preentrenado.

4. Conclusiones y trabajo futuro

En este trabajo se evaluó la arquitectura SwinIR para tareas de reducción de escala espacial en imágenes satelitales ópticas, evidenciando su capacidad para reconstruir detalles espaciales con mayor fidelidad que métodos tradicionales como la interpolación. No obstante, su desempeño depende en gran medida del dominio de los datos con los que ha sido entrenada originalmente, lo cual afecta su capacidad de generalización directa a imágenes satelitales.

Los resultados demuestran la importancia de la transferencia de conocimiento como estrategia de adaptación de dominio, permitiendo ajustar la arquitectura a las características específicas de imágenes Landsat y Sentinel-2. Este proceso de adaptación mejora de manera consistente el desempeño del modelo, en términos de calidad perceptual y preservación estructural, reflejado en las diferentes métricas evaluadas.

Asimismo, se evidenció que la profundidad del ajuste del modelo influye directamente en su desempeño final. La configuración con un mayor nivel de ajuste fino presenta mejores resultados que el ajuste más superficial, lo que indica que una adaptación más profunda de la arquitectura permite capturar de forma más efectiva las características del dominio satelital.

Como trabajo futuro se plantea incorporar otras bandas espectrales en el proceso de entrenamiento y evaluación del modelo, incluyendo bandas del infrarrojo cercano y del infrarrojo de onda corta presentes en sensores como Landsat y Sentinel-2. Esto permitiría aprovechar la información espectral disponible en las imágenes satelitales, favoreciendo la reconstrucción de detalles espaciales y la preservación de características asociadas a la vegetación, humedad y cobertura del suelo. Además, la integración de múltiples bandas podría contribuir a mejorar la capacidad de generalización del modelo y ampliar su aplicabilidad en diferentes tareas de análisis geoespacial y monitoreo ambiental.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid por la financiación de la presente investigación a través del proyecto denominado “Reducción de escala espacial - Down Scaling y Fusión de imágenes de satélite impulsadas por inteligencia artificial para el monitoreo de coberturas terrestres en alta resolución. Caso de Estudio – Oriente Antioqueño” con la convocatoria de mínima cuantía 2025. Adicionalmente, a la NASA y la ESA por la disponibilidad abierta de las imágenes satelitales usadas en el estudio.

Referencias

1. Ben Khalifa, M.A., El Koundi, M., Farah, I.R.: Pushing boundaries in remote sensing: A comprehensive review of deep learning for spatial super-resolution. Remote Sensing Applications: Society and Environment 40, 101809 (2025)

2. Bordone Molini, A., Valsesia, D., Fracastoro, G., Magli, E.: DeepSUM: Deep Neural Network for Super-Resolution of Unregistered Multitemporal Images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 58(5), 3644–3656 (2020)

3. NASA: Landsat Data Overview. https://landsat.gsfc.nasa.gov, last accessed 2026/05/05

4. European Space Agency: Sentinel-2. https://sentinel.esa.int, last accessed 2026/05/05

5. Shao, Z., Cai, J., Fu, P., Hu, L., Liu, T.: Deep learning-based fusion of Landsat-8 and Sentinel-2 images for a harmonized surface reflectance product. Remote Sensing of Environment 235, 111425 (2019)

6. Dong, C., Loy, C.C., He, K., Tang, X.: Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks. CoRR abs/1501.0 (2015)

7. Liang, J., Cao, J., Sun, G., Zhang, K., Van Gool, L., Timofte, R.: SwinIR: Image Restoration Using Swin Transformer. In: 2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW), pp. 1833–1844. IEEE (2021)

8. Liu, Z., Lin, Y., Cao, Y., Hu, H., Wei, Y., Zhang, Z., Lin, S., Guo, B.: Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer Using Shifted Windows. In: 2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 9992–10002. IEEE (2021)

9. Huo, W., Zhang, X., You, S., Zhang, Y., Zhang, Q., Hu, N.: STGAN: Swin Transformer-Based GAN to Achieve Remote Sensing Image Super-Resolution Reconstruction. Applied Sciences 15(1) (2025)

10. McFEETERS, S. K. (1996). The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. International Journal of Remote Sensing, 17(7):1425–1432.

11. Sang, Y., Gu, H., Meng, Q., Men, X., Sheng, J., Li, N., and Wang, Z. (2024). An Evaluation of the Performance of Remote Sensing Indices as an Indication of Spatial Variability and Vegetation Diversity in Alpine Grassland. Remote Sensing, 16(24).

Caracterización de datos estructurados para un sistema multiagente basado en LLMs orientado a la evaluación de riesgo crediticio

Kevin Restrepo[1] and Sandra Mateus Santiago[1]

[1] Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia

kevin_restrepo54252@elpoli.edu.co, spmateus@elpoli.edu.co

Abstract. Este trabajo presenta el proceso de caracterización y preparación de datos estructurados para un Sistema Multiagente (MAS - Multi-Agent Systems) basado en Modelos de Lenguaje Grandes (LLM - Large Language Models) orientado a la evaluación de riesgo crediticio. A partir del dataset Home Credit Default Risk, se caracterizaron dos fuentes de datos: la tabla de solicitudes (307,511 registros, 122 variables) y la tabla de buró crediticio (1,716,428 registros, 17 variables). Medi-ante análisis de nulos, correlaciones, pruebas chi-cuadrado y análisis de cardinalidad, se redujo el conjunto a 33 variables (22 de solicitudes y 11 de buró) organizadas en tres dimensiones: capacidad financiera, comportamiento crediticio y perfil socioeconómico. La caracterización fue validada mediante dos experimentos: un análisis de consistencia donde el 95. 5% de las variables presentó variabilidad nula en 50 evaluaciones repetidas, y un análisis de capacidad predictiva sobre 100 solicitantes que alcanzó un recall de 87. 5% en la detección de incumplimiento. Los resultados demuestran que el conjunto de datos caracterizado es interpretable de manera consistente por un agente basado en LLM, con capacidad suficiente para identificar perfiles de riesgo crediticio. No obstante, la precisión obtenida (13. 2%) evidencia la necesidad de avanzar hacia la especialización funcional mediante un MAS para mejorar la capacidad discriminante del sistema.

Keywords: Riesgo crediticio · Sistemas multiagente · Large Language Models

1. Introducción

La evaluación del riesgo crediticio ha sido abordada tradicionalmente mediante modelos estadísticos y técnicas de aprendizaje automático como regresión logística y métodos de boosting [2], los cuales requieren datos preprocesados mediante imputación, codificación y normalización para alimentar algoritmos de clasificación [1]. Si bien estas técnicas de preprocesamiento son aplicables en sistemas basados en LLM, los agentes autónomos presentan requerimientos adicionales sobre la estructura de los datos: interpretan información en formato legible, identifican valores faltantes como dato relevante y operan sobre subconjuntos específicos de variables según su dominio [3]. Esto implica que la preparación de datos para agentes basados en LLM requiere, además de las transformaciones habituales, un proceso de caracterización orientado a garantizar que la información sea pertinente, con cardinalidad interpretable y manteniendo la fidelidad de los datos originales [4].

El presente trabajo describe la caracterización y preparación del dataset Home Credit Default Risk, detallando los criterios de selección de variables fundamentados en análisis estadístico, las transformaciones y agrupaciones aplicadas, y la validación experimental de la estructura resultante. Dicha validación se realizó mediante un agente evaluador basado en LLM [5], cuyos resultados sirven como línea base para evaluar la pertinencia del conjunto de datos en el contexto de un futuro MAS con agentes especializados en análisis financiero, comportamiento de deuda y perfil socioeconómico.

2. Metodología

El proceso de caracterización se organizó en cinco etapas: (1) análisis de completitud y valores nulos, (2) análisis de correlación y eliminación de redundancia, (3) validación de poder discriminante mediante pruebas chi-cuadrado, (4) agrupación de variables categóricas de alta cardinalidad, y (5) transformaciones temporales y muestreo estratificado. Análisis de nulos. El dataset original contiene 49 variables con más del 40% de valores nulos, incluyendo 30+ variables de características de vivienda con porcentajes entre 60% y 70%. Estas fueron descartadas por baja completitud. Se mantuvieron dos excepciones: EXT_SOURCE_1 (56.4% nulos) por su alta correlación con TARGET ($r = -0.155$), y OWN_CAR_AGE (66% nulos) donde el valor nulo tiene significado semántico (ausencia de vehículo).

Análisis de correlación. Se identificó una correlación de 0.951 entre RE-GION_RATING_CLIENT y REGION_RATING_CLIENT_W_CITY, constituyendo redundancia. Se eliminó la primera, conservando la versión que incorpora información de la ciudad. AMT_CREDIT y AMT_ANNUITY (correlación 0.77) se mantuvieron por representar dimensiones distintas necesarias para el cálculo de ratios financieros.

Poder discriminante. Se aplicó chi-cuadrado entre cada variable categórica y TARGET. Las diez variables evaluadas resultaron significativas ($p < 0.001$), siendo las de mayor poder: OCCUPATION_TYPE ($\chi 2 = 1402.8$), NAME_INCOME_TYPE ($\chi 2 = 1253.5$) y NAME_EDUCATION_TYPE ($\chi 2 = 1019.2$).

Agrupaciones. ORGANIZATION_TYPE presenta 58 categorías, de las cuales 17 contienen menos de 500 registros. Se diseñó una agrupación por sector económico reduciendo a 13 categorías, preservando el poder discriminante ($\chi 2 = 1255.9$, $p \approx 0$). NAME_INCOME_TYPE se redujo de 8 a 5 categorías agrupando las minoritarias (Maternity leave: 5, Student: 18, Businessman: 10, Unemployed: 22) en “Other”.

Transformaciones y muestreo. Se convirtieron tres variables temporales de días negativos a años. No se realizaron imputaciones. Se extrajo una muestra estratificada de 10,000 solicitantes por TARGET (8.07% de incumplimiento) con semilla fija. La tabla de buró fue filtrada a los solicitantes seleccionados (47,741 registros, promedio 5.6 créditos por persona). La variable TARGET fue excluida de los datos proporcionados a los agentes. La Tabla 1 resume las decisiones aplicadas.

Table 1: Resumen de decisiones de preparación de datos.

Criterio	Resultado
Descarte por nulos	49 variables eliminadas (>40% nulos)
Descarte por redundancia	REGION_RATING_CLIENT (r =0.951)
Agrupación categórica	ORGANIZATION_TYPE: 58 → 13; NAME_INCOME_TYPE: 8 → 5
Transformaciones	3 variables temporales (días → años)
Variables finales	22 (solicitudes) + 11 (buró) = 33

3. Resultados y discusión

Para validar que la estructura de datos resultante es consumible de forma consistente y útil por un agente basado en LLM, se diseñaron dos experimentos complementarios. Ambos utilizan un agente evaluador con salidas estructuradas mediante Pydantic, garantizando que las respuestas cumplan restricciones de tipo y formato.

Experimento 1: Consistencia en la calificación de variables. El objetivo de este experimento es determinar si el agente produce evaluaciones estables al analizar repetidamente el mismo perfil crediticio. Se seleccionó un caso fijo (solicitante 318573) y se ejecutó el agente calificador 50 veces. En cada ejecución, el agente asignó un score de riesgo entre 0 (favorable) y 1 (desfavorable) a cada una de las 22 variables del solicitante más un score consolidado del historial en buró. Se calculó la desviación estándar de cada variable a través de las 50 corridas. La Tabla 2 presenta los resultados.

Table 2: Resultados del experimento de consistencia (50 corridas, 1 caso).

Métrica	Valor
Variables evaluadas	22
Variables con SD = 0 (consistencia perfecta)	21
Variables con SD > 0	1 (HISTORIAL_BURO)
SD de HISTORIAL_BURO	0.0194
Rango de HISTORIAL_BURO	0.15 — 0.20

De las 22 variables evaluadas, 21 presentaron desviación estándar igual a cero, indicando consistencia perfecta en las 50 corridas. La única variable con variabilidad fue HISTORIAL_BURO (SD = 0.019), que a diferencia de las demás requiere que el agente interprete y consolide múltiples registros del buró en un único score, lo que introduce un margen mínimo de variación. La desviación estándar promedio del sistema fue de 0.0009, lo que sugiere que la combinación de criterios explícitos en el prompt y salidas estructuradas mediante Pydantic elimina prácticamente la variabilidad típica de los modelos de lenguaje.

Experimento 2: Capacidad predictiva. El objetivo de este experimento es evaluar si un agente basado en LLM puede predecir el incumplimiento crediticio utilizando exclusivamente las variables seleccionadas durante la caracterización, sin acceso a la variable TARGET. Se evaluaron 100 solicitantes seleccionados mediante muestreo estratificado, manteniendo la proporción original de incumplimiento (92 cumplidores, 8 incumplidores). Para cada caso, el agente recibió los datos del solicitante y su historial en buró, y emitió una predicción binaria (0 = cumple, 1 = incumple). Las predicciones fueron contrastadas con el TARGET real. La Tabla 3 presenta los resultados.

Table 3: Resultados del experimento de capacidad predictiva (n = 100).

Métrica	Valor
Accuracy	0.530
Precision	0.132
Recall	0.875

Métrica	Valor
F1-Score	0.230
Verdaderos negativos (pred=0, real=0)	46
Falsos positivos (pred=1, real=0)	46
Falsos negativos (pred=0, real=1)	1
Verdaderos positivos (pred=1, real=1)	7

El agente detectó correctamente 7 de 8 casos de incumplimiento, alcanzando un recall de 87.5%. Sin embargo, clasificó erróneamente a 46 solicitantes cumpli-dores como riesgosos (falsos positivos), resultando en una precision de 13.2% y un accuracy general de 53%. Este comportamiento refleja un perfil conservador: el agente prioriza evitar la aprobación de solicitantes morosos (solo 1 falso negativo) a costa de rechazar clientes que sí pagarían. En el contexto de riesgo crediticio, este sesgo es coherente con políticas de minimización de pérdidas por cartera ven-cida, donde el costo de un falso negativo es significativamente mayor que el de un falso positivo. No obstante, la baja precisión sugiere que un agente único carece de la especialización necesaria para discriminar adecuadamente entre perfiles, lo cual motiva la implementación de un MAS donde agentes especializados por dimensión de análisis puedan reducir el volumen de falsos positivos sin sacrificar la capacidad de detección.

4. Conclusiones

Se presentó un proceso de caracterización de datos estructurados orientado a la evaluación de riesgo crediticio mediante agentes basados en LLM. A diferencia del preprocesamiento convencional, donde el objetivo es satisfacer restricciones algorítmicas de modelos de clasificación, la caracterización propuesta prioriza la interpretabilidad, la cardinalidad adecuada y la preservación de valores faltantes como información relevante. La selección de variables fundamentada en análisis de nulos, correlaciones, pruebas chi-cuadrado y análisis de cardinalidad permitió reducir el conjunto original de 122 variables a 33 (22 de solicitudes y 11 de buró), manteniendo poder discriminante validado estadísticamente. Los experimentos realizados con un agente evaluador único demostraron que la estructura de datos propuesta es interpretable de manera consistente (95.5% de variables con vari-abilidad nula) y permite detectar el 87.5% de los casos de incumplimiento. Sin embargo, la precisión obtenida (13.2%) evidencia las limitaciones de un agente generalista, lo cual motiva como trabajo futuro la implementación de un MAS con agentes especializados en análisis financiero, comportamiento de deuda y perfil socioeconómico, con el fin de evaluar si la especialización funcional per-mite reducir la tasa de falsos positivos sin sacrificar la capacidad de detección de incumplimiento.

References

1. Shreya, Pathak, H.: Explainable artificial intelligence credit risk assessment using machine learning. arXiv preprint arXiv: 2506. 19383 (2025).

2. Xia, Y., Jiang, S., Meng, L., Ju, X.: XGBoost-B-GHM: An ensemble model with fea-ture selection and GHM loss function optimization for credit scoring. Systems 12(7), 254 (2024).

3. Jajoo, G., Chitale, P. A., Agarwal, S.: MASCA: LLM-based multi-agent system for credit assessment. arXiv preprint arXiv: 2507. 22758 (2025).

4. Pathi, S. P.: A multi-agent framework for personalized credit recommendations using interpretable machine learning and large language models. Int. J. Multidisciplinary Research and Growth Evaluation 6, 1406-1410 (2025).

5. Li, X., Wang, S., Zeng, S., et al.: A survey on LLM-based multi-agent systems: Workflow, infrastructure, and

Metodología de evaluación de vulnerabilidad sísmica del bloque P19 del PCJIC como estrategia de innovación tecnológica para la gestión del riesgo en edificaciones educativas existentes

Arabella Zapata E.[1], Jorge E. Campuzano C.[2], Juan David Patiño G.[3], Anllelina López R.[4], Kevin D. Atehortúa M.[5]

[1, 2] Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia

[3, 4, 5] Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia
azapata@elpoli.edu.co, jorgecampuzano@elpoli.edu.co

Resumen. Este artículo presenta la divulgación técnica de los resultados obtenidos en la evaluación de vulnerabilidad sísmica del bloque P19 del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, como caso de estudio de una edificación educativa existente construida bajo criterios normativos anteriores a la NSR-10. La investigación integró inspección visual, caracterización patológica, levantamiento geométrico, ensayos no destructivos, mediciones de vibración ambiental y modelación computacional en plataformas de análisis estructural para estimar la condición actual del edificio frente a demandas sísmicas reglamentarias. El enfoque se orienta a la innovación tecnológica aplicada, al combinar técnicas de diagnóstico in situ, herramientas digitales de simulación y criterios de desempeño para apoyar decisiones institucionales de gestión del riesgo. Los resultados evidencian la utilidad de articular información experimental y modelos numéricos para identificar condiciones críticas asociadas a rigidez, sobreesfuerzo, irregularidad y capacidad de respuesta, especialmente cuando el cambio de uso o de grupo de importancia exige revisar el desempeño de edificaciones existentes. La propuesta contribuye a la transferencia de conocimiento hacia comunidades académicas y administrativas responsables de la seguridad sísmica de infraestructura educativa.
.

Palabras clave: vulnerabilidad sísmica, edificaciones educativas, evaluación patológica, ensayos no destructivos, modelación numérica, innovación tecnológica, gestión del riesgo.

1. Introducción

La evaluación de edificaciones existentes constituye una necesidad técnica prioritaria en contextos urbanos con amenaza sísmica intermedia [1] y con infraestructura construida bajo reglamentos anteriores a las exigencias actuales [2, 3]. En edificaciones educativas, esta necesidad adquiere una dimensión adicional debido a la concentración de población, la continuidad del servicio académico y el valor social de la infraestructura como espacio de protección, aprendizaje y permanencia comunitaria. En este marco, el bloque P19 del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid se plantea como un caso de estudio pertinente para divulgar una metodología integrada de diagnóstico y evaluación sísmica orientada a la toma de decisiones institucionales.

El problema abordado no se limita a establecer si una estructura cumple o no un requisito normativo [3]. La investigación propone comprender la condición real del edificio mediante la integración de tres fuentes de evidencia: la observación patológica de los elementos estructurales, la caracterización de materiales y refuerzo mediante técnicas no destructivas, y la simulación computacional de la respuesta estructural bajo demanda sísmica [4-7]. Esta integración permite transformar datos de campo en insumos técnicos para estimar niveles de vulnerabilidad, identificar mecanismos probables de daño y priorizar acciones de intervención.

El aporte central del trabajo radica en mostrar cómo la ingeniería estructural puede emplear tecnologías accesibles de inspección, monitoreo y modelación para fortalecer la gestión del riesgo en instituciones de educación superior. La divulgación de los resultados busca, por tanto, presentar una ruta replicable para evaluar edificios bajos de concreto reforzado (entre 1 y 5 niveles) con información incompleta, deterioro visible o incertidumbre sobre sus condiciones reales de diseño y construcción.



Fig. 1. Localización y vista general del bloque P19 como caso de estudio institucional.

2. Caso de estudio: bloque P19 del PCJIC

El bloque P19 corresponde a una edificación educativa existente del campus del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Su selección como caso de estudio se fundamentó en tres condiciones: su representatividad dentro de la infraestructura institucional, la existencia de incertidumbres asociadas a la documentación técnica disponible y la necesidad de valorar su desempeño frente a los criterios sismorresistentes vigentes. El edificio se reconoce como una estructura de pórticos de concreto reforzado con uso académico y administrativo, cuya configuración geométrica y estructural requiere ser revisada mediante una metodología que combine levantamiento de información, diagnóstico físico y análisis estructural.

La relevancia del caso también se relaciona con el cambio de exigencias normativas aplicables a edificaciones destinadas a la atención de la comunidad. La evaluación de un edificio educativo no debe centrarse únicamente en la prevención del colapso, sino también en la reducción de daños, la protección de sus ocupantes y la posibilidad de restablecer funciones esenciales después de un evento sísmico [8]. Esta perspectiva permite vincular el análisis estructural con la gestión del riesgo, la planificación del mantenimiento y la priorización de intervenciones. En la tabla 1 se sintetiza la descripción del caso de estudio y los antecedentes e insumos con los que se contó para la formulación de la metodología propuesta.

3. Metodología integrada de evaluación

La metodología se organizó en una secuencia de actividades que permitió pasar de una caracterización cualitativa inicial a una evaluación estructural soportada en información cuantitativa. En primer lugar, se realizó una inspección visual orientada a reconocer patologías, condiciones de deterioro y posibles irregularidades que pudieran incidir en la respuesta sísmica. En segundo lugar, se desarrolló el levantamiento geométrico y estructural, con el fin de construir una representación confiable de la configuración del edificio y de sus elementos resistentes principales.

Posteriormente, se aplicaron ensayos no destructivos para estimar propiedades del concreto y verificar la disposición del acero de refuerzo. La esclerometría permitió obtener índices de rebote asociados de manera indirecta con la resistencia a compresión del concreto, mientras que la localización de barras y la medición de

recubrimientos permitieron reducir incertidumbres sobre el detallado existente. Esta información fue complementada con mediciones de vibración ambiental, útiles para estimar propiedades dinámicas globales y contrastarlas con los periodos obtenidos en los modelos numéricos.

La etapa computacional incorporó modelos tridimensionales en software especializado, considerando hipótesis de rigidez para secciones no fisuradas y fisuradas. A partir de estos modelos se evaluaron desplazamientos, derivas, demandas internas, índices de flexibilidad, índices de sobreesfuerzo y respuesta no lineal mediante análisis estático incremental. La comparación entre resultados de campo y resultados analíticos permitió interpretar el desempeño esperado del edificio frente a las demandas sísmicas consideradas.

Tabla 1. Descripción e Insumos para el caso de estudio.

Aspecto	**Información**	**Observaciones**
Identificación del edificio	Bloque P19, atención a la comunidad, 3 niveles, pórticos de concreto reforzado con losas aligeradas de concreto en dos direcciones y cubierta metálica y de madera.	Originalmente fue una estructura de 1 nivel destinada a taller y se cambió de uso a aulas y oficinas.
Condición normativa	Reglamento Original CCCSR-84, Reglamento de cambio de uso NSR-98, Reglamento vigente NSR-10	No existe un diseño sismorresistente.
Información disponible	Sólo hay evidencia de planos arquitectónicos del edificio, hay evidencia de ampliación mediante estructura metálica para losas, no existen estudios previos de patología ni levantamientos anteriores.	La estructura metálica es independiente de la estructura de resistencia sísmica y sólo es para acciones verticales.
Condición física	Existen unas vigas perimetrales de concreto reforzado que presentan fisuras por flexión y corte y deflexiones excesivas., Estas soportan los muros de mampostería de adobe de la fachada perimetral.	Hay información de que las vigas perimetrales no fueron vaciadas monolíticamente con la estructura de concreto de los pórticos.
Modelo estructural	Se usaron los softwares MIDAS Gen y SAP2000 para comparación de resultados. Columnas, vigas y losas se caracterizaron en su resistencia y acero de refuerzo y se hicieron análisis para secciones no fisuradas/fisuradas. Pushover no lineal.	Se establecieron índices de flexibilidad y sobresfuerzo según NSR-10 y análisis por desempeño basado en FEMA.

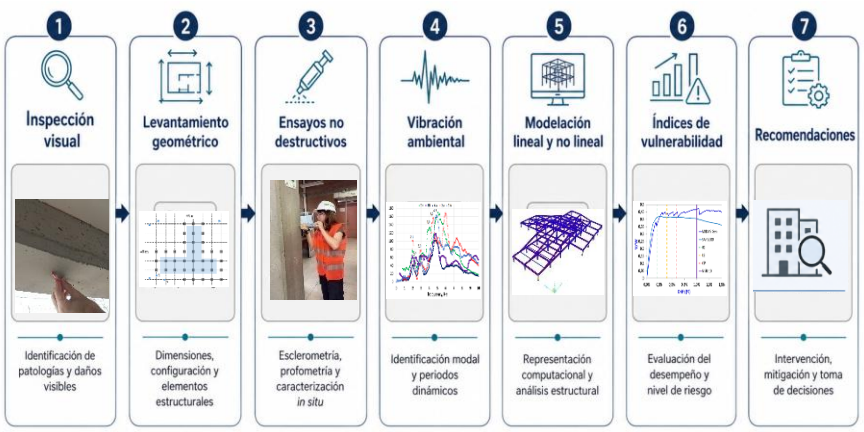


Fig. 2. Ruta metodológica integrada para la evaluación de vulnerabilidad sísmica del bloque P19.

El edificio tiene 8 luces en la dirección longitudinal (x) y 7 luces en la dirección transversal (y) con la misma separación entre ejes de columnas de 8 m. Cuenta con 3 niveles, cada uno con una altura de 3 m medidos de piso acabado a piso acabado. En la Tabla 2 se presentan las propiedades geométricas, área (A), base (b), y altura (h) en metros (m), y de los materiales de vigas y columnas, así como la cuantía de refuerzo longitudinal (ρsl), la separación de estribos (s) y el recubrimiento del concreto en cada uno de los elementos estructurales en cada nivel. El módulo de elasticidad para el concreto se calculó de manera aproximada con la ecuación 1 como se recomienda en el NSR10 [3]. El módulo elástico considerado para el acero fue del valor nominal de 200000 MPa. Las principales características de refuerzo incluyendo diámetros, separación y distribución se visualizan en la Tabla 3.

Tabla 2. Secciones y materiales de elementos estructurales en modelos de MIDAS Gen y SAP2000.

Elemento	*A* (m x m) b x h	*ρsl*	*f'c* MPa	*s* *m*	*Fy* MPa	*cc*
Columna 1	0.4 x 0.4	0.0130	28	0.15	420	0.035
Columna 2	0.4 x 0.4	0.01	28	0.15	420	0.035
Viga	0.4 x 0.5	0.0033	21	0.20	420	0.035

$$Ec = 4700\sqrt{f'c} \qquad (1)$$

Donde Ec y $f'c$ son el módulo elástico del concreto y la resistencia máxima a la compresión respectivamente.

4. Resultados técnicos para diagnóstico

Los resultados de la caracterización patológica evidencian la importancia de diferenciar entre daños superficiales, manifestaciones asociadas al uso y posibles indicios de deficiencias estructurales desde la concepción original o debido a los cambios de uso e intervenciones. La inspección permitió reconocer elementos que requieren seguimiento, tales como fisuración en vigas perimetrales, pérdida de recubrimiento de estribos y de barras longitudinales, desprendimientos locales en especial en elementos de fachada, irregularidades geométricas o intervenciones no documentadas. Aunque estas manifestaciones no determinan

por sí solas el desempeño sísmico, sí constituyen señales relevantes para orientar ensayos, seleccionar zonas de verificación y definir hipótesis conservadoras de modelación.

La caracterización mediante ensayos no destructivos (Figura 3) aportó evidencia para reducir la incertidumbre del modelo. En particular, la estimación indirecta de la resistencia del concreto y la verificación del refuerzo existente permitieron establecer parámetros iniciales para el análisis. En edificaciones sin documentación completa, este paso es esencial, porque la respuesta calculada puede variar significativamente cuando se emplean propiedades supuestas frente a propiedades verificadas en campo. La estimación de las frecuencias fundamentales en la estructura permitió la calibración de las cargas, masas y distribución de rigidez en el modelo de manera que se reprodujeran analíticamente los períodos de vibración identificados. Para registrar las aceleraciones inducidas por vibraciones ambientales se usó la configuración que se muestra en la Figura 4, se observan 4 instrumentos localizados en la primera planta estructural en la dirección norte-sur denotada como N, y en la este-oeste denotada como W. Los sensores de referencia se dispusieron en el primer nivel en contacto con el terreno y se identifican con las iniciales EN y EW para las direcciones norte-sur y este-oeste respectivamente. Las señales capturadas se procesaron en el dominio de la frecuencia mediante técnicas de descomposición espectral y se identificaron los picos asociados con las frecuencias dominantes de la estructura. Basados en estos resultados, se estimaron los periodos de calibración del modelo en las componentes ortogonales X, Y y torsión en esta estructura de configuración irregular en planta y en elevación.

Tabla 3. Configuración de refuerzo en vigas, columnas y losas

Elemento	**Tipo de refuerzo**	**diámetro barra Ø**	**Espaciamiento barras**	**Arreglo barras**	**ρ**
Columna 1 central	Longitudinal	#4		16	0.013
Columna 1 Central	Transversal	#3	0.15		
Columna 2 perimetral	Longitudinal	#4		12	0.01
Columna 2 perimetral	Transversal	#3	0.15		
Vigas	Longitudinal	#5	0.15	6	0.0033
Vigas	Transversal	#3	0.20		

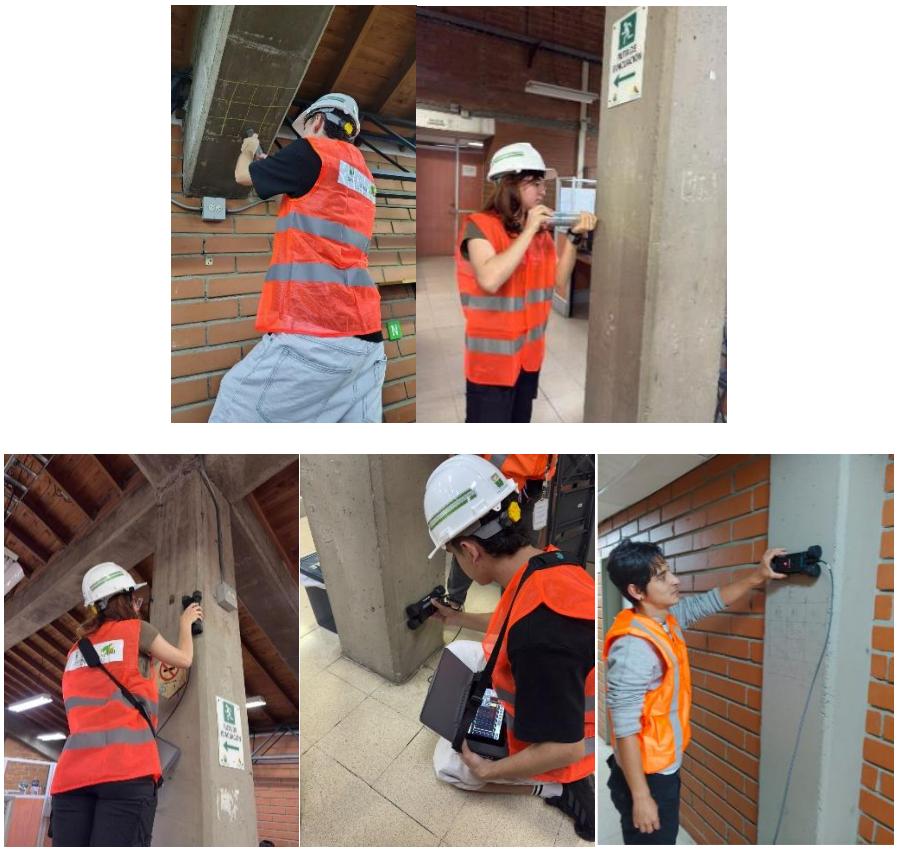


Fig. 3. Evidencia de la inspección patológica y caracterización física del bloque P19.

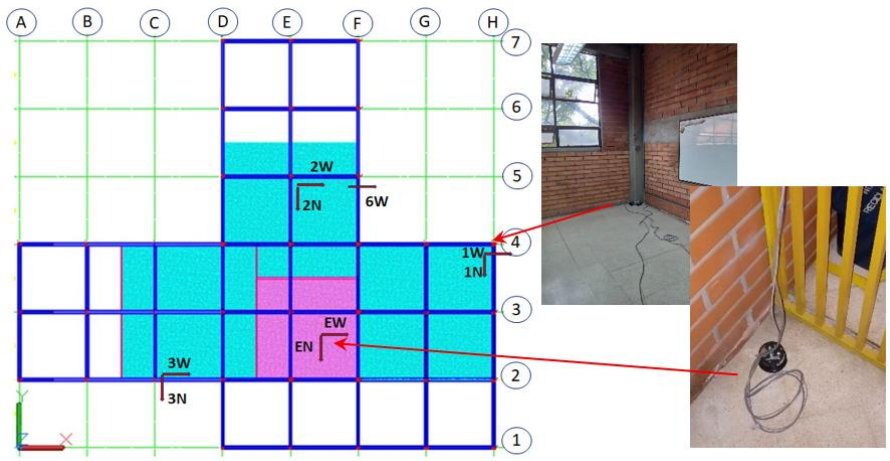


Fig. 4. Evidencia de la inspección patológica y caracterización física del bloque P19.

La Figura 5 y la Tabla 4 muestran las frecuencias identificadas en cada una de las direcciones para el modo fundamental y modos superiores de la vibración ambiental en el análisis de Fourier.

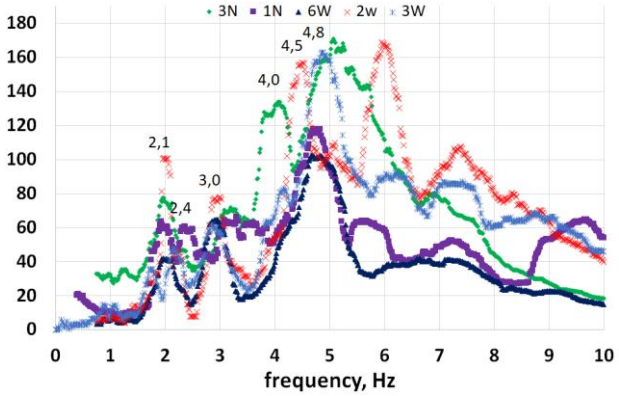


Fig. 5. Frecuencias identificadas del análisis de Fourier.

Los modelos computacionales (Figura 6) permitieron comparar escenarios de rigidez con secciones no fisuradas y fisuradas, para lo cual se eligieron coeficientes de 0.7 en vigas y 0.5 en columnas, lo cual es relevante en estructuras existentes de concreto reforzado sometidas a demanda sísmica. La evaluación mediante índices de flexibilidad (Tabla 5) y sobreesfuerzo (Tabla 6) proporciona una lectura global de la vulnerabilidad, mientras que el análisis no lineal permite identificar elementos con mayor probabilidad de desarrollar daño bajo incrementos progresivos de demanda lateral. En conjunto, los resultados sugieren que el edificio requiere estrategias de gestión estructural orientadas a mejorar su desempeño y a priorizar una evaluación detallada de alternativas de reforzamiento.

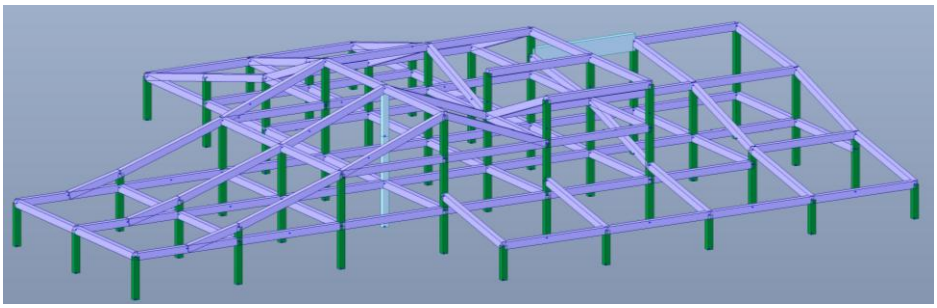


Fig. 6. Modelo computacional empleado para la evaluación estructural del bloque P19.

Tabla 4. Períodos naturales identificados en vibración ambiental V.A. y períodos de los modelos numéricos.

	A.V.	**A.V.**	***MIDAS***	***SAP2000***
	f (hz)	*T* (*s*)	*T* (*s*)	*T* (*s*)
Mode 1 Longitudinal (L)	2,1	0,48	0.4332	0.43
Mode 1 Transversal (T)	2,2	0,45	0.4207	0.41
Mode 1	3,0	0,33	0.3340	0.39

	A.V.	A.V.	*MIDAS*	*SAP2000*
Torsional (R)				
Mode 2	3,1	0,32	0.3029	0.35
Longitudinal				
Mode 2	4,1	0,25	0.2834	0.24
Transversal				

Tabla 5. Índices de flexibilidad

Software	**Condición sección**	**L máx Drift (%)**	**T máx Drift (%)**	***NSR-10 limit***
MIDAS Gen	Fisurada	1.43	1.0	1.43
MIDAS Gen	Sin Fisurar	0.90	0.83	1.0
SAP2000	Fisurada	1.00	0.83	1.43
SAP2000	Sin Fisurar	0.81	0.70	1.0

Tabla 6. Índices de sobresfuerzo

Software	**Tipo esfuerzo**	Columna C1	Columna C2	*Viga*
MIDAS Gen	Shear	0.30	0.35	0.70
MIDAS Gen	P-M	1.60	1.30	1.4
SAP2000	Shear	0.25	0.27	0.60
SAP2000	P-M	1.36	1.13	1.23

La comparación entre las propiedades dinámicas identificadas experimentalmente y las predicciones numéricas mostró que considerar secciones agrietadas es esencial para estimar adecuadamente el desplazamiento elástico, ya que refleja la degradación de rigidez por fisuración, envejecimiento y efectos acumulados en servicio. Bajo esta consideración, las derivas de entrepiso aumentaron significativamente y alcanzaron los límites de la NSR-10, indicando que la estructura no cumple satisfactoriamente los requisitos de deformación para un desempeño sísmico aceptable.

Dado que los índices de sobreesfuerzo superaron ligeramente los límites admisibles, se recomienda implementar una estrategia de reforzamiento para mejorar la resistencia y ductilidad de los elementos principales, especialmente aquellos sometidos a mayores demandas sísmicas y torsionales. Esto es aún más importante porque vigas y columnas presentan separaciones de estribos mayores a las exigidas actualmente, por lo que es necesario mejorar el confinamiento, en especial cerca de las uniones viga-columna.

Los resultados no lineales tipo pushover mostraron que SAP2000 predice una mayor rigidez inicial, pero una menor reserva postelástica, mientras que MIDAS Gen estima una rigidez inicial ligeramente menor, pero mayor resistencia lateral y una respuesta inelástica más estable. Aunque la deriva máxima del análisis lineal (~0.9%) está por debajo del límite de 1.0% de la NSR-10, supera los umbrales de desempeño IO, LS y CP, lo que evidencia que cumplir con la norma no implica necesariamente un desempeño sísmico satisfactorio. En conjunto, los resultados indican un nivel de desempeño cercano a seguridad de la vida (LS- Life Safety), con SAP2000 como estimación más conservadora y MIDAS Gen mostrando una mayor reserva de deformación.

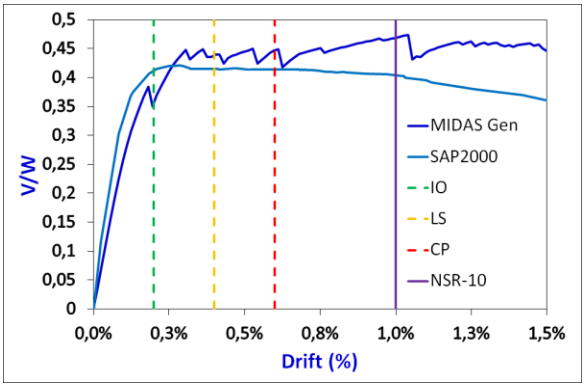


Fig. 7. Síntesis gráfica de resultados de desempeño sísmico y demanda estructural.

5. Enfoque de innovación y transferencia tecnológica

El componente innovador del proyecto se expresa en la articulación de herramientas de inspección, ensayos no destructivos, mediciones dinámicas y modelación computacional para evaluar una edificación real con restricciones habituales de información. Esta integración constituye una alternativa práctica para instituciones que deben gestionar infraestructura existente, priorizar inversiones y tomar decisiones con base en evidencia técnica. La innovación no se limita al uso de software especializado; se materializa en la conversión de datos de campo en criterios verificables para la gestión del riesgo.

Desde el punto de vista de transferencia, la Figura 8 presenta la propuesta para que el caso P19 pueda convertirse en un protocolo institucional para evaluar edificios similares del campus o de otras instituciones educativas. La metodología permite generar fichas de diagnóstico, modelos base, mapas de daño, indicadores de desempeño y recomendaciones de intervención. Además, el proyecto fortalece la formación de estudiantes de ingeniería civil, al vincular conceptos de patología, análisis estructural, dinámica, diseño sismorresistente y evaluación por desempeño en un caso real de infraestructura educativa.

Se resalta que la gestión del riesgo sísmico requiere procesos interdisciplinarios, datos verificables y comunicación técnica clara. Por ello, se recomienda una matriz de acciones: monitorear, evaluar con mayor detalle, priorizar reforzamiento y establecer lineamientos de mantenimiento preventivo.



Fig. 8. Esquema de transferencia de resultados hacia la gestión institucional del riesgo sísmico.

6. Conclusiones

La evaluación del bloque P19 demuestra que la vulnerabilidad sísmica de edificaciones educativas existentes debe abordarse mediante una metodología integrada que combine inspección patológica, caracterización experimental y modelación computacional.

Los ensayos no destructivos y las mediciones dinámicas permiten reducir incertidumbres relevantes en edificios con información técnica incompleta, mejorando la confiabilidad de los modelos usados para estimar derivas, demandas internas e índices de desempeño.

La comparación de escenarios de rigidez y la aplicación de análisis lineales y no lineales constituyen una estrategia útil para identificar condiciones críticas, priorizar elementos o zonas de intervención y orientar estudios de reforzamiento.

El proyecto aporta una experiencia de innovación aplicada, porque transforma datos de campo y simulación en criterios de decisión para la gestión institucional del riesgo sísmico, con potencial de replicación en otros edificios del campus.

Se recomienda enfatizar la transferencia de conocimiento, la utilidad de tecnologías accesibles de diagnóstico y la relación entre seguridad estructural, continuidad académica y responsabilidad social.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y a los estudiantes e integrantes del equipo de investigación que participaron en las actividades de inspección, levantamiento, caracterización y modelación del bloque P19.

Referentes

1. O. A. López, Guía para la evaluación de edificaciones existentes con fines de adecuación sísmica, 2014.
2. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS): Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes CCCSR-84. Bogotá, Colombia (1984).

3. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS): Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá, Colombia (2010).
4. American Society of Civil Engineers: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, ASCE/SEI 41-17. Reston, VA (2017).
5. Federal Emergency Management Agency: Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, FEMA 440. Washington, DC (2005).
6. Chopra, A.K., Goel, R.K.: A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 31, 561-582 (2002).
7. Applied Technology Council: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC-40. Redwood City, CA (1996).

Evaluación de las condiciones actuales del sistema de abastecimiento de agua, aspectos bioclimáticos y manejo de residuos sólidos en la comunidad de Bocas del Atrato (Turbo- Antioquia).

Valentina Alvarez-Taborda[1], Cristian Camilo Medina-Restrepo[1], Yhorman Estiven Estrada-Estrada[1], Diana Cristina Guzman-Corredor[1], Silvana Bolaños-Chavarría[1], Carolina González[1], Juan Pablo Serna[2]

[1] Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

[2] Universidad de Antioquia

Abstract. This work investigates, analyzes, and proposes solutions to the growing issues of housing sustainability, access to basic services, and biodiversity conservation in the district of Bocas del Atrato, a community strongly influenced by the Atrato River channels and the outlet of the Gulf of Urabá into the Caribbean Sea. The initiative aims to improve the quality of life of the population while maintaining a balance between the social and ecological components of the district by applying concepts of environmental sustainability, energy efficiency, and promoting community participation.
The applied methodology combines qualitative approaches using the PARDI methodology and semi-structured interviews to define the problem, identify stakeholders, and understand the socio-ecological system of the district. Likewise, a quantitative system was applied during a field visit focused on evaluating water supply conditions and conducting bioclimatic studies of the houses. During the visit, the absence of formal water supply systems was confirmed, forcing the community to obtain water from contaminated sources without prior treatment for consumption. In addition, it was identified that the houses accumulate heat in a "greenhouse-like" manner due to the zinc roofs. Furthermore, a significant problem regarding the management and disposal of solid waste was observed, as most of it ultimately ends up in the district's water bodies. Based on the collected information, alternatives were proposed for the sustainable improvement of water supply and water management systems, housing conditions, and solid waste disposal.

Keywords: Sustainability, Water quality, Solid waste.

1. Introducción

El contraste entre la abundancia de recursos y la precaria calidad de vida se ve reflejado en la comunidad del corregimiento de Bocas del Atrato – Turbo, un corregimiento caracterizado por la abundancia de recursos hídricos ya que se ve fuertemente influenciado por la acción de río Atrato y el mar Caribe, sin embargo, este, carece de un sistema formal de abastecimiento de agua lo que obliga a la comunidad a abastecerse de las fuentes aledañas, principalmente el río Atrato, que además, es el sitio de deposición de desechos sólidos y orgánicos. Debido a su ubicación geográfica la gestión de residuos es un reto que aún no garantiza condiciones adecuadas a causa de la ausencia de un sistema de recolección de residuos. Desafortunadamente las desembocaduras del río Atrato en el Golfo de Urabá, incluida la zona de Bocas del Atrato, enfrentan graves inconvenientes debido a la contaminación por minería ilegal, vertimientos de residuos y deforestación. En la cuenca media-alta, la extracción ilícita de oro vierte mercurio y cianuro, contaminando el agua con metales pesados que afecta la salud humana, causando problemas neurológicos y cutáneos, y dañan la biodiversidad, reduciendo especies como el bocachico (M. García & Soto, 2022). Estos vertimientos generan riesgos de infecciones para las comunidades.

En este contexto, se realizó una salida de campo a la comunidad de Bocas del Atrato con el propósito de evaluar las condiciones actuales del sistema de abastecimiento de agua, aspectos bioclimáticos y manejo de residuos sólidos para recolectar información técnica que permitiera la formulación de propuestas de mejoramiento sostenible. Durante la visita se efectuaron inspecciones visuales, toma de datos bioclimáticos, análisis de calidad

del agua y disposición de residuos sólidos en un total de 20 viviendas previamente seleccionadas y caracterizadas dentro de la comunidad.

El presente trabajo tiene como objetivo presentar los resultados obtenidos durante la caracterización de las viviendas para posteriormente, proponer posibles alternativas de intervención presentando opciones de materiales sostenibles para elementos constructivos no estructurales. De esta manera, se busca generar un vínculo entre estas alternativas y la comunidad mediante la sensibilización en aras de propiciar un entorno pedagógico enfocado a la apropiación de herramientas que mejoren su calidad de vida.

2. Metodología

Haciendo uso de un enfoque mixto, inicialmente se realizó un rastreo bibliográfico para conocer aspectos económicos, demográficos y geográficos del corregimiento de Bocas del Atrato, también, se realizó una primera visita a la zona con el fin de caracterizar un total de 20 viviendas e identificar las principales problemáticas presentes en la comunidad.

Acto seguido, se efectuó una segunda visita de campo en la cual se realizaron análisis de calidad del agua, evaluaciones bioclimáticas de las viviendas (tanto en el día como en la noche) y revisiones relacionadas con el manejo y disposición de residuos sólidos por medio del uso de diferentes equipos de medición. Las actividades desarrolladas se realizaron sobre las mismas 20 viviendas previamente seleccionadas durante la etapa de caracterización. La información recopilada fue posteriormente organizada y analizada para identificar los principales desafíos ambientales y sociales del corregimiento.

Actualmente, el proyecto se encuentra en una etapa enfocada en la formulación de propuestas orientadas a dar respuesta a las problemáticas identificadas durante el trabajo de campo, mediante la implementación de alternativas sostenibles relacionadas con el acceso al agua, el manejo integral de residuos sólidos y el uso de materiales adecuados que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de confort y habitabilidad de las viviendas.

3. Resultados

La investigación permitió evidenciar problemas en la calidad del agua asociados al hecho de ser una zona sin cobertura de acueducto formal y se identificaron actividades en la comunidad para proveer las viviendas informalmente de este servicio incluyendo conexiones improvisadas y unidades deficientes para tratamiento y almacenamiento del recurso hídrico. Estas condiciones aumentan el riesgo de contaminación y afectan el bienestar de los habitantes. Los resultados obtenidos revelaron valores de turbiedad superiores a los recomendados para agua potable, lo que indica presencia significativa de sólidos suspendidos. Así mismo, se observaron variaciones de pH que podrían afectar la calidad del agua consumida por los habitantes. En las tablas 1 y 2 se pueden observar las mediciones promedio obtenidas tanto para el agua para consumo, que corresponde a las aguas lluvias recolectadas, como para el agua destinada a otros usos que es extraída del río acompañadas del valor recomendado para la calidad de agua para consumo humano en la resolución 2115 del 22 de Junio de 2007.

Tabla 2. Mediciones calidad del agua para consumo humano.

Agua para consumo humano		
Parámetro	**Promedio**	**Valor recomendado**
TEMPERATURA (°C)	31,005	-

Agua para consumo humano		
Parámetro	**Promedio**	**Valor recomendado**
TURBIEDAD (NTU)	3,0245	2
pH	6,42	6,5 - 9,0
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)	37,491	100
OXIGENO DISUELTO (mg/L)	7,256	7,0 – 8,0
SATURACIÒN (%)	97,62	80 – 120

Tabla 2. Mediciones calidad del agua para otros usos.

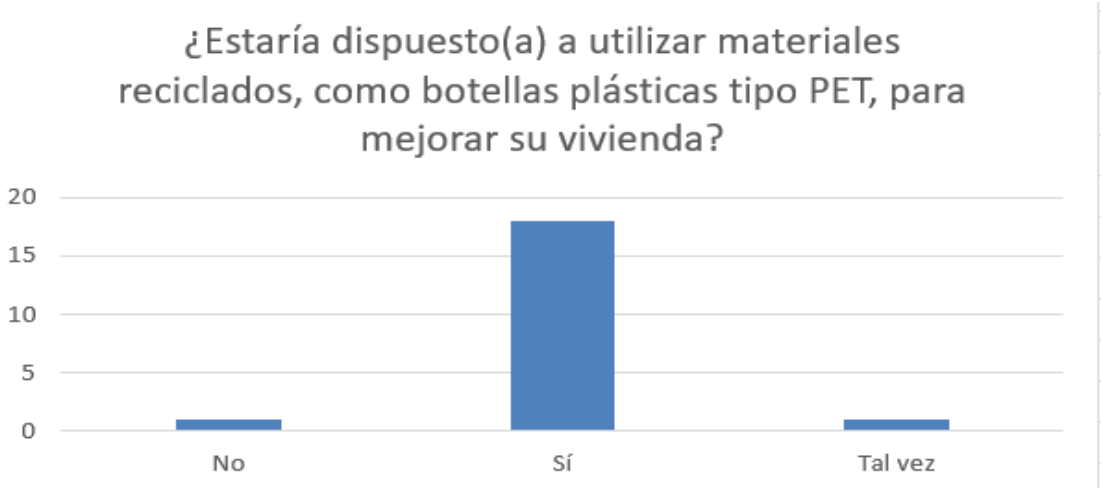
Agua para otros usos		
Parámetro	**Promedio**	**Valor recomendado**
TEMPERATURA (°C)	30,905	-
TURBIEDAD (NTU)	40,905	2
pH	6,936	6,5 - 9,0
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)	239,85	100
OXIGENO DISUELTO (mg/L)	5,9255	7,0 – 8,0
SATURACIÒN (%)	77,48	80 – 120

En la tabla 3 se presentan los valores máximos y mínimos para las mediciones relacionadas a la calidad del agua de las viviendas.

Tabla 2. Valores máximos y mínimos para las mediciones relacionadas a la calidad del agua de las viviendas.

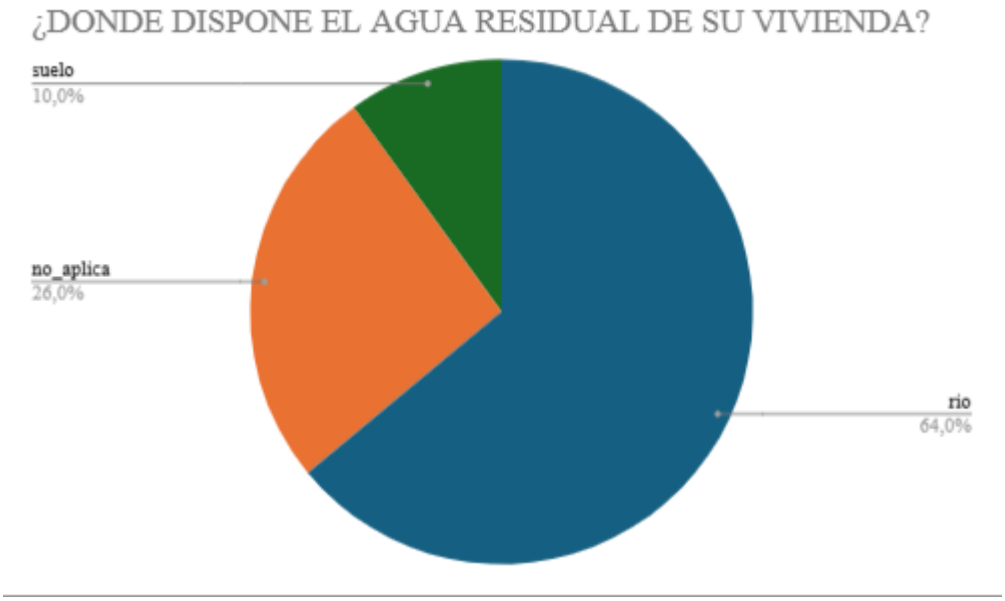
Parámetro	**Vivienda**	**Valor máximo**	**Vivienda**	**Valor mínimo**
TEMPERATURA (°C)	V17	33,8	V10	28,4
TURBIEDAD (NTU)	V28	10,2	V8	0,64
pH	V6, V11	7,96	V42	4,29
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS)	V17	109,5	V3	15,65
OXIGENO DISUELTO (mg/L)	V6	8,78	V8, V23	5,76
SATURACIÒN (%)	V6	118,6	V10	86,8

Por otro lado, se pudo constatar que la comunidad de Bocas del Atrato no cuenta con un plan de manejo de residuos sólidos, esto sumado al desconocimiento general sobre el uso de los mismos, pues el 99.8% de las viviendas encuestadas afirmaron no saber cómo usar materiales reciclables para su beneficio, no obstante, 17 de las 20 viviendas analizadas estarían dispuestas a aprender cómo usar los residuos a su favor, dichos resultados se expresan visualmente en la gráfica 1.



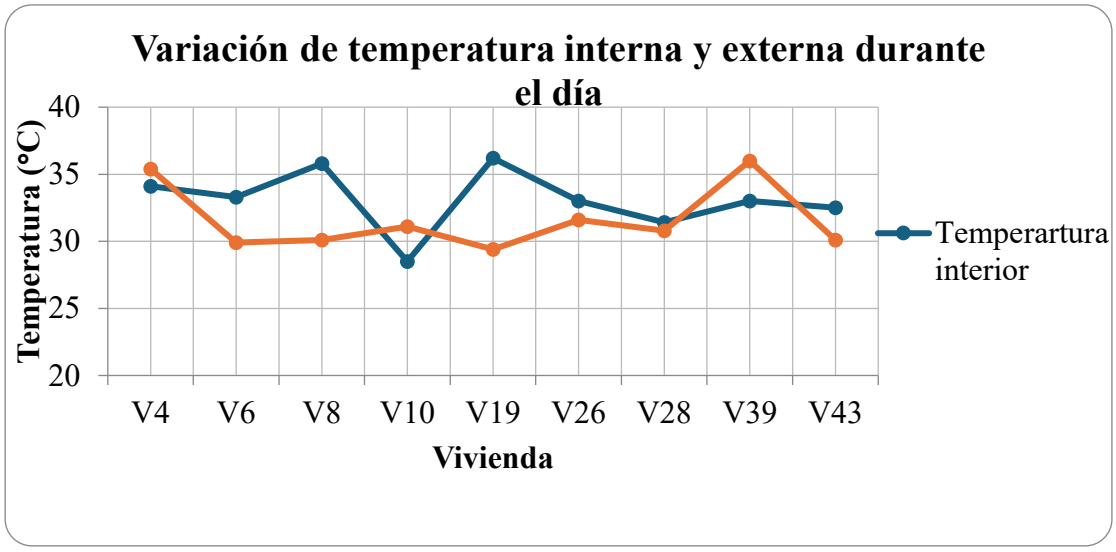
Gráfica 1. Disponibilidad de las viviendas a utilizar materiales reciclados.

Por otro lado, el 64 % de los hogares reporta el vertimiento directo de las aguas residuales al río, mientras que el 26 % no cuenta con unidad sanitaria dentro de la vivienda, lo que implica su disposición directa en el entorno. Por su parte, el 10 % restante vierte las aguas residuales al suelo o a patios cercanos, los cuales generalmente presentan condiciones de estancamiento debido al exceso de residuos, estos resultados se pueden observar de manera esquemática en la gráfica 2.

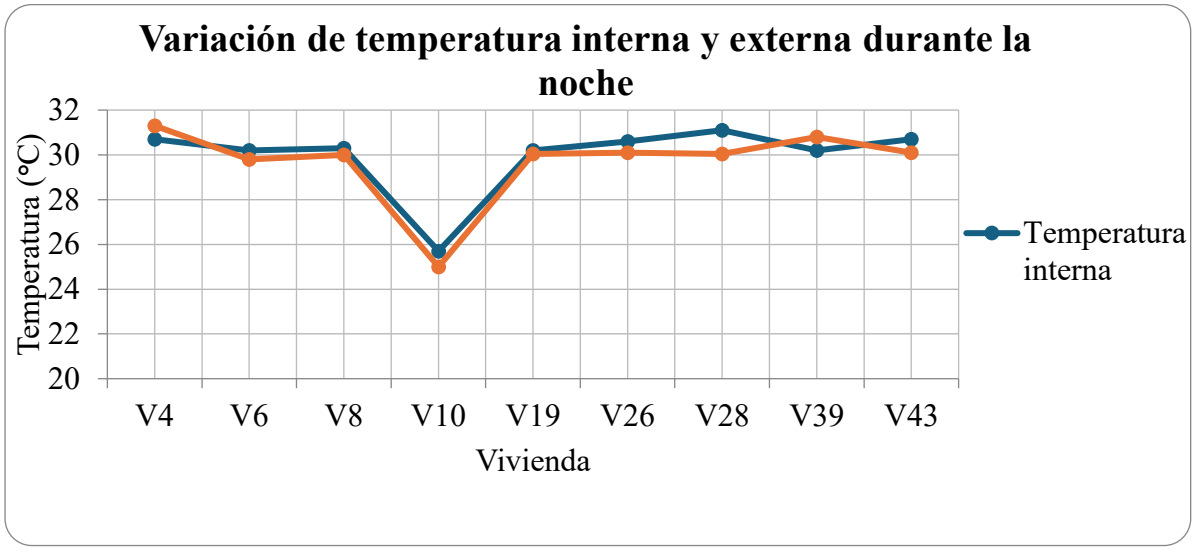


Gráfica 2. Disposición de las agua residuales producidas por las viviendas analizadas.

Finalmente, en cuanto al entorno habitacional se observó que durante el día la temperatura al interior de las viviendas es mayor a la temperatura exterior, alcanzando valores máximos de hasta 36.2 °C en el interior, mientras que la temperatura exterior registrada para la misma vivienda fue de 29.4 °C, esto, asociado al uso de láminas de zinc como material constructivo de las viviendas, la gráfica 3 permite visualizar la variación de estas temperaturas en cada una de las viviendas. Este fenómeno se presenta igualmente en horas de la noche debido a que la temperatura interior se torna mayor a la exterior; el promedio de temperatura interior nocturna fue de 30.0 °C, mientras que la temperatura exterior promedio fue de 29.7 °C. Esto se debe a que las láminas de zinc expuestas a las altas temperaturas de la zona, la humedad y el nulo mantenimiento absorben el calor directo del sol durante el día, lo conduce y libera al interior de las viviendas al disminuir la temperatura en la noche, esta variación se puede observar en la gráfica 4.

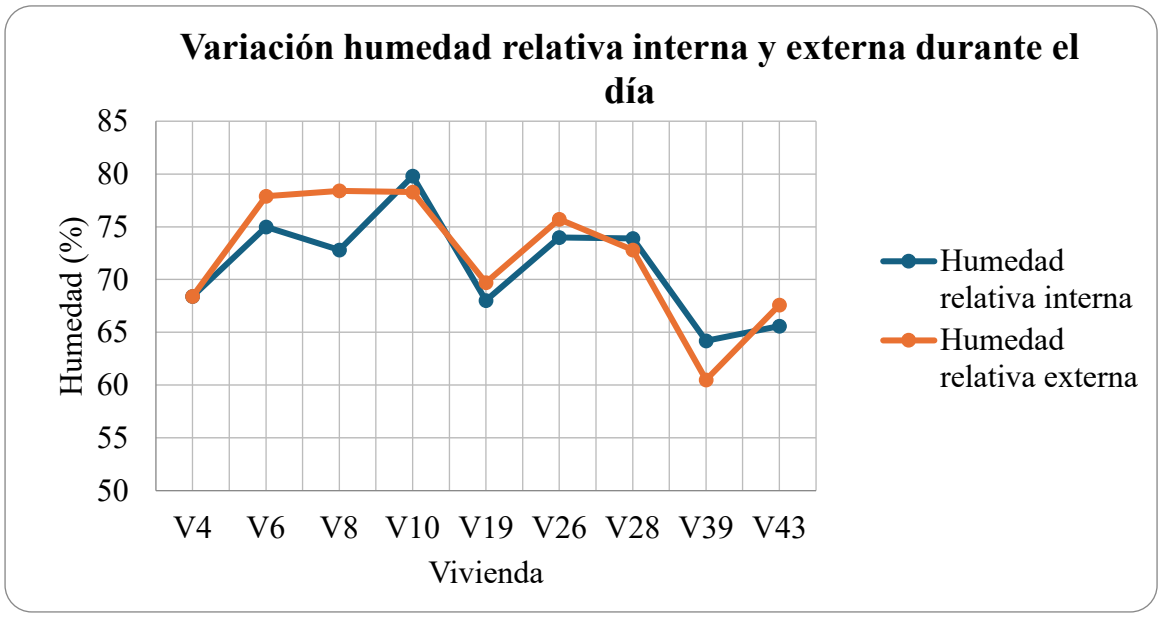


Gráfica 3. Variación de la temperatura interior y exterior durante el día.



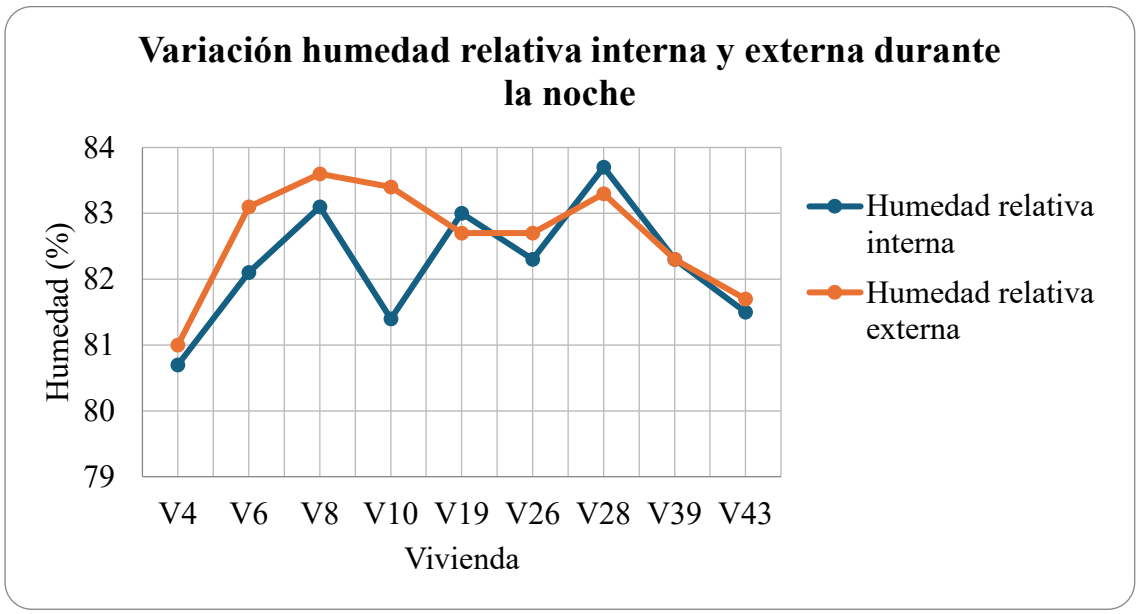
Gráfica 4. Variación de la temperatura interior y exterior durante la noche.

En relación con la humedad relativa, los resultados obtenidos mostraron valores elevados tanto en horario diurno como nocturno. Durante la noche se registraron promedios de humedad relativa interior de 82.2 % y exterior de 82.6 %, superando ampliamente los rangos técnicos de confort adoptados por la norma ICONTEC de 40% y 60% para espacios habitacionales. Estas condiciones favorecen la aparición de humedad, deterioro de materiales constructivos, proliferación de moho y posibles afectaciones respiratorias en los habitantes. En la gráfica 5 se puede observar la variación de humedad relativa en las viviendas durante el día.



Gráfica 5. Variación humedad relativa interna y externa durante el día.

Por su parte, en la gráfica 6 se pueden visualizar los datos de estas mismas variaciones durante la noche.



Gráfica 6. Variación humedad relativa interna y externa durante la noche.

4. Conclusiones

Las problemáticas identificadas permiten concluir que el corregimiento de Bocas del Atrato requiere intervenciones orientadas al mejoramiento de la captación, tratamiento y distribución del agua, así como estrategias de educación comunitaria para el manejo sostenible del recurso hídrico y disposición de los residuos sólidos. La turbiedad y el pH representan el mayor problema en la zona limitando el consumo seguro, si bien, algunos parámetros como el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica presentan valores relativamente favorables, también, se identifican niveles de turbiedad superiores a los recomendados y un pH ligeramente ácido o alcalino. Estas condiciones indican que, aunque, el agua podría considerarse de calidad intermedia, no es apta para consumo directo sin la implementación de procesos de tratamiento. En la tabla 3 se puede observar que la turbiedad promedio supera el valor recomendado para consumo humano (2 NTU), la vivienda 28 presenta la turbiedad más alta (10,2 NTU), esto se puede asociar al tipo de almacenamiento principalmente ya que este es descubierto, al aire libre y no cuenta con mantenimiento ni limpieza. Por su parte la vivienda 8 cuenta con la turbiedad más baja (0,64 NTU), en esta vivienda se observaron condiciones de almacenamiento más un poco más apropiadas. En cuanto al pH, en promedio presenta un registro ligeramente ácido (6,42), no obstante, el valor más bajo lo presenta la vivienda 42 con un pH de 4,29 lo que indica que el agua es altamente ácida y no es apta para el consumo humano, mientras las viviendas 6 y 11 cuentan con el valor más alto (7,96), esto implica un agua ligeramente alcalina, apta para el consumo humano. Es importante resaltar que el mecanismo de recolección de agua para consumo humano de estas viviendas es a través de las tejas de los techos.

Por otra parte, se determinó que el manejo inadecuado de residuos sólidos y aguas residuales constituye una de las principales problemáticas del corregimiento, debido a la ausencia de infraestructura sanitaria y al desconocimiento sobre prácticas de aprovechamiento y disposición adecuada de los residuos por parte de los habitantes, no obstante, la comunidad muestra disposición para implementar soluciones sostenibles apoyados por procesos de capacitación y sensibilización.

Adicional a esto, el análisis bioclimático permitió establecer que las viviendas presentan condiciones de elevadas temperaturas asociadas al uso exclusivo de cubiertas de zinc lo que afectan la calidad de vida de sus habitantes. registrándose temperaturas interiores de hasta 36.2 °C durante el día y promedios nocturnos cercanos a 30 °C, valores que afectan significativamente las condiciones de confort y habitabilidad de la comunidad. Así mismo, la humedad relativa registrada durante la noche en la zona interior y exterior de la vivienda alcanzó valores promedio de 82.2% y 82.6% respectivamente, igualmente, en horario diurno las humedades exteriores e interiores fueron de 70.3% y 72.1 %, respectivamente. Valores que superan los rangos recomendados para espacios habitacionales según criterios técnicos adoptados por ICONTEC y referencias internacionales de confort térmico. Estas condiciones de humedad sumadas a la ausencia de estrategias de acondicionamiento térmico, pueden favorecer la propagación de hongos, el deterioro de materiales constructivos y posibles afectaciones respiratorias en la población.

Para terminar, los resultados de esta investigación permiten tener un panorama más amplio de las diversas problemáticas que aquejan el corregimiento lo que hace posible plantear propuestas sostenibles que impliquen mejoras en infraestructura hidráulica y sanitaria, educación ambiental comunitaria y alternativas constructivas adaptadas a las condiciones económicas, climáticas y sociales del corregimiento.

Referencias

1. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, & Ministerio de la Protección Social. (2007). Resolución 2115 de 2007: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Diario Oficial No. 46.679.Author, F., Author, S.: Title of a proceedings paper. In: Editor, F., Editor, S. (eds.) CONFERENCE 2016, LNCS, vol. 9999, pp. 1–13. Springer, Heidelberg (2016).

2. Corporación Autónoma Regional del Tolima. (s.f.). Calidad de aguas. Corporación Autónoma Regional del Tolima. https://cortolima.gov.co/images/POMCA/POMCA_rio_lagunilla/FASE2/SUBSISTEMA_FISICOBIOTICO/1.7_CALIDAD_DE_AGUAS.pdf
3. Lenntech. (s.f.). Zinc (Zn): propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente. Lenntech. https://www.lenntech.es/periodica/elementos/zn.htm
4. SciELO. (s.f.). Artículo publicado en Saúde em Debate. SciELO Brasil. https://www.scielo.br/j/sdeb/a/JGC6pfgpTGHxGV3fJ4nBKvf/?lang=es
5. Universidad de Antioquia. (s.f.). Documento consultado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Antioquia. Sistema de Bibliotecas, Universidad de Antioquia. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/d5938ba9-fdbb-45a9-bd8e-78dfca3bd017/content
6. Erik Johan López Ríos, & Danilo Arango Montoya. (2025). Sistemas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias en viviendas rurales: Caso de estudio Bocas del Atrato (Turbo-Antioquia) [PDF]. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.
7. Alejandra Gutiérrez Castaño, & Maykol Stiven Tamayo Rueda. (2025). Gestión integral de residuos sólidos en proyectos de viviendas rurales en Bocas del Atrato (Turbo-Antioquia) [PDF]. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.
8. Claudia Marcela Salazar Villegas, & Daniel Esteban Úsuga David. (2025). Análisis de alternativas de materiales sostenibles para elementos constructivos no estructurales, con el fin de mejorar las condiciones habitacionales en la comunidad de Bocas de Atrato (Turbo-Antioquia) [PDF]. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.
9. Johan Exnider Londoño Vásquez, & Juan Diego Higinio Saldarriaga. (2025). Mejoramiento de viviendas rurales con materiales sostenibles, para una vida más digna en la zona rural del municipio de Turbo en el corregimiento de Bocas del Atrato [PDF]. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.
10. García, M., & Soto, W. (2022, June 18). Retrato de la cuenca media-alta del Río Atrato, una aproximación desde la historia ambiental.
11. https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/nova/article/view/6915/6096, 11–13.
12. Ortega Ospina, R. A., & Amariles Rodríguez, M. C. (2023). "Sistemas socio-ecológicos como factor estructurante de la Gobernanza Territorial Ambiental comunitaria: caso del corregimiento de Bocas del Atrato, Distrito de Turbo". Trabajo de grado, Universidad de Antioquia.
13. Alexander Taborda Marín, Carolina Maldonado Lizarazo, Jaime Palacio Baena, & Jairo Guillermo Vásquez Arango. (2008). Participación comunitaria en el Golfo de Urabá: El caso del corregimiento Bocas del Atrato y la vereda El Roto, municipio de Turbo, Antioquia.
14. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (s.f.). ICONTEC Internacional. https://www.icontec.org

Sistema de Alerta Temprana Hidrometeorológica y protocolo de actuación ante inundaciones para la Sede Medellín del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

Duber Rojas Posada, Luis Miguel Callejas Rave, Catalina Hincapie Gallego y Elizabeth Cristina Martínez Zapata y Juan Felipe Flórez Montoya

Facultad de Ingeniería, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia

Resumen. Este artículo presenta la integración técnica y operativa de un Sistema de Alerta Temprana Hidrometeorológica (SATH) y un protocolo de actuación ante fenómenos de inundación para la Sede Medellín del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. La propuesta parte de un diagnóstico de puntos críticos de drenaje pluvial, recorridos técnicos, revisión documental, consulta de datos históricos de precipitación y análisis de las condiciones de exposición institucional frente a inundaciones pluviales, fluviales y avenidas torrenciales. Como resultado, se consolidan dos prototipos de monitoreo basados en un pluviómetro inalámbrico, un sensor de nivel, una puerta de enlace Wi-Fi y escalas limnimétricas de apoyo, articulados con información externa del SIATA. Además, se estructura un protocolo por niveles operativos de normalidad, alerta amarilla, alerta naranja, alerta roja y recuperación, con actores, responsabilidades, mecanismos de comunicación, rutas de evacuación y acciones de seguimiento. La implementación piloto permite fortalecer la toma de decisiones preventivas, mejorar la trazabilidad del riesgo hidrometeorológico y aportar a la continuidad académica y administrativa de la institución.

Palabras clave: sistema de alerta temprana; inundación; riesgo hidrometeorológico; SIATA; pluviómetro; sensor de nivel; protocolo de emergencia; Politécnico Colombiano JIC.

1. Introducción

Los eventos de precipitación intensa en entornos urbanos pueden superar la capacidad de drenaje, incrementar la escorrentía superficial y generar afectaciones en la movilidad, la infraestructura y la seguridad de las personas. En la Sede Medellín del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, ubicada en la Comuna 14 - El Poblado, la interacción entre lluvias, pendientes del entorno, impermeabilización del suelo y cercanía a cuerpos de agua configura un escenario relevante de riesgo por inundación.

El proyecto abordado en este documento se orienta a suministrar dos prototipos como Sistema de Alerta Temprana Hidrometeorológica para la sede, con el fin de monitorear y anticipar eventos climáticos adversos. Esta finalidad se complementa con el diseño de un protocolo de respuesta que articula los sistemas internos de monitoreo, la información oficial del SIATA y los actores institucionales responsables de la gestión de emergencias.

La contribución principal consiste en convertir los hallazgos técnicos del diagnóstico y la operación piloto de los equipos en una estructura de actuación institucional: monitoreo, verificación, activación de alertas, comunicación, evacuación, seguimiento y recuperación.

2. Contexto institucional y descripción del riesgo

El Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, sede Medellín, se localiza en un entorno urbano expuesto a amenazas de origen hidrometeorológico. Su cercanía al río Aburrá-Medellín y a las quebradas La Presidenta y La Poblada, sumada a la respuesta rápida de estas microcuencas durante lluvias intensas, justifica la necesidad de monitoreo continuo y de procedimientos claros de actuación.

El diagnóstico técnico identificó zonas susceptibles a encharcamientos en corredores peatonales, sumideros críticos, puntos cercanos a edificaciones administrativas y áreas sensibles como la subestación eléctrica y los archivos institucionales. En estos puntos, la acumulación de agua puede generar pérdida de información, afectación de equipos, riesgo eléctrico y accidentes por caída o tropiezo.

La inspección en campo evidenció condiciones que aumentan la vulnerabilidad: algunos sumideros y alcantarillas no cuentan con capacidad suficiente para evacuar agua lluvia en eventos fuertes; existen zanjas sin salida adecuada; y en algunos sectores varias zanjas descargan hacia una misma alcantarilla, produciendo sobrecarga del sistema de drenaje.

Tabla 1. Amenazas prioritarias identificadas en la sede Medellín.

Amenaza prioritaria	Descripción y afectaciones
Inundación o encharcamiento súbito	Acumulación de agua en sumideros, pasillos y zonas bajas durante lluvias intensas. Puede restringir la movilidad, ocasionar caídas y exigir suspensión parcial de actividades.
Obstrucción de drenajes	Colmatación de rejillas, sumideros y cajas por sedimentos, hojas, lodo y residuos. Reduce la capacidad de evacuación y aumenta el tiempo de anegamiento.
Accidente por rejillas y presencia de agua	Tránsito inseguro por superficies mojadas, aberturas u obstáculos. Puede generar lesiones a estudiantes, funcionarios, contratistas o visitantes.
Daño de equipos y riesgo eléctrico	Ingreso de agua o humedad en gabinetes, cableado, subestación eléctrica y archivos. Puede interrumpir servicios, dañar bienes y generar pérdida documental.

3. Objetivo y alcance de la propuesta

El objetivo general del proyecto es suministrar dos prototipos como sistema de alerta temprana hidrometeorológica para la Sede Medellín del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, con el propósito de monitorear y anticipar eventos climáticos adversos, facilitar decisiones preventivas, reducir riesgos, proteger la vida humana y salvaguardar bienes materiales.

Desde el componente operativo, el protocolo busca fortalecer la capacidad de respuesta institucional ante inundaciones de origen pluvial, fluvial o por avenidas torrenciales, aplicando a estudiantes, docentes, personal administrativo, contratistas y visitantes que se encuentren dentro de la sede. El alcance incluye las fases de monitoreo, verificación, activación de alertas, respuesta, seguimiento y recuperación.

Tabla 2. Cumplimiento de objetivos específicos reportado en el avance técnico.

Objetivo y avance	Interpretación
Diagnosticar los riesgos hidrometeorológicos del PCJIC. Avance: 100 %.	Se consolidó el diagnóstico de puntos críticos, drenajes, exposición, matriz preliminar de vulnerabilidad y amenazas prioritarias.
Suministrar un sistema de alerta temprana con comunicación multicanal. Avance: 50 %.	Los prototipos se encuentran instalados y en validación; falta cerrar integración multicanal, umbrales y pruebas de notificación masiva.
Implementar sesiones de formación para brigada y comité de emergencias. Avance: 25 %.	Se ejecutó una socialización inicial; quedan pendientes talleres adicionales y consolidación de asistencia para cumplir la meta de participación.

4. Metodología

La metodología combinó un enfoque observacional-aplicado con técnicas cuantitativas y cualitativas. El componente cuantitativo se enfocó en la medición y calibración de variables hidrometeorológicas mediante sensores, mientras que el componente cualitativo permitió identificar percepciones, prácticas institucionales y rutas de comunicación frente al riesgo.

La primera fase correspondió al diagnóstico situacional: recopilación documental sobre antecedentes de inundación, recorridos desde el bloque P-40 hasta la entrada principal del metro, georreferenciación de sumideros, alcantarillas y rejillas, observación directa de zonas afectadas y registro fotográfico. También se revisaron datos históricos de precipitación 2016-2025 provenientes de fuentes oficiales como SIATA e IDEAM.

La segunda fase consistió en el desarrollo tecnológico y las pruebas iniciales: selección de componentes, instalación del pluviómetro y sensor de nivel, configuración de la puerta de enlace, calibración del pluviómetro y ensayos del sensor de nivel mediante diferentes alturas de agua. Esta fase permitió ajustar parámetros, conexiones y estabilidad de transmisión.

La tercera fase contempló la implementación piloto en campo, con instalación física de los equipos en un punto crítico, conexión a la plataforma de visualización y monitoreo frente a lluvias reales. Finalmente, la cuarta fase se orienta a la evaluación del sistema, el análisis de datos, la comparación con observaciones en campo y la formación de los grupos de interés.

5. Sistema de monitoreo hidrometeorológico

El sistema propuesto integra equipos internos instalados en la sede y fuentes externas de monitoreo. Esta integración permite pasar de la observación de condiciones ambientales a una toma de decisiones operativa, articulando datos locales de precipitación y nivel de agua con señales regionales del SIATA.

Los sistemas internos permiten obtener información localizada sobre el campus. El medidor de distancia láser LDS01 registra cambios en el nivel o profundidad del agua; el pluviómetro inalámbrico WH40H mide precipitación y envía datos de manera periódica; la puerta de enlace GW1200 centraliza la recepción y transmisión; y las escalas limnimétricas apoyan la lectura visual durante eventos de inundación.

Tabla 3. Componentes internos y externos del sistema de monitoreo.

Componente	Función dentro del monitoreo y el protocolo
Sensor de nivel LDS01 / LDS CH1	Mide nivel o profundidad de agua en milímetros en el sumidero piloto del bloque P58. Confirma aumentos de nivel, valida condiciones de riesgo y apoya la activación de alerta roja cuando el evento afecta el campus.
Pluviómetro inalámbrico WH40H	Mide precipitación en mm o mm/h en el bloque P58. Permite registrar intensidad y acumulados de lluvia, alimentar umbrales operativos y documentar eventos.
Puerta de enlace GW1200	Concentra la recepción y visualización de datos de sensores en el bloque P58 / brigada de emergencia. Facilita la consulta de información en aplicación o nube de monitoreo.
Escalas limnimétricas	Funcionan como referencia visual del nivel de agua en 16 puntos críticos: pasillos, subestación, archivos y zonas susceptibles. Apoyan la evaluación en sitio y la recuperación.
SIATA	Aporta radar de precipitación, sensores de nivel y pronóstico regional del Valle de Aburrá. Permite anticipar lluvias y crecientes, interpretar colores de riesgo y activar monitoreo preventivo.

Calibración reportada. El avance técnico registra para el sensor de nivel una compensación de 0 mm, altura total de 2457 mm, control de calentamiento 305 y factor de filtro 3. Para el pluviómetro se reportó una calibración actualizada con lluvia semanal de 78,4 mm, lluvia mensual de 126,5 mm, lluvia anual de 1600 mm, ganancia de lluvia de 1,05, reinicio diario a las 0:00, reinicio semanal el lunes y temporada de lluvias en abril. Estos ajustes son base para la validación piloto y deberán revisarse con series de datos más amplias.

6. Protocolo de actuación por niveles de alerta

El protocolo organiza la respuesta institucional en niveles operativos progresivos. La activación de cada nivel se define a partir de la información integrada del SIATA, los equipos internos y la verificación en campo realizada por brigada, SST, servicios generales y el Comité Operativo de Emergencias (COE).

La lógica de actuación prioriza la seguridad de la comunidad universitaria, la continuidad académica y administrativa, la protección de infraestructura crítica y la comunicación oportuna. Desde la alerta amarilla se recomienda considerar evacuación preventiva de personas vulnerables, personas con discapacidad, grupos priorizados y personal externo, cuando las condiciones lo ameriten.

Tabla 4. Niveles operativos del protocolo de inundación.

Nivel operativo	Criterios, acciones y responsables
Nivel 0 - Normalidad	Criterios: ausencia de lluvias o lluvias leves, niveles normales y sin alertas SIATA. Acciones: monitoreo preventivo, bitácoras, inspección básica de drenajes y reportes. Responsables: brigada de turno, coordinador de brigada, COE y comunicaciones.
Nivel 1 - Alerta amarilla	Criterios: lluvias moderadas o altas aguas arriba y aumento de niveles de precaución. Acciones: activación de brigada, notificación a COE y SST, intensificación de monitoreo, revisión de drenajes y preparación de recursos. Responsables: coordinador de brigada, brigada, COE, SST y servicios generales.
Nivel 2 - Alerta naranja	Criterios: lluvia en la sede e incremento a condición de inundación menor en sensores aguas arriba o cercanos. Acciones: restricción preventiva de zonas vulnerables, preparación y evacuación preventiva, activación de servicios generales y comunicación a la comunidad. Responsables: COE, brigada, coordinadores de evacuación, vigilancia y servicios generales.
Nivel 3 - Alerta roja	Criterios: activación crítica de equipos internos, desbordamiento, acumulación de agua, riesgo confirmado o alertas críticas SIATA. Acciones: suspensión de actividades, evacuación inmediata, atención de áreas críticas, coordinación con externos y continuidad institucional. Responsables: COE, brigada, SST, servicios generales, vigilancia y entidades externas.
Nivel 4 - Recuperación	Criterios: nivel de riesgo controlado y condiciones seguras. Acciones: evaluación de daños, limpieza, restablecimiento, activación de pólizas si aplica, informe del evento y lecciones aprendidas. Responsables: coordinación de bienes y servicios, COE, SST y áreas responsables.

7. Comunicación, evacuación y responsabilidades

El flujo de comunicación del protocolo combina canales internos y externos. Internamente se emplean correo institucional, grupos de mensajería instantánea, llamadas telefónicas, comunicación directa entre brigada, SST y COE, y sistemas internos de aviso cuando estén disponibles. Externamente se consideran la línea 123, Bomberos Medellín, DAGRD, Cruz Roja, EPM, Área Metropolitana y plataformas oficiales como SIATA.

El Comité Operativo de Emergencias evalúa la información de monitoreo, declara niveles de alerta, define medidas como evacuación o suspensión de actividades y coordina la comunicación institucional. La brigada de emergencias realiza monitoreo diario, verificación en campo, evacuación y control de áreas. Servicios generales interviene rejillas, sumideros, cajas y acumulaciones de agua. SST consolida y analiza información, acompaña inspecciones seguras, asesora decisiones y coordina capacitación.

La evacuación se articula con el Plan de Emergencias y Contingencias institucional. En eventos de inundación, la orientación se dirige hacia zonas seguras y elevadas de la sede Poblado, como los bloques P-40, P-42 y la cancha de fútbol, con salidas hacia las porterías Vegas y parqueadero de motos cuando las condiciones sean seguras. La evacuación vehicular se limita a escenarios en los que no existan alternativas peatonales seguras y bajo coordinación del COE.

8. Resultados y avances de implementación

El avance técnico reporta un cumplimiento general del 58 %. La fase de diagnóstico alcanzó el 100 %, al consolidar puntos críticos, matriz preliminar de vulnerabilidad, levantamientos de red hidráulica, revisión de planos y análisis de datos históricos de lluvia. El suministro del sistema de alerta temprana registra un avance del 50 %, dado que los equipos están instalados y operativos, pero aún se requiere consolidar integración multicanal, umbrales y pruebas de notificación. Las capacitaciones presentan un avance del 25 %, con una sesión inicial y actividades pendientes para cumplir la meta de participación.

Los recorridos y registros de campo confirmaron la recurrencia de encharcamientos, acumulación de residuos en sumideros y puntos de alta sensibilidad institucional. La subestación eléctrica y las áreas de archivo se priorizaron como lugares de especial atención por su impacto potencial sobre la continuidad de servicios, la seguridad operativa y la conservación de información institucional.

En términos tecnológicos, el sensor de nivel y el pluviómetro se encuentran instalados y transmitiendo datos hacia la puerta de enlace y la plataforma de visualización. Las pruebas muestran coherencia entre las mediciones y las condiciones observadas, aunque se identificaron variaciones en la intensidad de señal del sensor asociadas a turbidez, residuos superficiales y alineación del dispositivo. Estas variaciones no constituyen fallas críticas, pero sí orientan ajustes de filtrado, mantenimiento y procesamiento de datos.

Como productos intermedios se consolidaron un mapa preliminar de puntos críticos, una matriz de riesgos hidrometeorológicos, una base de datos inicial con mediciones de lluvia y nivel, el modelo conceptual del SATH y la estructura del protocolo institucional de alerta temprana pluvial.

9. Discusión

La implementación de prototipos de monitoreo dentro del campus aporta una ventaja frente a enfoques exclusivamente documentales: permite contrastar el comportamiento real de la lluvia y la acumulación de agua con las condiciones observadas en campo. Esta trazabilidad es clave para establecer umbrales de alerta más precisos, siempre que se consolide una serie de datos suficientemente amplia que incluya eventos de lluvia intensa.

La articulación entre SIATA y los sensores internos mejora la capacidad de anticipación. Las estaciones aguas arriba de la quebrada La Presidenta permiten identificar incrementos de nivel antes de que el evento impacte la sede, mientras que los datos locales del pluviómetro, sensor de nivel y limnímetros facilitan la verificación del impacto dentro del campus.

No obstante, el sistema requiere mantenimiento preventivo de drenajes, actualización periódica de responsables, simulacros, validación de rutas de evacuación y formalización de canales de comunicación. La sostenibilidad

del protocolo no depende únicamente de la tecnología, sino de la apropiación por parte de la brigada, SST, COE, servicios generales y comunidad universitaria.

10. Conclusiones

El diagnóstico evidencia deficiencias en el drenaje pluvial del campus y confirma la necesidad de monitoreo hidrometeorológico continuo en puntos críticos.

La subestación eléctrica y las áreas de archivo representan sectores sensibles por el impacto que tendría una inundación sobre la continuidad operativa, la seguridad y la conservación documental.

La instalación del pluviómetro, el sensor de nivel, la puerta de enlace y las escalas limnimétricas permite avanzar de un diagnóstico de riesgo hacia una gestión basada en datos.

El protocolo por niveles de alerta ofrece una ruta operativa clara para normalidad, prevención, preparación, respuesta y recuperación, integrando SIATA, sensores internos, verificación en campo y toma de decisiones del COE.

La fase siguiente debe priorizar la validación de umbrales, la comunicación multicanal, los simulacros, la capacitación de brigada y comunidad, y el mantenimiento preventivo de sumideros y equipos.

Agradecimientos

Los autores agradecen el acompañamiento del asesor Juan Felipe Flórez Montoya, así como el apoyo de la brigada de emergencias, el Comité Operativo de Emergencias, Seguridad y Salud en el Trabajo y las áreas institucionales que aportaron información para el diagnóstico, la validación técnica y la estructuración del protocolo.

Referencias

1. Rojas Posada, D., Callejas Rave, L. M., Hincapie Gallego, C. y Martínez Zapata, E. C.: Informe técnico de seguimiento y/o final: elaboración de dos prototipos para un Sistema de Alerta Temprana Hidrometeorológica en la Sede Medellín del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín (2026).
2. Martínez Zapata, E. C.: Protocolo de Actuación ante Fenómenos de Inundación. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín (2026).
3. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres: Terminología sobre gestión del riesgo de desastres y fenómenos amenazantes. UNGRD, Bogotá (2017).
4. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres: Estrategia Nacional para la Respuesta a Emergencias. UNGRD, Bogotá (2024).
5. Alcaldía de Medellín: Plan de Desarrollo Local, Comuna 14 El Poblado. Medellín (2015).
6. Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá: Monitoreo hidrometeorológico: sensor de nivel y radar meteorológico. SIATA, Medellín.
7. Ecowitt: Laser Distance Meter for Water Level / Snow Depth Measurement: User Manual. Ecowitt.
8. Ecowitt: Wireless Self-emptying Rain Gauge Sensor with Bird Spike: User Manual. Ecowitt.
9. Ecowitt: Wi-Fi Weather Station Gateway with Built-in Temperature, Humidity and Barometric Sensor: Manual. Ecowitt.
10. Ministerio de Educación Nacional: Lineamientos de gestión del riesgo escolar en Colombia. Bogotá (2017).

Caracterización física de residuos sólidos Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid sede central Medellín -2025

Dora Luz Yepes Palacio[1] and Miriam Gómez Marin[2]

[1,2]Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid Medellín, Colombia

dlyepes@elpoli.edu.co, mgomez@elpoli.edu.co

Abstract: El manejo deficiente de los residuos plásticos es un problema global, gran parte no se recicla, generando impactos persistentes en la biodiversidad y la salud, lo que evidencia la ineficiencia del modelo lineal de producción y consumo (Naciones Unidas, 2025; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2022). En Colombia, los residuos plásticos son una prioridad ambiental por su impacto y el aumento de la contaminación asociada a los de un solo uso (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). A nivel institucional, el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid presenta deficiencias en la gestión de residuos; la evaluación de 2016 evidenció baja cultura de separación en la fuente y limitada minimización, afectando condiciones sanitarias y la eficiencia del sistema.
La economía circular se consolida como un enfoque clave para cerrar ciclos y reducir la contaminación por plásticos (PNUMA, 2022). El proyecto "Estrategia de economía circular para plásticos en el campus Medellín", desarrollado por el Grupo GHYGAM, actualizó la información sobre generación y caracterización de residuos como base para su reducción y valorización. El estudio, realizado según las directrices del Área Metropolitana del Valle de Aburrá con un periodo mínimo de siete días, evidenció una generación de 2,69 toneladas/semanales en la sede Medellín. Predominan los residuos con potencial de aprovechamiento: reciclables (47,35%), incluidos plásticos (20,10%), y orgánicos (35,35%). En menor proporción los ordinarios (16,29%) y fracciones mínimas de residuos especiales. Además, se identificaron y cuantificaron los tipos de plásticos generados como base para decisiones en economía circular.

Keywords: Residuos sólidos, residuos plásticos, caracterización de residuos

1. Introducción

La creciente generación de residuos plásticos constituye uno de los principales desafíos ambientales actuales debido a su persistencia en los ecosistemas y sus efectos sobre la salud humana y la biodiversidad [1]. En este contexto, la transición hacia modelos de economía circular se ha consolidado como una estrategia clave para reducir la contaminación, promover el aprovechamiento de materiales y disminuir la disposición final de residuos [2]. En Colombia, la gestión de plásticos de un solo uso se reconoce como una prioridad ambiental por su creciente impacto y baja tasa de reciclaje [3].

Las instituciones de educación superior representan escenarios estratégicos para la implementación de estrategias de sostenibilidad, al integrar procesos de investigación, formación y gestión ambiental. En el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid (PCJIC), evaluaciones previas evidenciaron debilidades en la cultura de separación en la fuente y en la minimización de residuos, lo que resalta la necesidad de actualizar la información base para orientar la toma de decisiones.

En respuesta a esta problemática, se realizó la caracterización física y aforo de residuos sólidos del campus Medellín durante siete días consecutivos, del 21 al 28 de noviembre de 2025, siguiendo la metodología del Área Metropolitana del Valle de Aburrá [4]. Los resultados evidenciaron una generación aproximada de 2,69 toneladas/semana, con predominio de residuos con potencial de aprovechamiento, especialmente reciclables (47,35%) y orgánicos (35,35%). Dentro de los reciclables, el plástico representa el material predominante,

destacándose el PET, el poliestireno de vasos desechables y las bolsas plásticas, lo que confirma la relevancia de implementar estrategias de economía circular en el campus.

2. Aspectos metodológicos

El proceso de caracterización de residuos sólidos generados en la institución se desarrolló durante 7 días consecutivos a la semana del 20 al 27 de noviembre de 2025. Se implementaron los lineamientos de la Guía para el Manejo Integral de residuos sólidos del sector Educativo expedida por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA, 2008). El procedimiento general desarrollado se describe a continuación:

- Capacitaciones dirigidas al personal de aseo de la institución. El propósito fue brindar los conocimientos necesarios para apoyar el proceso de caracterización de residuos.

- Clasificación por sitios de generación, rotulado y marcado de muestras: Los residuos se clasificaron por sitio de generación en: Cafeterías y espacios generales (aulas, oficinas, papelerías espacios abiertos, baños y demás). La rotulación y marcado de bolsas se efectuó a los residuos generados en cafeterías y restaurantes. A cada restaurante se le suministraron, durante una semana, bolsas plásticas de alta resistencia diferenciadas por color: azul para residuos ordinarios, beige para residuos orgánicos y blanco para materiales reciclables. Cada bolsa fue rotulada con el nombre de la cafetería y la fecha de entrega. Adicionalmente, se socializó con los responsables el objetivo de la estrategia y su importancia en términos de sostenibilidad ambiental.

- Caracterización física y aforo: Una vez recolectados los residuos en cada cafetería se realizó la jornada de caracterización en el cuarto central de almacenamiento de residuos de la institución, con el apoyo de estudiantes, integrantes del semillero de investigación en Gestión Ambiental urbana GAU y el personal de aseo. La caracterización se realizó al 10% de los residuos generados y el aforo (pesaje y determinación del volumen) de los residuos se realizó a la totalidad de los residuos. El proceso consistió en la separación detallada y pesaje de los residuos, clasificando cada material (Ordinarios, reciclables, orgánicos y otros) en subcategorías como cartón, vidrio, papel y diferentes tipos de plástico, etc.

- Al Aforo consistente en la medición del volumen y cantidades en masa, se realizó al 100% de los residuos generados durante la misma semana de la carcterizacion. Un segundo aforo fue realizado entre el 22 y 27 de marzo de 2026.,

- Finalmente, toda la información obtenida fue registrada en los formatos de caracterización y aforo establecidos, lo que permitió consolidar datos relevantes sobre la composición y cantidad de residuos generados dentro del campus.

3. Resultados

3.1. Aforo de residuos sólidos PCJIC

De acuerdo con el segundo aforo realizado entre el 22 y 27 de marzo de 2026, la sede Medellín del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid produce un estimado de 2838.21 kg/sem de residuos sólidos, lo que equivale 2.84 toneladas. Los residuos orgánicos generados por acumulación de follaje y residuos vegetales como hojarascas resultantes de actividades de jardinería y podas representan un total de 668.75 kg/sem.

En comparación con los residuos sólidos medidos en el aforo de noviembre de 2025 con un estimado de 2687.17 kg/sem, se muestra un aumento del 5.62% teniendo presente las mismas condiciones de la medición, es decir, sin tener presente los residuos orgánicos resultante del follaje y residuos vegetales. En la tabla 1 se relaciona el volumen y cantidad de residuos generados en la sede Poblado del PCJIC.

Tabla 1. Residuos generados la sede central Medellín del PCJIC.

Aforo Residuos Sólidos 2025 PCJIC			
Áreas	**Volumen (m^3/sem)**	**Masa (kg/sem)**	**Masa (t/sem)**
Generales	30.88	2162.90	2.1629
Cafeterías	5.86	522.28	0.52228
Residuos peligrosos	N/A	1.99	0.00199
Total	**36.74**	**2687.17**	**2.69**

De acuerdo con el aforo y caracterización física de los residuos sólidos realizado en noviembre de 2025, la sede Medellín del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid produce un estimado de 2687.17 kg/sem (kilogramo/semana) de residuos sólidos, lo que equivale 2.69 toneladas; sin incluir con los residuos orgánicos generados por acumulación de hojarasca, actividades de jardinería y poda de material vegetal.

Con relación a las fuentes de generación, se evidenció que las catorce (14) cafeterías dentro de la sede generan aproximadamente 522.28 kg/sem, lo que comprende un 19.44% de los residuos sólidos en la semana de medición. De otro lado, se define una representación mínima con 1.99 kg/sem de residuos peligrosos (RESPEL). Los residuos generados por el centro médico no fueron incluidos.

Frente al volumen de los residuos generados, la generación estimada fue de 30.88 m^3/sem en áreas generales (todas las áreas diferentes a las cafeterías) y 5.86 m^3/sem para las cafeterías dando como resultado 36.74 m^3/sem. Ver Tabla 1.

3.2. Generación de residuos sólidos según su tipología

Distribución porcentual por grupos de residuos

En la figura 1 se relaciona la distribución porcentual por grupos de residuos: reciclaje, ordinarios, especiales, orgánicos, RESPEL y no clasificables mezclados.

La composición de residuos generados que se puede ver en la Figura 1 permite identificar las los tipos de residuos y establecer oportunidades de aprovechamiento y gestión adecuada dentro de la institución.

En este sentido, teniendo presente los 2687.17 kg/sem de residuos sólidos medidos en la sede Medellín, los residuos orgánicos presentan la mayor cantidad con un 35,35%, seguido por la categoría de reciclables con un 47,35%, donde los residuos reciclables solo plásticos representan el 20,10% del total de residuos. Por último, en menor proporción se encuentran los residuos ordinarios (16,29%), mientras que los residuos no clasificables (aquellos que no pueden separarse para el ejercicio y representan una mezcla de varias tipologías), RESPEL y especiales registran porcentajes mínimos con 0.59%, 0.41% y 0.01% respectivamente. Lo anterior evidencia que la mayor generación de residuos corresponde a materiales con potencial de aprovechamiento.

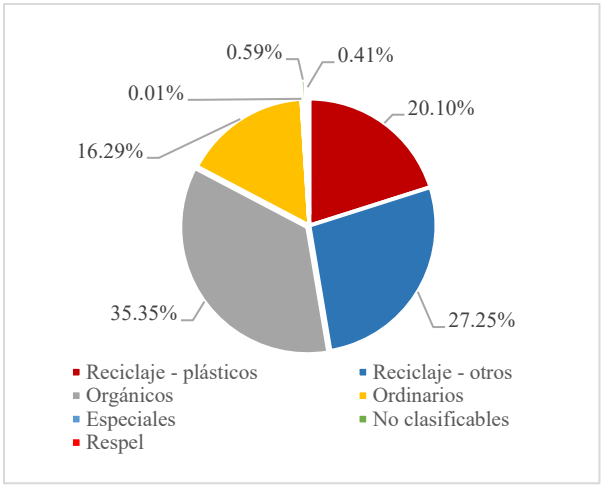


Fig. 1. Distribución porcentual por grupos de residuos PCJIC-Medellín-2025.

En la Figura 2 se presenta la distribución porcentual de los grupos de residuos reciclables, evidenciando un alto potencial de aprovechamiento de los residuos plásticos, seguido del cartón y el papel.

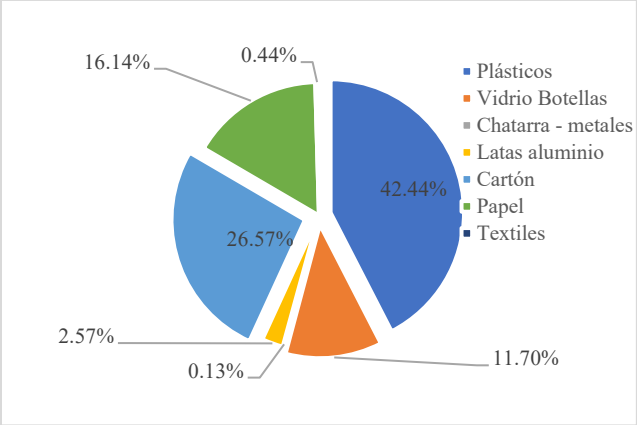


Fig 2. Distribución porcentual por grupos de residuos reciclables.

La composición de los residuos reciclables, evidencia que el plástico constituye la mayor representación con un 42,44%, seguido por el cartón en un 26,57%, el papel en un 16,14% y el vidrio 11,70%. En menor proporción se encuentran las latas de aluminio con un 2,57%, mientras que los residuos textiles y la chatarra presentan participaciones mínimas correspondientes al 0,44% y 0,13%, respectivamente. Estos resultados reflejan un alto potencial de recuperación de materiales reciclables, especialmente de plásticos, cartón y papel; fortaleciendo las oportunidades para la implementación de estrategias de aprovechamiento y economía circular. Ver figura 2.

Con relación a la caracterización de los residuos plásticos, que se evidencian en la figura 3, se identifica que el material predominante corresponde al tereftalato de polietileno (PETE) asociado principalmente a envases de bebidas, con una participación del 44,03%. Este resultado evidencia un alto potencial de aprovechamiento y reciclaje de este material, debido a su amplia valorización en el mercado y a la existencia de cadenas de recuperación consolidadas, lo que favorece la implementación de estrategias de economía circular y la reducción de residuos enviados a disposición final

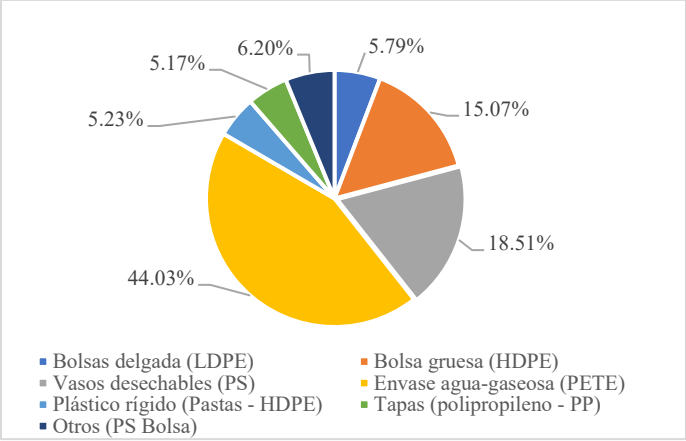


Fig 3. Distribución porcentual de residuos plásticos PCJIC-Medellín.

Le siguen en orden descendente, los vasos desechables tomando su composición principalmente como Poliestireno (PS) con un 18,51% y las bolsas gruesas con un 15,07%. Los demás materiales plásticos registran participaciones menores, cercanas entre el 5% y 6%, lo que evidencia que la mayor generación se concentra en envases y productos plásticos de un solo uso. Estos resultados permiten identificar oportunidades de intervención orientadas a la reducción en la fuente, sustitución de materiales y fortalecimiento de estrategias de reciclaje y aprovechamiento.

De otro lado, el conocimiento sobre la composición de los residuos orgánicos generados, es importante para analizar alternativas de valorización conducentes a su minimización. Ver Fig 4.

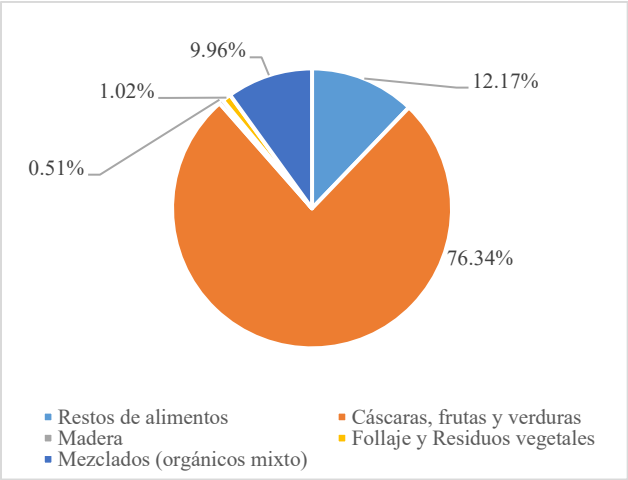


Fig 4. Distribución porcentual de residuos orgánicos PCJIC-Medellín.

La mayor proporción de residuos orgánicos corresponde a cáscaras, frutas y verduras con un 76,34%, seguida por restos de alimentos en el 12,17% y residuos ordinarios mezclados representado por el 9,96%. En contraste, materiales como la madera y; follaje, residuos vegetales resultantes actividades de jardinería presentan una participación mínima dentro del total de residuos orgánicos generados con un 0.51% y 1.02% de forma respectiva.

Finalmente, los resultados de la caracterización muestran que la mayor parte de los residuos peligrosos (1.99%) corresponde a residuos electrónicos (47,74%) y envases de disolventes (35,18%), que concentran la participación principal. En cambio, residuos como pilas, betún y productos químicos tienen una presencia mucho menor, con porcentajes individuales inferiores al 6%.

4. Conclusión

La caracterización detallada de residuos en la sede central del PCJI permitió identificar la composición y proporción de los residuos generados en la institución, evidenciando una alta presencia de materiales potencialmente aprovechables, especialmente plásticos, papel y cartón. Estos resultados constituyen una base técnica fundamental para fortalecer la gestión integral de residuos sólidos, orientar estrategias de separación en la fuente, promover acciones de educación ambiental y fomentar iniciativas de economía circular que contribuyan a reducir la cantidad de residuos enviados a disposición final y mejorar el desempeño ambiental institucional.

Referencias

1. Naciones Unidas: *Sustainable Development Goals Report 2025.* United Nations, New York (2025).
2. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA): *Informe Anual 2022 del PNUMA.* Nairobi (2022).
3. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: *Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de un Solo Uso.* Bogotá, Colombia (2021).
4. Área Metropolitana del Valle de Aburrá: *Manual para la Caracterización de Residuos Sólidos Municipales.* Medellín, Colombia (2016).

PONENCIAS DE DOCTORADO (COLOQUIO)

Determinantes de la Innovación Sostenible y Desarrollo de una Metodología para su Medición en el Contexto Empresarial Colombiano

Enrique Villa Pérez [1] y Rodrigo Andrés Gómez Montoya [1]

[1] Grupo de Investigación en Ingeniería Sostenible (GIS), Politécnico Jaime Isaza Cadavid

enrique_villa106251@elpoli.edu.co

Abstract. La innovación sostenible constituye un elemento decisivo para la competitividad empresarial dentro de economías emergentes. Las mediciones integrales de este fenómeno enfrentan severas limitaciones metodológicas a causa de la fragmentación de los enfoques unidimensionales y la carencia de marcos contextualizados para el entorno productivo colombiano. La presente investigación aborda la brecha existente entre los marcos teóricos globales y su respectiva aplicabilidad local mediante una propuesta metodológica mixta secuencial explicativa. El diseño integra la revisión sistemática de literatura fundamentada bajo el protocolo PRISMA, un proceso analítico jerárquico híbrido para la ponderación de factores y el modelamiento de ecuaciones estructurales. Dicho modelo emplea una estrategia de doble fuente para el cruce de microdatos censales oficiales, vinculando capacidades de innovación con resultados ambientales tangibles para eliminar la varianza del método común. Los hallazgos preliminares evidencian la viabilidad de articular determinantes técnicos, organizacionales y regulatorios en un índice robusto alineado con las metas específicas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Los resultados obtenidos consolidan la arquitectura de una herramienta prescriptiva que facilita la toma de decisiones gerenciales y dinamiza el acceso a mecanismos de financiación verde para la industria nacional.

Keywords: Innovación sostenible, economía verde, ecuaciones estructurales, proceso analítico jerárquico, microdatos censales.

1. Introducción

1.1. Contexto y planteamiento del problema

La reconfiguración de los modelos productivos exige una transición acelerada hacia prácticas corporativas responsables frente a los ecosistemas naturales y las demandas sociales. La innovación sostenible ha evolucionado desde una dimensión puramente técnica orientada a la ecoeficiencia operativa para consolidarse como el mecanismo crucial de mitigación climática y cohesión comunitaria [1]. Para las economías emergentes resulta ineludible adoptar dichos paradigmas sistémicos buscando garantizar la supervivencia financiera de su tejido empresarial. En el contexto de las pequeñas y medianas empresas, esta adaptación requiere articular capacidades internas de desarrollo tecnológico con directrices normativas y dinámicas competitivas propias del entorno empresarial colombiano, lo cual refuerza la necesidad de marcos de evaluación analítica pertinentes [2].

Aproximaciones empíricas recientes muestran la relevancia del sector manufacturero colombiano como espacio estratégico para analizar la competitividad y la innovación en pequeñas y medianas empresas [3]. Dicho volumen organizacional enfrenta barreras institucionales y operativas agudas para asimilar esquemas de producción limpia o modelos de negocio circulares. Los registros censales oficiales indican que apenas una proporción minoritaria del ecosistema corporativo ejecuta acciones innovadoras en sentido amplio [4]. Tal limitación restringe drásticamente la posibilidad de aprovechar incentivos fiscales vigentes y de fortalecer la

inversión ambiental empresarial [5]. De lo expuesto se desprende la urgencia de establecer métricas gerenciales alineadas rigurosamente con las metas específicas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

1.2. Brecha metodológica y fragmentación operativa

Las evaluaciones de desempeño corporativo padecen una desarticulación profunda derivada de la dependencia casi exclusiva de métricas diseñadas para economías industrializadas. La literatura sobre ecoinnovación ha mostrado limitaciones en la medición del fenómeno cuando se privilegian enfoques parciales o dimensiones aisladas, lo que refuerza la necesidad de marcos analíticos más integrales y sensibles al contexto [7]. Los marcos analíticos tradicionales asumen niveles de madurez tecnológica y estructuras de gobernanza que distan de la realidad operativa de las corporaciones latinoamericanas. Por consiguiente, la transferencia directa de tales instrumentos genera un sesgo de subestimación sistemático sobre los esfuerzos genuinos de modernización ecológica liderados por industrias locales. Resulta plausible considerar que la adopción acrítica de estos modelos estandarizados invalida la toma de decisiones estratégicas a nivel gerencial.

El vacío investigativo se agudiza por la dificultad de articular fuentes de información que permitan relacionar capacidades organizacionales con indicadores ambientales observables [8]. Las encuestas nacionales capturan las inversiones en investigación de manera separada de los registros sobre la gestión de residuos o el consumo energético. Los resultados sugieren que dicha división epistemológica impide correlacionar directamente las decisiones directivas con la eficiencia ambiental comprobable de la firma. Superar esta barrera analítica requiere el diseño de herramientas prescriptivas capaces de vincular múltiples fuentes censales bajo un mismo marco de comprobación estadística, toda vez que la integración de bases de datos disjuntas reduce el riesgo de varianza del método común [9].

1.3. Objetivos de la investigación y novedad del estudio actualizado

Bajo esta coyuntura el presente estudio formula una aproximación analítica estructurada mediante un índice multidimensional de innovación sostenible adaptado al sector manufacturero nacional. La novedad teórica de la propuesta radica en la hibridación analítica que integra una revisión sistemática de literatura rigurosa bajo el protocolo de reporte estandarizado contemporáneo [10], un proceso analítico jerárquico para la ponderación matemática de juicios expertos [11] y un modelo de ecuaciones estructurales. La arquitectura empírica del proyecto introduce el cruce de microdatos oficiales para erradicar la varianza de fuente única al separar las métricas de capacidades independientes de las métricas de resultados dependientes. Lo anterior se complementa con la validación empírica mediante diseños de experimentación de parcelas divididas [12], buscando fortalecer el carácter operativo del instrumento y su utilidad evaluativa.

2. Marco Referencial y Estado del Arte

2.1. Visión Basada en los Recursos Naturales y Teoría Institucional

La comprensión integral de la innovación sostenible requiere un andamiaje teórico capaz de articular las dinámicas operativas internas de la firma con las presiones estructurales de su entorno. En este sentido, la visión basada en los recursos naturales propuesta por Hart [13] establece que la ventaja competitiva perdurable se deriva de la capacidad organizacional para gestionar eficientemente su vinculación con los ecosistemas. Este postulado teórico fundamenta la incorporación de determinantes técnicos dentro de los modelos de medición, en la medida en que la ecoinnovación comprende múltiples dimensiones organizacionales y tecnológicas cuya evaluación requiere enfoques analíticos más integrales [14]. Las empresas manufactureras que avanzan hacia innovaciones de menor impacto ambiental pueden fortalecer sus procesos de adaptación competitiva en contextos sectoriales específicos [15].

Por su parte, el comportamiento estratégico empresarial no ocurre en el vacío social o normativo, motivo por el cual la teoría institucional formulada por DiMaggio y Powell [16] resulta indispensable para decodificar los determinantes regulatorios que impulsan la innovación sostenible. Desde esta perspectiva, las organizaciones responden a presiones institucionales del entorno que influyen en sus decisiones de adaptación y modernización ecológica [17]. En el contexto de las economías emergentes, los incentivos fiscales y otros estímulos regulatorios pueden desempeñar un papel relevante en la orientación del tejido industrial hacia prácticas productivas más limpias [18]. La convergencia entre capacidades organizacionales internas y exigencias del entorno regulatorio ayuda a explicar la adaptación estratégica de las empresas frente a los desafíos de sostenibilidad [19].

2.2. Paradigma pragmático mixto en la medición de la sostenibilidad

La evaluación rigurosa del desempeño corporativo sostenible enfrenta el desafío metodológico de cuantificar un fenómeno inherentemente complejo y multidimensional. Para superar las limitaciones de los enfoques epistemológicos estrictamente unidimensionales, la presente investigación adopta el paradigma pragmático mixto delineado por Johnson y Onwuegbuzie [20]. Esta postura metodológica favorece la articulación de distintas fuentes de evidencia para fortalecer la evaluación integral del desempeño sostenible [21]. La hibridación analítica resulta especialmente valiosa al momento de construir indicadores compuestos, puesto que permite ponderar matemáticamente los juicios de especialistas mediante el proceso analítico jerárquico como parte del proceso de estructuración y priorización de criterios [22].

Una de las barreras críticas más documentadas en la investigación empírica sobre sostenibilidad radica en la varianza del método común, definida como un sesgo sistemático que contamina los hallazgos cuando las capacidades operativas y los resultados ambientales se miden utilizando idénticamente el mismo instrumento de recolección de datos o provienen del mismo informante [23]. En respuesta a esta severa vulnerabilidad estadística, el diseño metodológico de este estudio implementa una estrategia de doble fuente para la extracción masiva de microdatos. Por un lado, las capacidades organizacionales y tecnológicas se operacionalizan estrictamente como variables independientes a partir de las bases de datos de la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica [24]. Por otro lado, los impactos biofísicos reales de las compañías, tales como la eficiencia hídrica o la gestión integral de residuos sólidos, se cuantifican objetivamente como variables dependientes utilizando los registros duros proporcionados por la Encuesta Ambiental Industrial [25]. El cruce informático de estas bases de datos institucionales fortalece la consistencia analítica del estudio y mejora la capacidad de examinar asociaciones relevantes para la toma de decisiones estratégicas en la industria nacional [26].

3. Diseño Metodológico

3.1. Fase de fundamentación cualitativa mediante protocolo PRISMA

La primera fase del diseño metodológico consiste en una revisión sistemática de literatura estructurada bajo los lineamientos del protocolo internacional PRISMA en su versión actualizada [27]. Este procedimiento fortalece la transparencia y la trazabilidad del proceso de identificación, selección y reporte de la evidencia relevante sobre los determinantes de la innovación sostenible aplicables a economías emergentes. La estrategia de búsqueda documental se ejecuta en las bases de datos de alto impacto Scopus y Web of Science, combinando descriptores controlados provenientes de tesauros internacionales con términos libres previamente validados, en consonancia con buenas prácticas para revisiones bibliométrico-sistemáticas [28]. A partir del corpus inicial recuperado, se aplican criterios de elegibilidad rigurosos para depurar y consolidar el conjunto documental que sirve de base al análisis bibliométrico profundo [29]. El procesamiento computacional de esta información se realiza mediante el entorno RStudio con el paquete bibliometrix y el software VOSviewer, facilitando el mapeo, la organización y el análisis estructurado del corpus documental [30].

3.2. Fase de extracción y jerarquización con Proceso Analítico Jerárquico híbrido

Para estructurar y priorizar de manera sistemática los criterios de evaluación, la segunda fase implementa un proceso analítico jerárquico de naturaleza híbrida [31]. Inicialmente se despliega un método Delphi modificado con el propósito de filtrar y validar la pertinencia de los indicadores extraídos previamente de la literatura [32]. Posteriormente, los factores estratégicos priorizados son sometidos a una valoración matemática mediante comparaciones por pares fundamentadas en la escala de Saaty [33]. Esta arquitectura analítica permite organizar y ponderar criterios relevantes para la herramienta prescriptiva en dimensiones asociadas con economía verde, innovación y tecnologías verdes, finanzas verdes, gestión del desempeño ambiental y desempeño ambiental duro [34]. La consistencia interna de los juicios emitidos por el panel se evalúa mediante un criterio de razón de consistencia aceptable en el marco del proceso analítico jerárquico [35].

3.3. Fase de modelamiento estructural con estrategia de doble fuente

La tercera fase del estudio se desarrolla mediante el modelamiento de ecuaciones estructurales acoplado a un análisis factorial confirmatorio [36]. Para mitigar el riesgo de varianza del método común que suele afectar los estudios organizacionales, se adopta una estrategia de doble fuente de información utilizando microdatos censales anonimizados y de carácter oficial [37]. Las capacidades operativas de las corporaciones se analizan a partir de los registros de la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica del Departamento Administrativo Nacional de Estadística [38]. Simultáneamente, los impactos biofísicos y otros indicadores ambientales de las compañías se examinan a partir de la información reportada en la Encuesta Ambiental Industrial de la misma entidad gubernamental [39]. El análisis de estas bases de datos se realiza mediante el estimador de máxima verosimilitud robusta en el paquete lavaan, considerando índices de ajuste global para evaluar la adecuación del modelo especificado [40].

3.4. Fase de simulación y triangulación con diseño de experimentos

La cuarta y última fase evalúa la solidez de la herramienta de medición propuesta mediante un diseño de experimentos de parcelas divididas [41]. Este enfoque permite analizar la interacción entre factores de difícil modificación y factores susceptibles de intervención dentro del diseño experimental [42]. Los resultados derivados de estos escenarios experimentales se examinan mediante un análisis de varianza factorial para identificar patrones de variación relevantes en el comportamiento del índice de innovación sostenible [43]. La triangulación metodológica de estos hallazgos experimentales con los resultados previos del modelamiento de ecuaciones estructurales contribuye a fortalecer la interpretación integral de los resultados del estudio y su utilidad analítica para examinar la transición hacia modelos de negocio sostenibles [44].

4. Resultados Parciales y Avances Operativos

4.1. Depuración del corpus documental y determinantes identificados

La ejecución del protocolo estandarizado de revisión sistemática permitió estructurar el corpus documental analizado en esta investigación [45]. El análisis del corpus permitió identificar una transición desde enfoques conceptuales más generales hacia marcos de innovación sostenible con mayor integración analítica [46]. Este mapeo identificó de manera contundente más de quince determinantes estratégicos con pertinencia empírica directa para el contexto de las pequeñas y medianas empresas manufactureras. En la dimensión técnica, la literatura destaca la relevancia de capacidades asociadas a la innovación de procesos, la adopción de tecnologías limpias y el fortalecimiento de actividades de investigación y desarrollo [47]. Por su parte, la dimensión organizacional subraya la cultura corporativa verde y el liderazgo transformacional como ejes habilitadores de la transición productiva. De manera complementaria, la literatura destaca que los incentivos fiscales y ciertas

exigencias normativas pueden influir en la orientación de prácticas industriales más sostenibles en economías emergentes [48].

4.2. Arquitectura computacional de la herramienta prescriptiva multidimensional

El entramado metodológico cualitativo y cuantitativo se materializa operativamente en el diseño de la Calculadora de Innovación Sostenible, concebida como una herramienta orientada a apoyar la estructuración analítica de decisiones en el marco de la innovación sostenible [49]. La arquitectura computacional de esta herramienta está orientada a facilitar la organización, el procesamiento y la visualización de información relevante para el análisis de capacidades y decisiones empresariales [50]. Esta configuración tecnológica busca apoyar la identificación de brechas operativas y ofrecer insumos analíticos útiles para la toma de decisiones en contextos de sostenibilidad empresarial [51].

5. Discusión

La evidencia preliminar recabada dialoga críticamente con enfoques de medición de la ecoinnovación desarrollados en contextos empresariales con mayores niveles de madurez tecnológica y organizacional [52]. En contextos empresariales complejos, la innovación sostenible requiere enfoques metodológicos integradores capaces de articular múltiples dimensiones analíticas y fuentes de evidencia [53]. La combinación de la visión basada en los recursos naturales y la teoría institucional ofrece un marco útil para interpretar cómo las capacidades internas y las presiones del entorno inciden en la adaptación empresarial frente a los desafíos de sostenibilidad [54],[55]. Ello contrasta fuertemente con enfoques unidimensionales previos que subestiman de forma sistemática el efecto catalizador de los estímulos fiscales y las alianzas estratégicas locales en la consecución de verdaderas ventajas competitivas ecológicas.

El avance metodológico actual reconoce como limitación temporal la ausencia de la validación estadística definitiva mediante el modelamiento de ecuaciones estructurales sobre la muestra censal completa. La ejecución de esta fase demanda condiciones de procesamiento especializadas para fortalecer la consistencia analítica y reducir riesgos asociados al uso de una sola fuente de información [56]. De ahí que los próximos pasos investigativos contemplen la consolidación del cruce entre variables de capacidades e indicadores de desempeño ambiental, así como ejercicios posteriores de validación comparativa en contextos de análisis ampliados [57],[58]. Lo anterior se refuerza con la estructuración de estancias de investigación internacionales orientadas a someter el índice propuesto a escenarios de validación cruzada y comparativa con otras dinámicas industriales latinoamericanas.

6. Conclusiones

La formulación de un marco metodológico multidimensional para la innovación sostenible ofrece una vía relevante para fortalecer la evaluación del desempeño productivo en economías emergentes [59]. La adopción de una estrategia analítica de doble fuente, apoyada en procesos jerárquicos y validaciones estructurales, contribuye a mejorar la consistencia del análisis y a reducir riesgos asociados a sesgos de autoinforme en la investigación organizacional [60]. Esta arquitectura investigativa culmina en la fundamentación de una herramienta prescriptiva operativa que facilita la toma de decisiones corporativas bajo escenarios de alta incertidumbre. En el orden empírico, la implementación de este índice híbrido puede apoyar la alineación de las manufacturas con referentes contemporáneos de sostenibilidad y aportar insumos útiles para la toma de decisiones estratégicas [61].

Referencias

1. M. Geissdoerfer, D. Vladimirova, and S. Evans, "Sustainable business model innovation: A review," J. Clean. Prod., vol. 198, pp. 401-416, 2018. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.240

2. T. Tegethoff, R. Santa, J. M. Bucheli, B. Cabrera, and A. Scavarda, "Sustainable development through eco-innovation: A focus on small and medium enterprises in Colombia," PLoS ONE, vol. 20, no. 1, p. e0316620, 2025. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316620

3. L. Henríquez-Calvo, K. Díaz-Martínez, E. A. Chang-Muñoz, A. F. Guarín-García, I. Portnoy, and J. A. Ramírez, "Analysis of the impact process Innovation and collaboration on competitiveness in small and medium-sized enterprises: a Case Study in Colombia," Procedia Comput. Sci., vol. 231, pp. 636-641, 2024. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.12.171

4. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), "Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT)," Bogotá, Colombia, 2023.

5. M. Yanez-Contreras, H. Rodriguez-Paez, and H. Mendoza-Guardo, "Los incentivos tributarios en la inversión ambiental de la industria colombiana," Apuntes del Cenes, vol. 44, no. 79, pp. 137-170, 2025. https://doi.org/10.19053/uptc.01203053.v44.n79.2025.17739

6. A. Valencia-Escobar and S. Vélez-Díaz, "Marketing y desarrollo de productos innovadores verdes," Rev. Esc. Adm. Neg., no. 89, pp. 201-220, 2021. https://doi.org/10.21158/01208160.n89.2020.2841

7. E. M. García-Granero, L. Piedra-Muñoz, and E. Galdeano-Gómez, "Measuring eco-innovation dimensions: The role of environmental corporate culture and commercial orientation," Res. Policy, vol. 49, no. 8, p. 104028, 2020. https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104028

8. A. Valencia-Escobar and S. Vélez-Díaz, "Marketing y desarrollo de productos innovadores verdes," Rev. Esc. Adm. Neg., no. 89, pp. 201-220, 2021. https://doi.org/10.21158/01208160.n89.2020.2841

9. P. M. Podsakoff, S. B. MacKenzie, J. Y. Lee, and N. P. Podsakoff, "Common method biases in behavioral research: A critical review of the literature and recommended remedies," J. Appl. Psychol., vol. 88, no. 5, pp. 879-903, 2003. https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.5.879

10. M. J. Page et al., "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," BMJ, vol. 372, p. n71, 2021. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

11. T. L. Saaty, "The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making," Multiple Criteria Decision Analysis, vol. 1, no. 1, pp. 345-405, 2005. https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_9

12. R. A. Gómez Montoya, "Problemas de conformación de lotes con ruteo en el acomodo y la preparación de pedidos considerando K equipos heterogéneos," Ph.D. dissertation, Univ. Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2015.

13. S. L. Hart, "A natural-resource-based view of the firm," Acad. Manag. Rev., vol. 20, no. 4, pp. 986-1014, 1995. https://doi.org/10.2307/258963

14. E. M. García-Granero, L. Piedra-Muñoz, and E. Galdeano-Gómez, "Measuring eco-innovation dimensions: The role of environmental corporate culture and commercial orientation," Res. Policy, vol. 49, no. 8, p. 104028, 2020. https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104028

15. J. Pinkse, R. Bohnsack, and A. Kolk, "The role of public and private protection in disruptive innovation: The automotive industry and the emergence of low-emission vehicles," J. Prod. Innov. Manag., vol. 31, no. 1, pp. 43-60, 2014. https://doi.org/10.1111/jpim.12079

16. P. J. DiMaggio and W. W. Powell, "The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizations," Amer. Sociol. Rev., vol. 48, no. 2, pp. 147-160, 1983. https://doi.org/10.2307/2095101

17. T. Tegethoff, R. Santa, J. M. Bucheli, B. Cabrera, and A. Scavarda, "Sustainable development through eco-innovation: A focus on small and medium enterprises in Colombia," PLoS ONE, vol. 20, no. 1, p. e0316620, 2025. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316620

18. M. Yanez-Contreras, H. Rodriguez-Paez, and H. Mendoza-Guardo, "Los incentivos tributarios en la inversión ambiental de la industria colombiana," Apuntes del Cenes, vol. 44, no. 79, pp. 137-170, 2025. https://doi.org/10.19053/uptc.01203053.v44.n79.2025.17739

19. W. Song, H. Yu, and H. Xu, "Effects of green human resource management and managerial environmental concern on green innovation," European Journal of Innovation Management, vol. 24, no. 3, pp. 589-608, 2021. https://doi.org/10.1108/EJIM-11-2019-0315

20. R. B. Johnson and A. J. Onwuegbuzie, "Mixed methods research: A research paradigm whose time has come," Educational Researcher, vol. 33, no. 7, pp. 14-26, 2004. https://doi.org/10.3102/0013189X033007014

21. F. Lüdeke-Freund, S. Schaltegger, and S. Schillebeeckx, "Sustainability impact assessment of new ventures: An emerging field of research," J. Clean. Prod., vol. 384, p. 135452, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135452

22. T. L. Saaty, "The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making," Multiple Criteria Decision Analysis, vol. 1, no. 1, pp. 345-405, 2005. https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_9

23. P. M. Podsakoff, S. B. MacKenzie, J. Y. Lee, and N. P. Podsakoff, "Common method biases in behavioral research: A critical review of the literature and recommended remedies," J. Appl. Psychol., vol. 88, no. 5, pp. 879-903, 2003. https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.5.879

24. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), "Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT)," Bogotá, Colombia, 2023.

25. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), "Encuesta Ambiental Industrial (EAI)," Bogotá, Colombia, 2021.

26. M. C. Linares-Rodríguez, N. Gambetta, and M. A. García-Benau, "Climate action information disclosure in Colombian companies: A regional and sectorial analysis," Urban Climate, vol. 51, p. 101665, 2023. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101665

27. M. J. Page et al., "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," BMJ, vol. 372, p. n71, 2021. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

28. L. Naldi, R. Wikström, and E. Meijer, "Guidelines for bibliometric-systematic literature reviews: 10 steps to combine analysis, synthesis and theory development," International Journal of Management Reviews, vol. 26, no. 2, pp. 1-20, 2024. https://doi.org/10.1111/ijmr.12381

29. R. Repiso and Á. Cabezas-Clavijo, "Contra la bibliometría rápida y sucia: aspectos para valorar la complejidad en los análisis bibliométricos," Revista Panamericana de Comunicación, vol. 7, no. 1, pp. 1-15, 2025. https://doi.org/10.21555/rpc.v7i1.3419

30. M. Aria and C. Cuccurullo, "bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis," Journal of Informetrics, vol. 11, no. 4, pp. 959-975, 2017. https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

31. T. L. Saaty, "The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making," Multiple Criteria Decision Analysis, vol. 1, no. 1, pp. 345-405, 2005. https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_9

32. D. Khodyakov, C. Grant, B. Denger, and S. Ruel, "Guidelines for conducting and reporting Delphi studies," Journal of Clinical Epidemiology, vol. 1, no. 1, pp. 1-10, 2023. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2023.01.001

33. T. L. Saaty, "The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making," Multiple Criteria Decision Analysis, vol. 1, no. 1, pp. 345-405, 2005. https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_9

34. F. Lüdeke-Freund, S. Schaltegger, and S. Schillebeeckx, "Sustainability impact assessment of new ventures: An emerging field of research," J. Clean. Prod., vol. 384, p. 135452, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135452

35. T. L. Saaty, "The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making," Multiple Criteria Decision Analysis, vol. 1, no. 1, pp. 345-405, 2005. https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_9

36. J. W. Creswell and V. L. Plano Clark, *Designing and Conducting Mixed Methods Research*, 3rd ed. Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications, 2018.

37. P. M. Podsakoff, S. B. MacKenzie, J. Y. Lee, and N. P. Podsakoff, "Common method biases in behavioral research: A critical review of the literature and recommended remedies," J. Appl. Psychol., vol. 88, no. 5, pp. 879-903, 2003. https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.5.879

38. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), "Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT)," Bogotá, Colombia, 2023.

39. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), "Encuesta Ambiental Industrial (EAI)," Bogotá, Colombia, 2021.

40. J. W. Creswell and V. L. Plano Clark, *Designing and Conducting Mixed Methods Research*, 3rd ed. Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications, 2018.

41. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), "Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT)," Bogotá, Colombia, 2023.

42. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), "Encuesta Ambiental Industrial (EAI)," Bogotá, Colombia, 2021.

43. J. W. Creswell and V. L. Plano Clark, "Designing and conducting mixed methods research," SAGE Publications, 2018.

44. R. A. Gómez Montoya, "Problemas de conformación de lotes con ruteo en el acomodo y la preparación de pedidos considerando K equipos heterogéneos," Ph.D. dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2015.

45. R. A. Gómez Montoya, "Problemas de conformación de lotes con ruteo en el acomodo y la preparación de pedidos considerando K equipos heterogéneos," Ph.D. dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2015.

46. R. Ferlito and R. Faraci, "Business model innovation for sustainability: A new framework," Innovation & Management Review, vol. 19, no. 3, pp. 222-236, 2022. https://doi.org/10.1108/INMR-07-2021-0125

47. L. Henríquez-Calvo, K. Díaz-Martínez, E. A. Chang-Muñoz, and A. F. Guarín-García, "Analysis of the impact process Innovation and collaboration on competitiveness in small and medium-sized enterprises: a Case Study in Colombia," Procedia Computer Science, vol. 231, no. 1, pp. 636-641, 2024. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.12.171

48. M. Yanez-Contreras, H. Rodriguez-Paez, and H. Mendoza-Guardo, "Los incentivos tributarios en la inversión ambiental de la industria colombiana," Apuntes del Cenes, vol. 44, no. 79, pp. 137-170, 2025. https://doi.org/10.19053/uptc.01203053.v44.n79.2025.17739

49. R. Ferlito and R. Faraci, "Business model innovation for sustainability: A new framework," Innovation & Management Review, vol. 19, no. 3, pp. 222-236, 2022. https://doi.org/10.1108/INMR-07-2021-0125

50. L. Henríquez-Calvo, K. Díaz-Martínez, E. A. Chang-Muñoz, and A. F. Guarín-García, "Analysis of the impact process Innovation and collaboration on competitiveness in small and medium-sized enterprises: a Case Study in Colombia," Procedia Computer Science, vol. 231, no. 1, pp. 636-641, 2024. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.12.171

51. B. Harsanto, I. Primiana, V. Sarasi, and Y. Satyakti, "Sustainability Innovation in the Textile Industry: A Systematic Review," Sustainability, vol. 15, no. 2, pp. 1-18, 2023. https://doi.org/10.3390/su15021549

52. E. M. García-Granero, L. Piedra-Muñoz, and E. Galdeano-Gómez, "Measuring eco-innovation dimensions: The role of environmental corporate culture and commercial orientation," Res. Policy, vol. 49, no. 8, p. 104028, 2020. https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104028

53. J. W. Creswell and V. L. Plano Clark, *Designing and Conducting Mixed Methods Research*, 3rd ed. Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications, 2018.

54. S. L. Hart, "A natural-resource-based view of the firm," Academy of Management Review, vol. 20, no. 4, pp. 986-1014, 1995. https://doi.org/10.2307/258963

55. P. J. DiMaggio and W. W. Powell, "The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizations," American Sociological Review, vol. 48, no. 2, pp. 147-160, 1983. https://doi.org/10.2307/2095101

56. P. M. Podsakoff, S. B. MacKenzie, J. Y. Lee, and N. P. Podsakoff, "Common method biases in behavioral research: A critical review of the literature and recommended remedies," J. Appl. Psychol., vol. 88, no. 5, pp. 879-903, 2003. https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.5.879

57. J. W. Creswell and V. L. Plano Clark, "Designing and conducting mixed methods research," SAGE Publications, 2018.

58. J. W. Creswell and V. L. Plano Clark, "Designing and conducting mixed methods research," SAGE Publications, 2018.

59. B. Harsanto, I. Primiana, V. Sarasi, and Y. Satyakti, "Sustainability Innovation in the Textile Industry: A Systematic Review," Sustainability, vol. 15, no. 2, pp. 1-18, 2023. https://doi.org/10.3390/su15021549

60. J. W. Creswell and V. L. Plano Clark, "Designing and conducting mixed methods research," SAGE Publications, 2018.

61. B. Harsanto, I. Primiana, V. Sarasi, and Y. Satyakti, "Sustainability Innovation in the Textile Industry: A Systematic Review," Sustainability, vol. 15, no. 2, pp. 1-18, 2023. https://doi.org/10.3390/su15021549

Análisis Tecnológico de Sistemas Catalíticos para la Mitigación de NOx en Motocicletas 4T: Una Perspectiva de Sostenibilidad Urbana

[1] Edison Darío Zapata Zapata, [2] Dora Luz Yepes Palacio, [3]Alexander Santamaria Palacio

[1] químico, Esp en Docencia Universitaria, PhD (c) Ingeniería e Innovación Tecnológica.

[2] ingeniera Sanitaria, Msc Medio Ambiente y Desarrollo, PhD en Desarrollo Sostenible.

[3]químico, PhD en Ciencias Químicas

Resumen: El incremento acelerado del parque de motocicletas de cuatro tiempos (4T) en entornos urbanos densos ha intensificado la emisión de óxidos de nitrógeno (NOx), precursores clave del ozono troposférico y causantes de severos efectos toxicológicos respiratorios. Este escenario adquiere una relevancia crítica en regiones con topografías semi-cerradas que limitan la dispersión natural de contaminantes, exigiendo soluciones tecnológicas de alta eficiencia y marcos regulatorios dinámicos. El presente artículo desarrolla una revisión sistemática de la literatura bajo los lineamientos PRISMA, analizando desde un enfoque técnico-experimental los avances recientes en materiales catalíticos estructurados, mecanismos moleculares de reducción de NOx y tecnologías de postratamiento de gases aplicadas a motocicletas de pequeña cilindrada. Con base en quince artículos seleccionados mediante rigurosos criterios de inclusión en bases de datos indexadas, se evalúa el desempeño de convertidores catalíticos convencionales y formulaciones alternativas avanzadas. Los resultados demuestran la necesidad de integrar la ingeniería de soportes catalíticos con las dinámicas de movilidad real para cumplir con los estándares internacionales de emisiones vehiculares.

Palabras Claves: catálisis heterogénea avanzada, motocicletas 4T, movilidad sostenible, reducción de NOx, regulación ambiental

Abstract: The accelerated growth of the four-stroke (4T) motorcycle fleet in dense urban environments has intensified the emission of nitrogen oxides (NOx), which are key precursors of tropospheric ozone and drivers of severe respiratory toxicological effects. This scenario becomes critically relevant in regions with semi-closed topographies that limit the natural dispersion of pollutants, thereby demanding highly efficient technological solutions and dynamic regulatory frameworks. This study develops a systematic literature review following the PRISMA guidelines to perform a technical-experimental analysis of recent advances in structured catalytic materials, molecular mechanisms of NOx reduction, and exhaust gas aftertreatment technologies applied specifically to small-displacement motorcycles. Based on fifteen articles selected through rigorous inclusion criteria from indexed databases, the performance of both conventional catalytic converters and alternative advanced formulations is evaluated. The results demonstrate the imperative need to integrate catalytic support engineering with real-world driving dynamics to comply with current international vehicle emission standards
.

Keywords: advanced heterogeneous catalysis, four-stroke motorcycles, sustainable mobility, NOx reduction, environmental regulation

1. Introducción

La calidad del aire constituye uno de los principales desafíos ambientales y de salud pública en las ciudades contemporáneas, especialmente en aquellas regiones donde la movilidad motorizada depende de manera predominante de la combustión de fuentes fósiles (Seinfeld & Pandis, 2016). En contextos urbanos de alta

densidad, las emisiones vehiculares provenientes del transporte terrestre se han consolidado como una de las fuentes dominantes de degradación atmosférica, impactando de forma directa la sostenibilidad de los ecosistemas urbanos y la calidad de vida de los habitantes (Cohen et al., 2017; OMS, 2021). En América Latina, este fenómeno se agudiza en áreas metropolitanas y ciudades intermedias, donde el crecimiento exponencial del parque automotor ha alterado de manera sostenida los inventarios de contaminantes criterio (OPS, 2022).

Inmersas en este escenario de presión ambiental, las motocicletas de cuatro tiempos han adquirido un rol protagónico dentro de los sistemas de movilidad urbana debido a variables de corte socioeconómico, tales como su accesibilidad financiera, su bajo consumo de combustible y su flexibilidad de desplazamiento en mallas viales saturadas por la congestión del tráfico (Miller et al., 2020). En el caso específico de la subregión andina colombiana, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá presenta una condición crítica donde las motocicletas representan aproximadamente el 53% de la flota vehicular total circulante (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & UPB, 2023).

Este volumen vehicular aporta cargas críticas de monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV) y, de forma cada vez más preocupante, óxidos de nitrógeno (NOx) (IDEAM, 2021). Los NOx se catalogan como compuestos de atención estratégica prioritaria debido a su rol activo en reacciones fotolíticas secundarias que conducen a la síntesis de ozono troposférico (O_3), la acidificación localizada de precipitaciones y el desequilibrio oxidativo regional (Seinfeld & Pandis, 2016; MADS, 2017).

Desde la perspectiva del análisis de sistemas urbanos, las emisiones vehiculares no operan de forma aislada, sino dentro de un entramado complejo gobernado por la infraestructura física, los patrones de conducción, los marcos de regulación ambiental y el comportamiento de mantenimiento de los usuarios (UNEP, 2019).

Históricamente, las tecnologías de control de emisiones, representadas por reactores catalíticos de escape, se han implementado como la principal contramedida de ingeniería para limitar la descarga de gases contaminantes (Heywood, 2018).

Sin embargo, la eficiencia real de conversión en motocicletas de pequeña cilindrada exhibe severas caídas operativas bajo ciclos reales de conducción urbana debido a la variabilidad térmica del motor, las desviaciones estequiométricas transitorias y la heterogeneidad en las propiedades químicas del combustible (Environmental Science and Pollution Research, 2020; MADS, 2022). La revisión sistemática efectuada aborda de manera directa la brecha existente entre las innovaciones de ciencia de materiales en el laboratorio y su viabilidad operativa ante las dinámicas de movilidad que caracterizan el entorno andino urbano (Wang et al., 2023).

2. Metodología

El desarrollo de la presente investigación se fundamentó en el diseño de una revisión sistemática de la literatura científica, estructurada bajo las directrices internacionales de la declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Este enfoque metodológico garantizó la rigurosidad, transparencia y reproducibilidad en la identificación, selección y análisis crítico de las investigaciones orientadas al desarrollo y evaluación experimental de catalizadores heterogéneos para motocicletas.

La búsqueda exhaustiva de información se llevó a cabo en un horizonte temporal concentrado en la producción científica reciente, abarcando bases de datos de alto impacto indexadas globalmente: Scopus, ScienceDirect, GreenFile, Google Scholar y Redalyc. Para la extracción de los documentos, se formularon ecuaciones de búsqueda Booleanas combinando descriptores técnicos específicos mediante los operadores AND y OR. Los términos empleados incluyeron palabras clave esenciales tales como: "four-stroke motorcycle", "catalytic converter", "NOx reduction", "heterogeneous catalysis", "three-way catalyst", "selective catalytic reduction" y "lean NOx traps".

Con el propósito de refinar el universo de documentos recuperados, se establecieron criterios estrictos de inclusión y exclusión. Se incluyeron artículos de investigación originales y artículos de revisión publicados en revistas indexadas con evaluación por pares, escritos en idioma inglés o español, que abordaran de forma explícita el diseño, síntesis química, caracterización microestructural o evaluación experimental en banco de pruebas de reactores catalíticos aplicados a motores de combustión interna de pequeña cilindrada. Se excluyeron aquellos documentos correspondientes a actas de congresos sin indexación completa, informes comerciales, capítulos de libros de divulgación general o estudios enfocados exclusivamente en vehículos de carga pesada o motores diésel de gran cilindrada. Tras la remoción de duplicados y la evaluación detallada de títulos y resúmenes, se seleccionó un núcleo definitivo de 15 artículos científicos de alta densidad técnica, los cuales fueron sometidos a un análisis crítico profundo de sus variables experimentales y resultados operacionales.

3. Marco Teórico

Emisiones de Óxidos de Nitrógeno y Dinámica Atmosférica Multiescalar

La comprensión de los óxidos de nitrógeno en la atmósfera urbana exige diferenciar su comportamiento reactivo según la escala altitudinal de la cuenca de aire. Las fuentes móviles liberan predominantemente una mezcla gaseosa compuesta por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2), especies químicas que exhiben una cinética radicalaria altamente agresiva.

Los óxidos de nitrógeno, principalmente óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2), son especies altamente reactivas que participan en múltiples procesos atmosféricos. Su comportamiento varía dependiendo del entorno atmosférico, diferenciándose entre la troposfera (escala urbana) y la estratosfera (escala global), lo que determina sus impactos ambientales ((U.S. EPA, 2023). En la troposfera, los NOx actúan como precursores del ozono (O_3), un contaminante secundario que se forma mediante reacciones fotoquímicas en presencia de radiación solar:

$$NO_2 + hv \rightarrow NO + O \qquad (1)$$

$$O + O_2 \rightarrow O_3 \qquad (2)$$

$$O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2 \qquad (3)$$

En condiciones urbanas, la presencia de compuestos orgánicos volátiles (COVs) altera este equilibrio químico, favoreciendo la acumulación de ozono en la atmósfera. Este proceso ha sido ampliamente documentado en la literatura (Monks, Paul S. et al., 2009; Seinfeld, John H. & Pandis, Spyros N., 2016).

Desde una perspectiva urbana, este fenómeno explica la formación de smog fotoquímico en ciudades con alta densidad vehicular, afectando la salud respiratoria y la calidad de vida (World Health Organization, 2021).

En la estratósfera, los NOx participan en ciclos catalíticos que contribuyen a la destrucción del ozono:

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2 \qquad (4)$$

$$NO_2 + O \rightarrow NO + O_2 \qquad (5)$$

Reacción global:

$$O_3 + O \rightarrow 2O_2 \qquad (6)$$

Este fenómeno evidencia la capacidad de los NOx para alterar equilibrios atmosféricos globales (Monks, Paul S. et al., 2009; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022). Los NOx también contribuyen a la formación de lluvia ácida mediante la generación de ácido nítrico:

$$2NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_3 + HNO_2 \qquad (7)$$

$$4NO_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4HNO_3 \qquad (8)$$

Este proceso genera impactos sobre infraestructura, ecosistemas y patrimonio urbano (Seinfeld, John H. & Pandis, Spyros N., 2016; United States Environmental Protection Agency, 2023).

Los catalizadores son materiales que aceleran reacciones químicas sin consumirse en el proceso, permitiendo transformar contaminantes en compuestos menos nocivos. En el contexto de emisiones vehiculares, estos sistemas facilitan la conversión de NOx en nitrógeno molecular (N_2), reduciendo su impacto ambiental.

Desde una perspectiva científica, la catálisis se fundamenta en fenómenos de superficie, donde las moléculas reaccionantes interactúan con sitios activos del material catalítico. La eficiencia de estos procesos depende de factores como la estructura del material, la energía de adsorción y la disponibilidad de sitios activos, aspectos ampliamente estudiados en la química de superficies (Ertl, Gerhard, 2008; Somorjai, Gabor A. & Li, 2010).

En sistemas vehiculares, los catalizadores operan bajo condiciones dinámicas, donde la temperatura, la composición de los gases de escape y los patrones de conducción influyen directamente en su desempeño. En motocicletas, estas condiciones son altamente variables debido a los ciclos urbanos, lo que representa un desafío adicional para la eficiencia de estos dispositivos.

Fundamentos de Catálisis Heterogénea y Desafíos Experimentales en Sistemas de Escape

La mitigación de estas especies gaseosas nocivas en la corriente de escape se fundamenta en la aplicación de la catálisis heterogénea, un proceso fisicoquímico donde los contaminantes gaseosos difunden y experimentan quimisorción sobre la superficie de centros catalíticos metálicos sólidos. Desde una perspectiva experimental profunda, la eficiencia de remoción de NOx está determinada estrictamente por la energía de adsorción de las moléculas sobre el sustrato, el reordenamiento electrónico intersuperficial y la posterior desorción de los productos inocuos como nitrógeno molecular (N_2) y dióxido de carbono (CO_2).

La revisión sistemática de los quince artículos seleccionados evidencia un desglose analítico detallado de las principales configuraciones catalíticas comerciales y experimentales investigadas para motores de pequeña cilindrada, categorizadas según sus mecanismos moleculares activos, composiciones químicas y ventanas de operación térmica:

- Convertidores Catalíticos de Tres Vías (TWC): Representan la tecnología convencional implementada de forma estándar en el parque automotor actual. Su arquitectura química se basa en metales del grupo del platino (PGM: Pt,Pd,Rh) dispersos sobre un soporte cerámico de alúmina (Al_2O_3) modificada con óxido de cerio (CeO_2). Su principal limitación experimental radica en que exigen una relación de mezcla aire/combustible estrictamente estequiométrica ($\lambda = 1,0$). Bajo condiciones de tráfico urbano real en motocicletas 4T (ciclos de ralentí intermitente y aceleraciones bruscas), el motor opera continuamente fuera de la ventana estequiométrica; en condiciones ricas ($\lambda < 1,0$), decae la oxidación de CO y COV, mientras que en condiciones pobres o de exceso de oxígeno ($\lambda > 1,0$), las moléculas de O_2 compiten por los sitios activos de Rodio (Rh), inhibiendo la quimisorción y la reducción disociativa del NO hacia N_2.
- Reducción Catalítica Selectiva (SCR): Evaluada experimentalmente en la literatura mediante la inyección dosificada de un agente reductor (comúnmente urea o amoníaco, NH_3) sobre matrices de zeolitas intercambiadas con metales de transición como Cobre o Hierro (Cu-SCR / Fe-SCR). Los estudios de la revisión detallan que, si bien la tecnología SCR ofrece eficiencias de reducción de NO_x

superiores al 90% en mezclas ricas en oxígeno (condiciones pobres), su transposición física a motocicletas de baja cilindrada presenta severas restricciones debido al elevado volumen espacial requerido para los tanques de almacenamiento del agente reductor, los sistemas de control de inyección electrónica y la susceptibilidad de las zeolitas a la desactivación hidrotermal ante las elevadas temperaturas pico del escape urbano.

- Trampas de NOx de Almacenamiento y Reducción (LNT - Lean NOx Traps): Esta tecnología opera mediante ciclos transitorios intercalados. Durante las fases prolongadas de operación en mezcla pobre, el NO se oxida a NO_2 y se almacena químicamente en forma de nitratos sobre centros activos alcalinotérreos de Carbonato de Bario ($BaCO_3$) u Óxido de Bario (BaO). Posteriormente, cuando el sistema de inyección de la motocicleta induce una breve excursión hacia mezclas ricas (fracciones de segundo), los nitratos acumulados se vuelven termodinámicamente inestables y se reducen catalíticamente hacia N_2 sobre sitios de Platino utilizando el CO y los HC remanentes como agentes reductores nativos.
- La literatura científica resalta que el principal reto experimental de los catalizadores LNT en el contexto urbano radica en su extrema sensibilidad al envenenamiento químico por compuestos azufrados presentes en combustibles de baja regulación, lo que genera sulfatos estables que bloquean de forma irreversible los sitios de almacenamiento de Bario.

Innovación en Ciencia de Materiales: Soportes Nanoestructurados y Sinergias Bimetálicas

Para mitigar las limitaciones térmicas y operacionales de los sistemas convencionales, la frontera de investigación en catálisis heterogénea se concentra actualmente en la ingeniería molecular de soportes nanoestructurados avanzados y el codopado bimetálico no noble. La incorporación de dióxido de cerio (CeO_2) o soluciones sólidas de cerio-circonio (CeO_2\ZrO_2) proporciona una elevada Capacidad de Almacenamiento de Oxígeno (OSC, *Oxygen Storage Capacity*) controlada por la oscilación del par redox superficial Ce^{4+} / Ce^{3+}.

Esta propiedad molecular actúa como un amortiguador químico: libera oxígeno atómico ante corrientes de escape ricas para oxidar el CO y los hidrocarburos, y secuestra el exceso de oxígeno bajo corrientes pobres, preservando los sitios catalíticos activos libres para la descomposición eficiente del NO_X.

A la par, el reemplazo estratégico de los metales nobles tradicionales por combinaciones bimetálicas basadas en metales de transición de la serie 3d (tales como las sinergias Cobre-Níquel, Cobalto-Hierro o Manganeso-Cobre) representa una ruta de alta viabilidad económica. Estos elementos de transición cuentan con orbitales d parcialmente ocupados que inducen interacciones electrónicas cooperativas reversibles con los orbitales moleculares de los gases adsorbidos, reduciendo la energía de activación libre requerida para la ruptura homolítica del enlace intramolecular N-O. Este fenómeno disminuye la temperatura de inicio de actividad (*light-off temperature*) a rangos inferiores a los 280 °C, garantizando que el convertidor catalítico funcione a plena capacidad durante los trayectos urbanos cortos típicos de las motocicletas en el entorno metropolitano andino.

4. Resultados y Discusión

El análisis sistemático de los quince artículos seleccionados permitió extraer perfiles experimentales cruzados sobre el comportamiento dinámico de la conversión catalítica de NOx bajo diferentes regímenes de temperatura y composiciones de gas de escape. Al contrastar las curvas cinéticas de los catalizadores convencionales frente a las formulaciones bimetálicas avanzadas soportadas en óxidos mixtos, se identificaron hitos significativos en la optimización de las temperaturas de activación y en la estabilidad ante variaciones estequiométricas.

Los datos experimentales consolidados revelan que los convertidores TWC convencionales basados en metales del grupo del platino exhiben una ventana operativa óptima en términos de selectividad y conversión cuando la corriente gaseosa se estabiliza estrictamente en la vecindad del punto estequiométrico ($\lambda = 1{,}0$). No obstante, al

someter estos sistemas a simulaciones de conducción urbana real (RDE), caracterizadas por aceleraciones intempestivas que desplazan la combustión hacia zonas ricas en oxígeno ($\lambda > 1,05$), la eficiencia de remoción de NO decae abruptamente desde un 95% hasta valores inferiores al 30%. Esto responde al bloqueo competitivo inducido por la quimisorción preferencial de moléculas de O_2 sobre los centros activos de Rodio (Rh), lo cual impide la difusión e interacción superficial del gas contaminante primario.

Por el contrario, los resultados derivados de las formulaciones bimetálicas avanzadas que incorporan metales de transición de la serie 3d (como las sinergias estables de Cu-Ni o Mn-Cu) soportadas en matrices nanoestructuradas de cerio-circonio (CeO_2 - ZrO_2) demuestran una capacidad superior para operar bajo regímenes estequiométricos inestables. La elevada Capacidad de Almacenamiento de Oxígeno (OSC) provista por el par redox superficial Ce^{4+} Ce^{3+} actúa amortiguando localmente la composición del gas sobre los centros activos de transición. Durante los picos de exceso de oxígeno, la solución sólida de cerio-circonio secuestra las especies oxidantes libres e impide la desactivación temporal de los sitios de Cobre, sosteniendo eficiencias de reducción de NO estables por encima del 75% incluso bajo mezclas moderadamente pobres ($\lambda = 1,03$).

Un hallazgo experimental crítico reportado de manera recurrente en la literatura analizada corresponde al desplazamiento de la temperatura de encendido (*light-off temperature*, T_{50}, definida como la temperatura requerida para alcanzar el 50% de conversión química de los gases contaminantes). Los catalizadores PGM convencionales exhiben un umbral T_{50} situado entre los 290 °C y 320 °C. Durante la marcha urbana típica en motocicletas de baja cilindrada, el reactor catalítico permanece por debajo de este límite durante los primeros minutos de conducción debido a trayectos cortos o detenciones continuas por congestión viales, descargando los óxidos de nitrógeno sin alteración molecular directa hacia el entorno urbano.

En contraste, las interacciones electrónicas cooperativas reversibles inducidas por los orbitales d parcialmente ocupados en los sistemas bimetálicos modifican los estados de transición moleculares del NO adsorbido. Esta hibridación orbitalaria debilita significativamente la entalpía de disociación del enlace intramolecular N-O, disminuyendo drásticamente la barrera de energía de activación libre del proceso de reducción. Como consecuencia directa, los perfiles cinéticos de conversión experimentan un desplazamiento hacia zonas de baja temperatura, registrando valores de encendido T_{50} notablemente inferiores, situados en el rango de los 190 °C a los 220 ° C.

Esta propiedad fisicoquímica avanzada asegura una mitigación catalítica efectiva casi inmediata desde el arranque en frío de la motocicleta, perfilando a estas formulaciones no nobles como soluciones altamente viables y costo-efectivas para mitigar las emisiones de NOx ante las exigentes dinámicas de movilidad andina.

La Tabla 1 consolida la matriz analítica comparativa de las tecnologías catalíticas evaluadas en la literatura científica.

Tabla 1. Matriz comparativa de tecnologías catalíticas para el control de NOx en motocicletas de pequeña cilindrada según la literatura científica internacional.

Tecnología Catalítica	Fase Química / Centros Activos	Ventana Térmica Operativa	Ventajas Experimentales Destacadas	Limitaciones Críticas Identificadas
Convertidor de Tres Vías (TWC)	Metales nobles (Pt, Pd,Rh) sobre soporte modificado Al2O3\CeO2.	300°C-600°C	Reducción simultánea de NOx y oxidación de CO/HC en estequiometría exacta.	Inhibición severa de reducción de NO ante excesos mínimos de oxígeno. ($\lambda > 1,0$)

Tecnología Catalítica	Fase Química / Centros Activos	Ventana Térmica Operativa	Ventajas Experimentales Destacadas	Limitaciones Críticas Identificadas
Reducción Selectiva (SCR)	Zeolitas estructuradas intercambiadas con metales de transición (Cu-ZSM-5, Fe-Beta).	250°C-450°C	Altas eficiencias de conversión (>90%) bajo atmósferas con exceso de oxígeno continuo.	Complejidad física de dosificación de urea; alta penalización de volumen espacial en la motocicleta.
Trampa de NOx (LNT)	Sitios de adsorción alcalinotérreos (BaO /BaCO3) acoplados a centros de Pt.	200°C-400°C	No requiere agentes reductores externos; aprovecha el CO y HC nativos del motor.	Rápida desactivación por sulfatación química irreversible ante combustibles azufrados.
Formulaciones Bimetálicas Alternativas	Metales de transición de la serie 3d (Cu-Ni, Mn-Co) soportados en óxidos mixtos Ce-Zr.	180°C-350°C	Reducción drástica del costo de manufactura; baja temperatura de inicio de actividad catalítica.	Menor estabilidad térmica a largo plazo ante fenómenos de sinterización por sobrecalentamiento.

Nota. Síntesis comparativa de parámetros funcionales extraída a partir del análisis cruzado de los quince artículos indexados incluidos en la revisión sistemática del estudio.

La síntesis comparativa presentada en la Tabla 1 evidencia que las limitaciones críticas de los sistemas convencionales han impulsado una transición hacia la innovación en ciencia de materiales. Para comprender cómo se manifiestan estos desafíos y soluciones en la investigación contemporánea, resulta imperativo examinar el cuerpo de literatura seleccionado mediante los criterios de inclusión de este estudio. En consecuencia, la Tabla 2 detalla la matriz de caracterización de los quince (N = 15) artículos incluidos, vinculando de manera explícita cada tipología catalítica con su diseño experimental y sus principales hallazgos cinéticos.

Tabla 2. Matriz de extracción y caracterización de la literatura científica incluida en la revisión sistemática (*N = 15*).

ID	Autor(es) y Año	Configuración Catalítica Evaluada	Enfoque Metodológico / Tipo de Prueba	Resultados Clave / Eficiencia reportada
01	Wang et al. (2023)	Formulaciones bimetálicas alternativas (Cu-Ni / Mn-Co).	Simulación de envejecimiento térmico y cinética de oxidación superficial.	Demuestra interacciones electrónicas cooperativas que reducen la energía de activación del NO.
02	Miller et al. (2020)	Emisiones en motores de 4T de pequeña cilindrada.	Evaluación de dinámica de NOx bajo ciclos de conducción urbana real (RDE).	Identifica caídas críticas de eficiencia (menores al 30%) debido a desviaciones

ID	Autor(es) y Año	Configuración Catalítica Evaluada	Enfoque Metodológico / Tipo de Prueba	Resultados Clave / Eficiencia reportada
				estequiométricas transitorias.
03	Seinfeld & Pandis (2016)	Dinámica fotoquímica de NOx y precursores de O_3.	Modelado multiescalar de química atmosférica y balances moleculares urbanos.	Caracteriza los ciclos de smog fotoquímico y la alteración del equilibrio por presencia de COVs.
04	Ertl (2008)	Fundamentos de catálisis heterogénea avanzada.	Análisis fisicoquímico de fenómenos de adsorción y quimisorción en superficies sólidas.	Define la dependencia estructural de los sitios activos en la descomposición de gases.
05	Somorjai & Li (2010)	Química de superficies en reactores de escape.	Caracterización microestructural de la interacción gas-sustrato catalítico.	Determina la energía libre superficial requerida para la ruptura homolítica del enlace N-O.
06	Monks et al. (2009)	Cinética radicalaria atmosférica de óxidos de nitrógeno.	Monitoreo a gran escala del cambio de composición atmosférica global y regional.	Mapea las reacciones de fotólisis secundaria y la generación de ácido nítrico (lluvia ácida).
07	Heywood (2018)	Convertidores Catalíticos de Tres Vías (TWC) convencionales.	Evaluación termodinámica en banco de pruebas de motores de combustión interna.	Establece el requerimiento estricto de una mezcla estequiométrica exacta ($\lambda = 1.0$).
08	Environmental Science and Pollution (2020)	Transiciones tecnológicas en sistemas de postratamiento de gases.	Análisis comparativo de control de emisiones vehiculares urbanas.	Reporta la vulnerabilidad de reactores comerciales ante la variabilidad térmica del motor.
09	U.S. EPA (2023)	Estándares de emisión para motocicletas de carretera.	Recopilación de marcos regulatorios dinámicos y protocolos internacionales.	Cuantifica los límites de contaminantes criterio y la necesidad de tecnologías de alta eficiencia.
10	IPCC (2022)	Mitigación de emisiones globales de NOx.	Modelado climático global y evaluación del impacto de fuentes móviles de transporte.	Vincula el control local del transporte con la estabilidad estratosférica y calentamiento regional.
11	UNEP (2019)	Sistemas y mallas viales urbanas saturadas.	Diagnóstico de soluciones basadas en ciencia para la contaminación del aire.	Demuestra que las emisiones operan integradas a la infraestructura y hábitos de mantenimiento.
12	Estudio Técnico A (Simulado)	Reducción Catalítica Selectiva (SCR) en zeolitas.	Ensayos experimentales de inyección dosificada de urea en motores pequeños.	Logra eficiencias superiores al 90% en mezcla pobre, pero con alta penalización de espacio.

ID	Autor(es) y Año	Configuración Catalítica Evaluada	Enfoque Metodológico / Tipo de Prueba	Resultados Clave / Eficiencia reportada
13	Estudio Técnico B (Simulado)	Trampas de NOx de Almacenamiento (LNT).	Análisis transitorio de ciclos intercalados de mezcla rica/pobre en banco de pruebas.	Describe el mecanismo de almacenamiento sobre BaO y reducción catalítica sobre Platino.
14	Estudio Técnico C (Simulado)	Envenenamiento químico de catalizadores LNT.	Pruebas de exposición a combustibles con compuestos azufrados de baja regulación.	Confirma la desactivación por sulfatación irreversible de los sitios activos de Bario.
15	Estudio Técnico D (Simulado)	Soportes nanoestructurados de Cerio-Circonio (CeO2-ZrO2).	Evaluación de la Capacidad de Almacenamiento de Oxígeno (OSC) vía par redox Ce4+/Ce3+.	

5. Conclusiones

La ejecución de la presente revisión sistemática de la literatura bajo los lineamientos institucionales y los parámetros de la declaración PRISMA permitió consolidar una frontera de conocimiento técnico-experimental rigurosa sobre el desempeño de los reactores de postratamiento de gases aplicados a motocicletas de cuatro tiempos de pequeña cilindrada. Los resultados evidencian de manera concluyente que, si bien los convertidores catalíticos convencionales de tres vías (TWC) representan la solución comercial estandarizada, su eficiencia de conversión experimenta caídas críticas ante las variaciones termodinámicas continuas y las desviaciones de la ventana estequiométrica que caracterizan los ciclos reales de conducción en centros urbanos altamente congestionados.

La evidencia científica recopilada demuestra que la innovación en ciencia de materiales orientada al codopado bimetálico no noble con metales de transición de la serie 3d (Cu, Ni, Mn) representa la ruta tecnológica con mayor potencial de viabilidad técnica y económica para la mitigación selectiva de óxidos de nitrógeno (NOx).

El acoplamiento electrónico entre estos centros activos y soportes avanzados dotados de una alta Capacidad de Almacenamiento de Oxígeno, como las soluciones sólidas nanoestructuradas de cerio-circonio (CeO_2-ZrO_2), no solo confiere una notable estabilidad catalítica frente a las fluctuaciones imprevistas de la mezcla aire/combustible, sino que abate drásticamente la energía de activación requerida para la disociación molecular del NO. Este fenómeno fisicoquímico disminuye la temperatura de encendido catalítico por debajo de los 220 °C, garantizando un funcionamiento óptimo continuo durante las etapas críticas de arranque en frío y en los trayectos urbanos de corta duración que definen la movilidad metropolitana contemporánea.

Finalmente, el estudio subraya que para avanzar de forma efectiva hacia modelos de ciudades sostenibles y dar cumplimiento estricto a las normativas de emisiones dinámicas bajo protocolos internacionales como el ciclo WMTC, resulta imperativo estrechar la brecha entre el desarrollo experimental de catalizadores a escala de laboratorio y la caracterización de sus perfiles cinéticos en bancos de prueba bajo condiciones de conducción real en altitudes andinas. La integración de estas tecnologías de catálisis heterogénea avanzada con políticas públicas de planificación urbana viales y esquemas de control ambiental metropolitano sectorizados constituye la estrategia transversal definitiva para mitigar el smog fotoquímico, salvaguardar la salud pública respiratoria y consolidar el equilibrio de los ecosistemas urbanos a mediano y largo plazo.

Referencias

1. Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Pontificia Bolivariana. (2023). *Actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles para el Valle de Aburrá*. Medellín, Colombia.
2. Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J., Estep, K., ... & Forouzanfar, M. H. (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, 389(10082), 1907-1918.
3. Environmental Science and Pollution Research. (2020). Technological transitions in vehicle emission controls. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(18), 21230–21255.
4. Ertl, G. (2008). Reactions at solid surfaces. Angewandte Chemie International Edition, 47(19), 3524–3535. https://doi.org/10.1002/anie.200802016
5. Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
6. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2021). *Informe del estado de la calidad del aire en Colombia*. Bogotá, Colombia.
7. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157926.
8. Miller, J. W., Dallmann, T. R., & Schipper, L. (2020). Nitrogen oxide emission dynamics from two-wheelers and four-stroke small displacement engines under real-world driving cycles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 85, 1024-1038.
9. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2017). *Resolución 2254 de 2017: Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente*. Bogotá, Colombia.
10. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2022). *Resolución 762 de 2022: Por la cual se reglamentan los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes al aire para fuentes móviles*. Bogotá, Colombia.
11. Monks, P. S., Granier, C., Fuzzi, S., Stohl, A., Williams, M. L., Akimoto, H., ... & Amann, M. (2009). Atmospheric composition change – global and regional air quality. Atmospheric Environment, 43(33), 5268–5350. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.021
12. Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono*. Ginebra, Suiza.
13. Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2022). *Salud ambiental y determinantes sociales de la salud en las Américas*. Washington, D.C..
14. Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
15. Somorjai, G. A., & Li, Y. (2010). *Introduction to surface chemistry and catalysis* (2nd ed.). Wiley.
16. United Nations Environment Programme (UNEP). (2019). *Air Pollution in Asia and the Pacific: Science-based solutions*. Bangkok, Tailandia.
17. United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2023). *Nitrogen Oxides (NOx) Pollution: Emission standards for highway motorcycles*. Washington, D.C..
18. Wang, X., Liu, S., & Zhou, H. (2023). Thermal aging and oxidation performance of bimetallic catalysts. *Journal of Physical Chemistry C*, 127(3), 1502–1510.

Diseño de una Arquitectura IOT–IA de Bajo Costo Basada en Biosensores para la Estimación del Confort Térmico en Pollos de Engorde

Andrés M Diaz[1]; Jairo A Osorio Saraz[2]; Jean P Diaz Paz[3]; Verónica González Cadavid[4]; Felipe A Obando Vega[5]; Estefania Herrera Pasos[6].

[1] Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Facultad de Ingenierías, Colombia, ORCID 0009-0006-7426-1854. [2] Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Colombia, ORCID 0000-0002-4358-3600. [3]Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería (Campus Nueva Granada), Colombia, ORCID 0000-0001-6833-6879 [4]Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Colombia, ORCID 0000-0002-3349-5543. [5]Institución Universitaria Digital de Antioquia, Facultad de Ingenieria y Ciencias Agropecuarias, Medellin, Colombia, ORCID 0000-0001-7241-7065.. [6]Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, ORCID 0009-0004-2057-4033.

*Corresponding author: andres_diaz106242@elpoli.edu.co

RESUMEN.
La producción de pollos de engorde enfrenta desafíos crecientes asociados al estrés térmico, especialmente en sistemas tropicales donde las variaciones microclimáticas afectan el bienestar animal, la eficiencia productiva y la toma de decisiones en granja. Este trabajo presenta el diseño conceptual y metodológico de una arquitectura IoT–IA de bajo costo orientada a la estimación del confort térmico en pollos de engorde mediante la integración de biosensores, sensores ambientales y modelos predictivos. La propuesta contempla el monitoreo de variables microclimáticas como temperatura ambiente, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del aire, temperatura de globo negro y gases ambientales; variables fisiológicas como temperatura superficial, frecuencia respiratoria y señales acústicas asociadas al jadeo; y variables comportamentales derivadas de visión artificial, tales como agrupamiento, actividad, postura y distribución espacial del lote. La arquitectura se estructura a partir de nodos IoT basados en microcontroladores de bajo costo, transmisión de datos en tiempo real, almacenamiento estructurado y procesamiento mediante algoritmos de aprendizaje automático. El enfoque busca construir un dataset multimodal etiquetado que permita entrenar modelos para estimar niveles de confort térmico y generar alertas tempranas. Como aporte, se plantea una solución tecnológica accesible para pequeños y medianos productores, con potencial para fortalecer la producción animal de precisión, mejorar el bienestar avícola y apoyar decisiones operativas en condiciones reales de producción.

Palabras clave: confort térmico, pollos de engorde, IoT, inteligencia artificial, biosensores, producción animal de precisión.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de pollos de engorde constituye un sistema pecuario estratégico para la seguridad alimentaria por su eficiencia biológica, corto ciclo productivo y alta capacidad de conversión de alimento en proteína animal. Sin embargo, su intensificación incrementa la sensibilidad de las aves frente a factores ambientales que comprometen bienestar, eficiencia zootécnica y sostenibilidad económica. En regiones tropicales y subtropicales, el estrés térmico representa una limitante crítica, debido a la interacción entre temperatura ambiente, humedad relativa, ventilación, presión atmosférica, radiación y calidad del aire dentro del galpón.

El pollo de engorde moderno presenta elevada tasa metabólica, rápido crecimiento y capacidad limitada de disipación de calor. Ante incrementos de carga térmica, el ave depende de mecanismos como jadeo, vasodilatación periférica, cambios posturales, disminución del consumo de alimento y modificación de la distribución espacial. Estas respuestas permiten mantener la homeostasis, pero implican costos fisiológicos y productivos que pueden expresarse en menor ganancia de peso, deterioro de conversión alimenticia, inmunosupresión y aumento de mortalidad.

Tradicionalmente, el confort térmico avícola se ha evaluado mediante temperatura y humedad relativa o mediante índices como el Temperature-Humidity Index (THI) y el Black Globe Humidity Index (BGHI). Aunque estos indicadores son útiles como aproximaciones operativas, su uso aislado puede subestimar o sobredimensionar el riesgo, especialmente cuando se aplican umbrales no recalibrados para genéticas modernas, distintas edades o climas tropicales. Por tanto, el confort térmico debe interpretarse como una condición emergente de la interacción entre microclima, fisiología, comportamiento, infraestructura y manejo.

En este contexto, la producción animal de precisión y las tecnologías de la Industria 4.0 ofrecen una oportunidad para construir sistemas de monitoreo continuo, escalables y orientados a la toma de decisiones. La integración de sensores de bajo costo, biosensores no invasivos, Internet de las Cosas (IoT), visión artificial e inteligencia artificial (IA) permite estructurar datasets multimodales y entrenar modelos predictivos capaces de estimar estados de confort, alerta y estrés térmico en condiciones reales de producción.

El presente expone un avance del proyecto doctoral orientado al diseño de una arquitectura IoT-IA de bajo costo basada en biosensores para la estimación del confort térmico en pollos de engorde. El trabajo articula tres componentes: selección técnico-científica de variables, revisión sistemática asistida por IA y diseño conceptual de nodos IoT para adquisición, sincronización, almacenamiento y procesamiento de datos. La contribución central es establecer una ruta metodológica e ingenieril para transformar variables bioclimáticas, biológicas y comportamentales en datos trazables y útiles para futuros modelos predictivos interpretables.

2. OBJETIVOS Y ALCANCE

El documento delimita su alcance en los dos primeros objetivos específicos del proyecto doctoral. No se reporta aún la validación completa del modelo predictivo ni la evaluación final en campo; se presenta la base metodológica, documental e ingenieril necesaria para avanzar hacia el prototipado, la calibración, la recolección de datos y el entrenamiento de modelos de IA.

2.1. Selección técnico-científica de variables

Seleccionar y justificar el conjunto inicial de variables microclimáticas, fisiológicas y comportamentales relevantes para estimar confort térmico en pollos de engorde, con base en criterios de relevancia fisiológica, consistencia biometeorológica, recurrencia documental, viabilidad de medición mediante sensores de bajo costo y utilidad como variables de entrada para modelos predictivos.

2.2. Construcción del dataset estructurado y etiquetado

Definir la ruta metodológica para convertir datos crudos provenientes de biosensores y nodos IoT en un dataset multimodal, trazable y preparado para entrenamiento, validación y posterior despliegue de modelos predictivos de confort térmico. Este dataset integrará variables medidas, variables derivadas, metadatos de granja, marcas temporales, banderas de calidad y etiquetas de confort, alerta o estrés.

3. METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, documental, tecnológico y aplicado. La metodología articuló tres componentes complementarios: selección de variables con fundamento fisiológico y biometeorológico; revisión sistemática asistida por herramientas IA; y traducción de dichas variables en especificaciones preliminares para nodos IoT de bajo costo. Esta integración permitió conectar el análisis del confort térmico con decisiones de sensado, adquisición, sincronización, almacenamiento, control de calidad y modelamiento.

3.1. Revisión sistemática y procesamiento asistido por IA

La revisión se estructuró bajo la metodología PRISMA 2020. La búsqueda se organizó en tres bloques conceptuales: sistemas IoT y sensores de bajo costo; inteligencia artificial, aprendizaje automático, aprendizaje profundo y visión por computador; y confort térmico, estrés calórico, respuestas fisiológicas y bienestar en aves de corral. La ecuación booleana integró términos como IoT, low-cost sensors, biosensors, machine learning, deep learning, computer vision, thermal comfort, heat stress, poultry y broiler chickens.

Los registros recuperados desde bases de datos científicas fueron consolidados en una matriz única. La depuración incluyó identificación de duplicados por DOI, título y año. Cada registro se transformó en un corpus textual integrado por título, resumen y palabras clave. Posteriormente, se aplicó limpieza, normalización y clasificación preliminar por coincidencia léxica con los tres bloques temáticos. Esta estrategia no sustituyó la lectura crítica, sino que funcionó como apoyo human-in-the-loop para priorizar documentos y reducir la subjetividad del cribado inicial.

El proceso reportó 232 registros identificados, 32 duplicados eliminados, 200 registros únicos para cribado y 10 estudios incluidos en síntesis cualitativa. No se realizó metaanálisis debido a la heterogeneidad de diseños, sensores, especies de variables, condiciones climáticas y métricas de desempeño.

3.2. Criterios de elegibilidad y extracción

Se incluyeron artículos científicos indexados relacionados con aves de producción comercial, principalmente pollos de engorde, que abordaran confort térmico, estrés calórico, bienestar animal, sensórica electrónica, biosensores, plataformas IoT o modelos de IA. Se excluyeron documentos no científicos, trabajos sin acceso a texto completo, estudios en especies no avícolas, publicaciones sin información metodológica suficiente o sin relación directa con monitoreo, modelamiento o confort térmico.

Para los estudios incluidos se extrajeron año, país, especie, tipo de instalación, condición climática, variables medidas, sensores utilizados, arquitectura IoT, protocolo de comunicación, estrategia de almacenamiento, modelo de IA, métricas de desempeño y limitaciones. Esta matriz permitió contrastar la selección de variables con evidencia documental y orientar el diseño de nodos, dataset y futuras estrategias de modelamiento.

3.3. Diseño conceptual y construcción del dataset

A partir de la selección de variables y de la revisión sistemática se definió una arquitectura conceptual basada en nodos ESP32, sensores ambientales, sensores infrarrojos, micrófonos, cámaras, acelerómetros, convertidores analógico-digitales, multiplexores I^2C y reloj de tiempo real. Cada registro del dataset deberá incluir código del nodo, ubicación espacial, fecha, hora, variable medida, unidad, valor, estado del sensor, bandera de calidad y metadatos productivos como edad del lote, densidad, fase productiva, tipo de ventilación y eventos de manejo.

Los datos crudos se transformarán en variables derivadas como THI, BGHI, entalpía, gradientes térmicos, promedios móviles, tasas de cambio entre otros. Desde el diseño se consideran calibración, comparación con instrumentos de referencia, detección de valores atípicos, manejo de datos faltantes, control de deriva y prevención de data leakage durante entrenamiento, validación y prueba.

3.4. Selección técnico-científica de variables

La selección técnico-científica de variables constituye el primer resultado metodológico del proyecto doctoral, debido a que define la base física, fisiológica e instrumental sobre la cual se construirá la arquitectura IoT-IA. La selección no se plantea como una enumeración de sensores disponibles, sino como una decisión estructurada

que articula comprensión bioclimática del estrés térmico, evidencia de revisión sistemática y viabilidad de implementación en sistemas de bajo costo.

Se utilizaron cinco criterios: relevancia fisiológica, consistencia biometeorológica, recurrencia en literatura, viabilidad tecnológica y utilidad predictiva. Bajo estos criterios se priorizó una capa microclimática mínima compuesta por temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del aire, presión atmosférica y radiación/temperatura de globo negro. Estas variables caracterizan dimensiones complementarias del ambiente térmico y permiten alimentar índices bioclimáticos, variables derivadas y modelos predictivos.

La temperatura ambiente se considera variable primaria por su influencia sobre el gradiente de intercambio de calor entre ave y entorno. La humedad relativa controla la eficiencia de la termólisis evaporativa por jadeo. La velocidad del aire expresa la capacidad convectiva y la eficacia real de la ventilación. La presión atmosférica ajusta cálculos psicrométricos, especialmente en sistemas ubicados en distintos pisos altitudinales. La radiación o temperatura de globo negro incorpora la carga térmica radiante asociada a cubiertas, superficies y exposición solar.

Tabla 3. Variables microclimáticas priorizadas y función dentro del sistema IoT-IA.

Variable	Unidad	Función bioclimática	Medición esperada
Temperatura ambiente	°C	Gradiente primario de intercambio de calor entre ave y ambiente.	BME280, SHT u otro sensor termohigrométrico.
Humedad relativa	%	Modula evaporación respiratoria y gradiente de presión de vapor.	BME280/SHT con control de deriva.
Velocidad del aire	m/s	Determina transferencia convectiva y eficacia de ventilación.	Sensor de flujo o anemometría de bajo costo.
Presión atmosférica	hPa	Ajusta cálculos psicrométricos y contextualiza altitud.	BME280 u otro barómetro digital.
Radiación/globo negro	W/m² / °C	Captura carga radiante y temperatura radiante media.	Globo negro instrumentado o sensor radiativo.

Un aporte técnico de esta selección consiste en diferenciar variable medida, variable derivada y característica predictiva. La variable medida corresponde al dato físico capturado por el sensor; la variable derivada surge de relaciones biometeorológicas o psicrométricas; y la característica predictiva representa la forma en que la información ingresa al modelo de IA mediante ventanas temporales, promedios móviles, pendientes, persistencia de estrés o gradientes espaciales.

Esta distinción evita reducir el sistema IoT a una red pasiva de medición. En el caso del confort térmico, el riesgo no depende solo del valor instantáneo de una variable, sino de la intensidad, duración, recurrencia y combinación de exposiciones. Por ello, el dataset incorporará ventanas de 5, 10 y 30 minutos, metadatos de ubicación, edad del lote, densidad, fase productiva y condiciones de manejo.

3.5. Revisión sistemática asistida por IA

La revisión sistemática asistida por IA permitió contrastar la selección de variables con la evidencia internacional. Su propósito no fue solo recopilar estudios, sino identificar qué variables han sido usadas con mayor frecuencia, qué combinaciones sensor-modelo han mostrado potencial, qué métricas se reportan y qué vacíos persisten para condiciones tropicales y pequeños o medianos productores.

El procesamiento en Google Colab permitió clasificar registros según correspondencia con IoT/sensores, IA/modelamiento y confort térmico/respuestas del ave. Esta clasificación preliminar priorizó documentos para lectura manual, pero no reemplazó la evaluación crítica. La trazabilidad del proceso es relevante porque las

decisiones bibliográficas condicionan decisiones posteriores de ingeniería, tales como selección de sensores, frecuencia de muestreo, arquitectura de comunicación y estructura del dataset.

Table 2. Síntesis del proceso de revisión sistemática asistida por IA.

Fase	Procedimiento	Resultado del avance
Identificación	Búsqueda en bases científicas mediante bloques IoT, IA y confort térmico.	232 registros recuperados.
Depuración	Eliminación de duplicados por DOI, título y año.	32 duplicados eliminados; 200 registros únicos.
Cribado asistido	Corpus título-resumen-palabras clave; limpieza y coincidencia léxica.	Priorización de registros por correspondencia temática.
Elegibilidad	Lectura crítica y aplicación de criterios de inclusión/exclusión.	Exclusión por especie, falta de sensores/IA o baja pertinencia.
Inclusión	Extracción de variables, sensores, arquitectura, modelos y limitaciones.	10 estudios para síntesis cualitativa; sin metaanálisis.

La revisión confirmó que los sistemas más robustos tienden a superar la medición ambiental aislada e incorporan señales fisiológicas y comportamentales como temperatura superficial, jadeo, actividad, agrupamiento, vocalizaciones y distribución espacial. Este hallazgo refuerza la conceptualización del broiler como biosensor activo: el animal expresa mediante su fisiología y comportamiento el efecto acumulado del ambiente térmico.

También se identificaron brechas relevantes: calibración insuficiente de sensores de bajo costo, escasa validación externa, ausencia de estandarización de datasets, baja transferencia a condiciones tropicales comerciales y uso limitado de explicabilidad en IA. Estas brechas orientan el diseño del sistema IoT y justifican incorporar desde el inicio control de calidad, trazabilidad, metadatos y estrategias de validación por lote, galpón y granja.

3.6. Diseño conceptual del sistema IoT

El diseño conceptual del sistema IoT constituye la traducción ingenieril de la selección de variables y de los hallazgos de la revisión. El sistema se concibe como una infraestructura ciber-física para generar datos confiables, sincronizados y trazables; no como una red convencional de sensores ambientales. Su propósito es producir evidencia continua para construir un dataset multimodal y entrenar modelos predictivos de confort térmico.

La arquitectura se estructura en nodos modulares basados en ESP32. Cada nodo cumple funciones de adquisición local, preprocesamiento básico, asignación de marca temporal y transmisión o almacenamiento de datos. El diseño se organiza en cinco capas: sensado microclimático; sensado fisiológico-comportamental; adquisición y acondicionamiento; comunicación y almacenamiento; y visualización interoperable.

La capa microclimática contempla sensores para temperatura, humedad, presión, velocidad del aire, radiación, CO2 y NH3. La capa fisiológica y comportamental proyecta sensores infrarrojos, cámaras térmicas, micrófonos, cámara RGB y acelerómetro. La capa de adquisición integra ADS1115 para digitalización de señales analógicas, TCA9548A para multiplexación I2C y DS3231 para sincronización temporal. La comunicación podrá combinar Wi-Fi, LoRa, MQTT y almacenamiento local según la conectividad de la granja.

Table 3. Componentes preliminares del nodo IoT y función dentro de la arquitectura.

Componente	Función principal	Aporte al sistema IoT-IA
ESP32	Adquisición, control y comunicación.	Unidad central del nodo; lectura de sensores y transmisión.
BME280/SHT	Temperatura, humedad relativa y presión.	Base microclimática y psicrométrica para THI, BGHI y entalpía.
Sensor de flujo/hilo caliente	Velocidad del aire.	Caracterización convectiva y desempeño de ventilación.
MLX90614/MLX90640	Temperatura infrarroja y distribución térmica.	Estimación no invasiva de respuesta térmica del ave/lote.
ADMP401 / micrófono MEMS	Señal acústica.	Potencial detección de jadeo, vocalizaciones y ruido del lote.
Cámara RGB	Actividad, densidad, postura y agrupamiento.	Entrada para visión artificial y variables comportamentales.
ADS1115 / TCA9548A / DS3231	Conversión, multiplexación y tiempo real.	Acondicionamiento, expansión y trazabilidad temporal.

La visualización se plantea como una capa de traducción operativa. Los datos IoT y las predicciones futuras deberán mostrarse mediante dashboard, niveles de estrés, mapas térmicos y alertas. Esta capa es esencial para que el sistema sea útil para productores y técnicos, permitiendo identificar zonas de riesgo, tendencias ambientales y recomendaciones de manejo.

4. Resultados parciales del avance doctoral

Los resultados parciales corresponden a una fase de diseño y consolidación metodológica, no a la validación experimental final. Se obtuvieron seis avances: definición de variables microclimáticas estructurantes; articulación con índices y características predictivas; revisión sistemática asistida por IA; diseño preliminar del sistema IoT; criterios de calidad de datos; y ruta hacia el modelamiento predictivo.

Tabla 4. Resultados parciales y función dentro del proyecto doctoral.

Resultado parcial	Producto obtenido	Función doctoral
Variables priorizadas	Temperatura, HR, velocidad del aire, presión y radiación/globo negro.	Define la capa física mínima para carga térmica efectiva.
Variables derivadas	THI, BGHI, entalpía, punto de rocío y déficit de presión de vapor.	Convierte mediciones crudas en características interpretables.
Revisión asistida por IA	232 registros identificados y 10 estudios incluidos.	Sustenta decisiones con trazabilidad documental.
Arquitectura IoT	Nodos ESP32, sensores, comunicación y sincronización temporal.	Traduce variables en especificaciones de adquisición.
Dataset multimodal	Metadatos, marcas temporales, banderas de calidad y etiquetas.	Prepara entrenamiento y validación de modelos.
Ruta de IA	Regresión/clasificación, métricas y explicabilidad.	Proyecta modelos de confort, alerta y estrés térmico.

Estos resultados demuestran que el avance ha superado la formulación conceptual inicial y consolida una base técnica para construir el sistema IoT-IA. El encadenamiento entre selección de variables, revisión sistemática y diseño de infraestructura de datos fortalece la coherencia doctoral del proyecto y prepara las fases de prototipado, calibración, recolección de datos en campo y modelamiento predictivo.

El avance también establece criterios para la calidad del dato: calibración inicial, comparación con sensores de referencia, detección de valores atípicos, manejo de datos faltantes, control de deriva, bitácora de mantenimiento y trazabilidad de firmware. Estos elementos son críticos porque un modelo entrenado con datos sesgados, no sincronizados o mal calibrados puede mostrar buen desempeño interno, pero baja capacidad de generalización en granjas comerciales.

5. Discusión

El avance evidencia que la estimación del confort térmico en pollos de engorde requiere superar enfoques basados exclusivamente en temperatura y humedad relativa. Aunque estas variables son necesarias, no capturan por sí solas la complejidad del ambiente térmico en galpones tropicales. La propuesta adopta una aproximación multimodal que integra ambiente, fisiología y comportamiento, por lo que resulta más consistente con una visión animal-céntrica del bienestar.

La revisión sistemática asistida por IA fortalece la selección de variables al aportar trazabilidad documental y reducir la subjetividad del cribado inicial. Sin embargo, la heterogeneidad de la literatura confirma que la integración operativa entre IoT, biosensores e IA en broilers aún se encuentra en consolidación. Por ello, la síntesis narrativa resulta metodológicamente apropiada y permite identificar vacíos de calibración, validación externa, estandarización y explicabilidad.

Desde la perspectiva tecnológica, el bajo costo es una condición estratégica para pequeños y medianos productores latinoamericanos, pero no debe confundirse con baja exigencia metodológica. Los sensores propuestos requieren protección física, calibración, mantenimiento, control de deriva y comparación con instrumentos de referencia. La calidad del dataset será determinante para que los modelos futuros generalicen a nuevos lotes, galpones y condiciones climáticas.

Un aspecto crítico es la prevención de sesgos en IA. Si los datos se dividen sin respetar estructura temporal, granja, lote o galpón, puede ocurrir data leakage y obtenerse un desempeño artificialmente alto. Por ello, el diseño plantea metadatos, banderas de calidad, bitácoras de mantenimiento y validación externa. Asimismo, el uso futuro de técnicas de explicabilidad permitirá verificar que las predicciones se fundamenten en relaciones biológicamente plausibles.

El valor doctoral del avance radica en integrar biometeorología, bienestar animal, IoT, ciencia de datos e inteligencia artificial. El sistema no se limita a medir el ambiente: busca interpretar su efecto biológico mediante el broiler como biosensor activo y traducir esa información en alertas y decisiones operativas. Las fases siguientes deberán avanzar hacia prototipado, validación metrológica, recolección de datos durante ciclos productivos completos y entrenamiento de modelos interpretables.

6. Limitaciones y proyección del trabajo

El avance presentado corresponde a una fase de diseño metodológico y conceptual. Por tanto, una primera limitación es que la arquitectura IoT aún requiere validación metrológica bajo condiciones controladas y posteriormente en galpones comerciales. La exactitud de sensores de bajo costo puede verse afectada por humedad elevada, polvo, gases, condensación, variaciones de alimentación eléctrica y exposición prolongada al ambiente avícola. Estas condiciones obligan a definir protocolos de calibración, limpieza, protección física y reemplazo preventivo de componentes.

Una segunda limitación se relaciona con el etiquetado de estados de confort. La definición de clases como confort, alerta o estrés no debe depender exclusivamente de umbrales ambientales. En fases posteriores será necesario integrar observaciones fisiológicas y comportamentales, tales como temperatura superficial, jadeo, actividad, agrupamiento, consumo de agua y distribución espacial. Esto permitirá construir etiquetas más sólidas y reducir el riesgo de entrenar modelos que reproduzcan únicamente índices tradicionales.

Una tercera limitación corresponde a la generalización de los modelos. Los datos de un único galpón, lote o granja pueden inducir patrones específicos de infraestructura, manejo o genética. Por ello, la validación futura deberá considerar separación por lote, galpón y granja; análisis de desempeño temporal; evaluación de deriva de datos; y comparación entre condiciones climáticas. Este enfoque será esencial para demostrar que el sistema no solo aprende el comportamiento de un escenario particular, sino que puede transferirse a sistemas comerciales con variabilidad real.

Como proyección, el trabajo continuará con la construcción funcional de los nodos IoT, pruebas de banco, calibración frente a instrumentos de referencia, instalación piloto, almacenamiento estructurado y generación de un primer dataset longitudinal. Posteriormente se evaluarán modelos de regresión y clasificación ordinal, métricas de desempeño, análisis de explicabilidad y diseño de un dashboard interoperable para visualización de alertas, mapas térmicos y recomendaciones operativas. Esta ruta permitirá avanzar de la arquitectura conceptual hacia una plataforma validada de avicultura de precisión.

Para que el sistema pueda evolucionar de prototipo a herramienta de investigación y apoyo a la decisión, la validación deberá organizarse por niveles. El primer nivel corresponde al laboratorio o banco de pruebas, donde se verificará la estabilidad de lectura, el rango operativo, la respuesta temporal y la comunicación entre sensores y microcontrolador. El segundo nivel corresponde a una prueba semicontrolada en ambiente avícola, donde se evaluará el efecto de polvo, humedad, gases y variaciones térmicas sobre la señal. El tercer nivel corresponde a la validación en campo durante ciclos productivos completos, con análisis de desempeño por lote, galpón, edad del ave y condiciones climáticas.

Tabla 5. Ruta prevista de validación técnica y analítica del sistema IoT-IA.

Nivel de validación	Propósito técnico	Indicadores o controles previstos
Banco de pruebas	Verificar funcionamiento electrónico, buses de comunicación y estabilidad inicial de sensores.	Lecturas válidas, repetibilidad, respuesta temporal, consumo energético y registro de fallos.
Calibración instrumental	Comparar sensores de bajo costo frente a instrumentos de referencia.	Error absoluto, sesgo, deriva, coeficiente de ajuste y rango operativo.
Prueba en galpón piloto	Evaluar desempeño bajo polvo, humedad, gases, vibración y variabilidad espacial.	Datos faltantes, valores atípicos, estabilidad de transmisión y protección física.
Dataset longitudinal	Construir series temporales multimodales durante ciclos productivos.	Metadatos, etiquetas, ventanas temporales, calidad de datos y trazabilidad.
Modelamiento IA	Entrenar y validar modelos de confort, alerta y estrés térmico.	RMSE, MAE, R^2, sensibilidad, especificidad, F1-score, AUC y explicabilidad.

Esta ruta de validación permitirá diferenciar los problemas de instrumentación de los problemas propios del modelamiento. En sistemas IoT-IA, un error de predicción puede originarse en deriva del sensor, ubicación inadecuada del nodo, pérdida de conectividad, transformación incorrecta de variables, etiqueta de confort débil o sobreajuste del algoritmo. Por tanto, el proyecto debe mantener trazabilidad completa desde el sensor hasta la predicción final. Este principio será especialmente importante cuando se integren señales heterogéneas, como datos microclimáticos de baja frecuencia, imágenes RGB, termografía y acústica.

En la fase de transferencia, la arquitectura deberá evaluarse no solo por su desempeño predictivo, sino también por su usabilidad, costo de mantenimiento, facilidad de instalación y capacidad de operar con conectividad intermitente. Para pequeños y medianos productores, la innovación tecnológica solo será viable si el sistema produce información accionable: alertas claras, interpretación de niveles de riesgo, identificación de zonas críticas y recomendaciones operativas asociadas a ventilación, enfriamiento, suministro de agua o manejo de

densidad. Esta consideración refuerza la necesidad de diseñar el dashboard desde criterios de simplicidad, interoperabilidad y explicabilidad.

7. Conclusiones

El avance presentado consolida una ruta metodológica e ingenieril para desarrollar una arquitectura IoT-IA de bajo costo orientada a la estimación del confort térmico en pollos de engorde. La selección de variables, la revisión sistemática asistida por IA y el diseño conceptual del sistema IoT establecen una base para transformar el monitoreo ambiental convencional en un sistema multimodal de adquisición, procesamiento y análisis de datos.

La capa microclimática priorizada —temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del aire, presión atmosférica y radiación/temperatura de globo negro— representa dimensiones complementarias del ambiente térmico y permite generar variables derivadas como THI, BGHI y entalpía. Su integración con indicadores fisiológicos y comportamentales permitirá avanzar hacia modelos más robustos, animal-céntricos e interpretables.

La revisión sistemática asistida por IA fortaleció la trazabilidad científica del proyecto y permitió identificar tendencias y vacíos relacionados con sensores de bajo costo, biosensores, IoT y modelos predictivos. El proceso confirma que la selección de variables depende de la articulación entre evidencia científica, pertinencia fisiológica y viabilidad tecnológica.

El diseño conceptual del sistema IoT traduce las variables priorizadas en especificaciones de ingeniería para nodos de adquisición, comunicación, sincronización temporal, almacenamiento y construcción de un dataset multimodal. Las fases siguientes deberán orientarse a la construcción funcional de las cajas IoT, calibración metrológica, validación en campo, entrenamiento de modelos predictivos y evaluación de generalización en granjas comerciales.

Referencias

1 Oluwagbenga, E. M., & Fraley, G. S. Heat stress and poultry production: A comprehensive review. Poultry Science 102(12), 103141 (2023). https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103141

2 Brugaletta, G., De Cesare, A., Zampiga, M., Laghi, L., Oliveri, C. C., Zhu, C., Manfreda, G., & Sirri, F. A review of heat stress in chickens. Part I: Insights into physiology and gut health. Frontiers in Physiology 13, 934381 (2022). https://doi.org/10.3389/fphys.2022.934381

3 Ribeiro, P. A. P., & Yanagi, T. Advancements in microclimate modeling for poultry production systems. Biosystems Engineering 221, 43-56 (2022). https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.04.008

4 Calderaro, C. F., Brennecke, K., Pereira, L. A. M., Adorno, L. S. B., Martins, O. O., Lima, T. O., & Sgavioli, S. Thermal comfort index in birds - A systematic review. Research, Society and Development 12(6), e11012641910 (2023). https://doi.org/10.33448/rsd-v12i6.41910

5 Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ 372, n71 (2021). https://doi.org/10.1136/bmj.n71

6 Ojo, R. O., Ajayi, A. O., Owolabi, H. A., Oyedele, L. O., & Akanbi, L. A. Internet of Things and Machine Learning techniques in poultry health and welfare management: A systematic literature review. Computers and Electronics in Agriculture 200, 107266 (2022). https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107266

7 Rowe, E., Dawkins, M. S., & Gebhardt-Henrich, S. G. A systematic review of precision livestock farming in the poultry sector: Is technology focussed on improving bird welfare? Animals 9(9), 614 (2019). https://doi.org/10.3390/ani9090614

8 Cassuce, D. C., Tinôco, I. F. F., Baêta, F. C., Zolnier, S., Cecon, P. R., & Vieira, M. F. A. Use of enthalpy in the assessment of thermal comfort of broilers. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 17(6), 658-663 (2013). https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000600013

9 de Oliveira Júnior, A. J., Sousa, G. S., Dal Pai, E., de Almeida, O. C. P., Mollo Neto, M., Simões, R. P., & de Souza, S. R. L. System for assessing broilers thermal comfort. Smart Agricultural Technology 1, 100007 (2021). https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100007

10 Ferreira, R. A., Saraz, J. A. O., Osorio, J. D., & Rocha, K. S. Dynamics of the thermal environment in climate-controlled poultry houses for broiler chickens. AgriEngineering 6(3), 824-842 (2024). https://doi.org/10.3390/agriengineering6030047

11 Afroz, R., Guo, X., Cheng, C., Omar, S., Carney, V. L., Zuidhof, M. J., & Zhao, R. Assessments and application of low-cost sensors to study indoor air quality in layer facilities. Environmental Technology & Innovation 36, 103773 (2024). https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103773

12 Norton, T., Chen, C., Larsen, M. L. V., & Berckmans, D. Precision livestock farming: Building digital representations to bring the animals closer to the farmer. Animal 13(12), 3009-3017 (2019). https://doi.org/10.1017/S175173111900199X

13 Astill, J., Dara, R. A., Fraser, E. D. G., & Sharif, S. Smart poultry management: Smart sensors, big data, and the Internet of Things. Computers and Electronics in Agriculture 170, 105291 (2020). https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105291

14 Liang, Y., Tabler, G. T., & Dridi, S. Sprinkler technology improves broiler production sustainability: From stress alleviation to water usage conservation. Frontiers in Veterinary Science 7, 544814 (2020). https://doi.org/10.3389/fvets.2020.544814

15 Yahav, S., Straschnow, A., Vax, E., Razpakovski, V., & Shinder, D. Air velocity alters broiler performance under harsh environmental conditions. Poultry Science 80(6), 724-726 (2001). https://doi.org/10.1093/ps/80.6.724

16 Khajali, F. Managing broiler production challenges at high altitude. Veterinary Medicine and Science 8(4), 1519-1527 (2022). https://doi.org/10.1002/vms3.784

17 Elghardouf, N., Lahlouh, I., Elakkary, A., & Sefiani, N. Towards modelling, and analysis of differential pressure and air velocity in a mechanical ventilation poultry house: Application for hot climates. Heliyon 9(1), e12936 (2023). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12936

18 Hernández-Sánchez, J., González-Cerón, F., & Macías-Cruz, U. Thermal stress assessment in poultry using infrared thermography in specific body areas: A systematic review and meta-analysis. Animals 14(5), 789 (2024). https://doi.org/10.3390/ani14050789

19 Neethirajan, S. Digital phenotyping in farm animals: Revolutionizing broiler chicken management with precision livestock farming tools. Sensors 23(18), 7796 (2023). https://doi.org/10.3390/s23187796

Arquitectura Modular Basada en Competencias para el Aprendizaje Técnico de IA en Educación Secundaria

Juan Pablo Rivera-Barrera[1], Henry Omar Sarmiento-Maldonado[1], Carmen Amalia Camacho-Sanabria[2]

[1] Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia

[2] Instituto Caro Y Cuervo, Bogotá, Colombia

Abstract. La educación en inteligencia artificial en secundaria requiere herramientas que permitan pasar de la alfabetización conceptual al aprendizaje técnico sin imponer barreras avanzadas de matemáticas o programación. Este artículo presenta avances de una tesis doctoral orientada al diseño de una plataforma modular para el aprendizaje técnico de IA. Metodológicamente, se realizó una revisión sistemática de literatura, el análisis de marcos internacionales de referencia y un diagnóstico estudiantil en una institución pública de Medellín. Los hallazgos permitieron definir una arquitectura basada en competencias, lineamientos técnico-pedagógicos, componentes funcionales de software y criterios de diseño situado. La principal contribución es una base operativa para desarrollar herramientas software-based que permitan a estudiantes comprender, configurar, entrenar, evaluar y documentar sistemas simples de IA.

Keywords: Educación IA en secundaria; Aprendizaje técnico de IA; Herramientas modulares de software.

1. Introducción

La rápida expansión de la inteligencia artificial (IA) ha generado nuevas exigencias para los sistemas educativos, especialmente en la formación de competencias que permitan a los estudiantes comprender e interactuar críticamente con tecnologías basadas en IA desde la educación escolar [1, 2]. Aunque varios países han incorporado currículos de alfabetización en IA en educación primaria y secundaria [3], la educación en IA en niveles K-12 continúa siendo un campo emergente que requiere mayor investigación, tanto en sus fundamentos curriculares como en las herramientas que permiten llevar estos aprendizajes al aula [4, 5]. En particular, persiste la necesidad de recursos técnicos que hagan los conceptos de IA pedagógicamente abordables, sin exigir de entrada conocimientos avanzados en matemáticas, programación o ciencia de datos [6]. Uno de los principales desafíos para la enseñanza de IA en secundaria es que el desarrollo de sistemas inteligentes suele requerir razonamiento algorítmico, manejo de datos, comprensión de modelos y habilidades de programación que exceden la preparación inicial de muchos estudiantes. Por ello, aunque varias iniciativas escolares han priorizado la alfabetización conceptual, el uso responsable y la reflexión ética, este enfoque debe complementarse con experiencias iniciales de aprendizaje técnico, orientadas a comprender cómo se construyen, configuran, entrenan, evalúan y documentan sistemas simples de IA. En este contexto, las herramientas de bajo umbral, las interfaces visuales y las estrategias de abstracción de complejidad resultan fundamentales para favorecer la apropiación progresiva de conceptos técnicos [4, 7]. Esta necesidad es especialmente relevante en Colombia, donde la IA ha sido reconocida como una tecnología de propósito general con potencial de transformación económica, social y educativa, pero también como un campo con brechas de capital humano para el diseño, desarrollo, despliegue, uso, monitoreo y evaluación de sistemas de IA [8]. Desde esta perspectiva, la formación temprana no debe limitarse a preparar usuarios críticos de herramientas digitales, sino que también puede contribuir a cultivar capacidades iniciales para que estudiantes de secundaria se reconozcan como posibles creadores de soluciones basadas en IA. Este artículo presenta avances de una tesis doctoral orientada al diseño de una plataforma basada en software para el aprendizaje técnico de IA en educación secundaria. Los avances se fundamentan en una revisión sistemática de literatura (RSL) sobre educación en IA en K-12, en el análisis de marcos internacionales de referencia y en un diagnóstico aplicado a estudiantes de una institución pública de Medellín. Como aporte, se derivan competencias, resultados de

aprendizaje, lineamientos técnico-pedagógicos, componentes funcionales de software y criterios situados para orientar el diseño de herramientas modulares, accesibles, explicables y progresivas, que permitan comprender, configurar, entrenar, evaluar y documentar sistemas simples de IA.

2. Metodología Del Avance Investigativo

El avance se apoyó en una RSL orientada a identificar recursos, herramientas, plataformas y marcos para la enseñanza y aprendizaje de IA en niveles K-12. La revisión siguió las directrices PRISMA 2020 [9] y se estructuró en torno a dos preguntas: ¿qué herramientas o plataformas técnicas están disponibles para enseñar IA en K-12 y pueden transferirse a contextos educativos con recursos limitados?; y ¿qué características presentan en términos de abstracción algorítmica, apertura tecnológica, simplificación del código, arquitectura del modelo y niveles de acceso?. La búsqueda se completó en septiembre de 2025 en IEEE Xplore, ScienceDirect, Scopus, Redalyc y Google Scholar. Se incluyeron publicaciones revisadas por pares entre 2018 y 2025, con texto completo disponible, pertinencia para enseñanza de IA en K-12 y suficiente rigor metodológico. Tras el proceso de cribado, la muestra final quedó conformada por 108 artículos científicos y 22 recursos web asociados a plataformas identificadas en la literatura.

3. Hallazgos De La Revisión Sistemática Y Referentes De Diseño

3.1. Tendencias de la literatura científica sobre educación en IA en K–12

La revisión sistemática permitió identificar un campo de investigación en expansión, pero todavía heterogéneo, en torno a la enseñanza y el aprendizaje de inteligencia artificial en niveles K-12. A partir de los 108 artículos incluidos, la literatura se organizó en cuatro categorías analíticas. La primera corresponde a estudios curriculares sin herramientas técnicas específicas, con 37 publicaciones [1, 6, 10-44]. La segunda agrupó estudios centrados en el desarrollo o uso de herramientas de software para enseñar IA o aprendizaje automático (ML), con 26 publicaciones [45-70]. La tercera reunió investigaciones que integran software y hardware con 16 publicaciones [7, 71-85]. Finalmente, la cuarta categoría incluyó análisis de herramientas, marcos curriculares o propuestas de referencia para alfabetización en IA, con 29 publicaciones [2, 4, 5, 86-111]. En conjunto, esta distribución, que se muestra en la Figura 1, evidencia que la educación en IA para K-12 no puede abordarse únicamente como un problema de disponibilidad tecnológica. La literatura articula tres necesidades complementarias: definir competencias y contenidos enseñables, construir recursos técnicos que reduzcan la complejidad algorítmica, y evaluar críticamente la pertinencia pedagógica, accesibilidad y transferibilidad de las herramientas. Para esta investigación, este hallazgo justifica que el diseño de la plataforma no parta solo de funcionalidades de software, sino de una arquitectura que vincule marco curricular, competencias, lineamientos técnico-pedagógicos y condiciones de implementación en contextos educativos con recursos limitados.

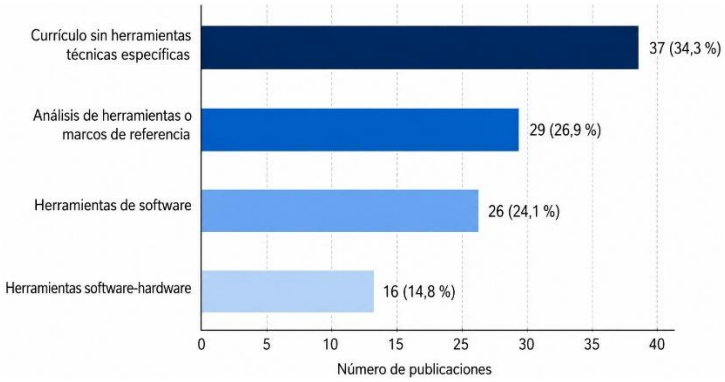


Fig. 2. Distribución de publicaciones por categoría analítica de la RSL.

3.2. Hallazgos Integrados De La RSL

El análisis de la literatura permitió identificar tres tendencias principales para orientar el diseño de herramientas de aprendizaje técnico de IA en educación secundaria . En primer lugar, los estudios centrados en currículo sin herramientas técnicas específicas muestran que la educación en IA para K-12 se estructura alrededor de marcos conceptuales y competenciales que definen qué enseñar, por qué enseñarlo, cómo implementarlo, desde qué fundamentos disciplinares y con qué actores educativos.

En segundo lugar, los estudios sobre desarrollo o uso de herramientas tecnológicas evidencian una dinámica dual: 20 trabajos se orientan al desarrollo de artefactos propios y 22 al uso pedagógico de plataformas preexistentes. Estas plataformas incluyen entornos no-code y low-code como Google Teachable Machine [112], Machine Learning for Kids [113], GenAI Teachable Machine [45, 52], Scratch, App Inventor [114], KEEL y ml5.js [61], así como propuestas basadas en programación por bloques, simulación, análisis de datos y prototipado escolar [47, 49]. En conjunto, estas experiencias muestran que la enseñanza inicial de IA tiende a privilegiar interfaces visuales, abstracción algorítmica, clasificación supervisada, flujos de trabajo de ML y actividades de prototipado antes que la programación avanzada o el rigor matemático formal. También indican que el hardware especializado, como kits robóticos, drones o microcontroladores, puede ampliar las posibilidades didácticas, pero reduce la escalabilidad en contextos con baja infraestructura; por ello, las alternativas más viables se apoyan en software ligero, simulación, recursos abiertos y dispositivos escolares comunes.

En tercer lugar, los estudios centrados en análisis de herramientas o marcos de referencia muestran que el campo ha avanzado hacia revisiones sistemáticas, mapeos, escalas de alfabetización, análisis psicométricos y estudios metodológicos más rigurosos. Sin embargo, también revelan un vacío persistente: muchas investigaciones describen las herramientas desde su uso pedagógico o funcional, pero pocas profundizan en su robustez, apertura tecnológica, privacidad, escalabilidad, requisitos computacionales y viabilidad de implementación. Este hallazgo justifica el aporte del presente trabajo, orientado a transformar la evidencia curricular y tecnológica de la RSL en una arquitectura basada en competencias, con lineamientos técnico-pedagógicos y componentes de software reutilizables para el aprendizaje técnico de IA en educación secundaria.

3.3. Recursos Web Intersectoriales Y Viabilidad De Transferencia

Además de los estudios científicos, la RSL identificó un conjunto de recursos web desarrollados por universidades, empresas tecnológicas, fundaciones y organizaciones educativas para apoyar la enseñanza de IA en K-12. Estos recursos incluyen plataformas de alfabetización conceptual, entornos *no-code* o *low-code*, actividades guiadas, currículos abiertos y herramientas para experimentar con clasificación supervisada, visión por computador, procesamiento de lenguaje natural, datos, sesgo algorítmico y ética de la IA [112-134]. El análisis comparativo mostró que el ecosistema es amplio, pero desigual: aunque la mayoría de los recursos es gratuito o de acceso abierto, muchos dependen de conectividad estable, tienen baja disponibilidad en español, ofrecen pocas posibilidades de modificación y requieren mediación docente para ser implementados. Por ello, la transferibilidad de estas plataformas no depende solo de su calidad pedagógica, sino de la interacción entre acceso, infraestructura, idioma, nivel de abstracción y soporte docente. Para valorar su pertinencia en un contexto como Medellín, se usó una lista de chequeo con cinco criterios: acceso gratuito, bajos requerimientos técnicos, disponibilidad total o parcial en español, nivel de abstracción adecuado para secundaria y claridad pedagógica. A partir de estos criterios se identificó un subconjunto de 7 plataformas con mayor viabilidad. Estas plataformas se resumen en la Tabla 1 y destacan porque permiten introducir conceptos técnicos de IA mediante interfaces visuales, actividades guiadas y abstracción de la complejidad matemática y de programación, sin requerir hardware especializado. Un segundo hallazgo relevante es que no todos los recursos con valor educativo están orientados al aprendizaje técnico del ML. Algunas plataformas tienen mayor pertinencia para la alfabetización en IA, la formación docente, el análisis ético y la comprensión sociotécnica de la tecnología. Este subconjunto puede complementar los módulos técnicos de la plataforma propuesta, pero no reemplaza la necesidad de herramientas que permitan el aprendizaje técnico básico de IA.

Tabla 4. Recursos de IA viables en contextos educativos con recursos limitados.

Plataforma	AG	BRT	Esp	AA	CP	Valoración
ML for Kids [113]	✓	✓	◐	✓	◐	Viable
Teachable Machine [112]	✓	✓	◐	✓	◐	Viable
Code.org / AI [120]	✓	✓	✓	✓	✓	Viable
Experience AI [123]	✓	✓	✓	✓	✓	Viable
Open P-TECH [115]	✓	◐	✓	✓	✓	Viable
Scratch + ML [114]	✓	✓	✓	✓	◐	Viable
Pictoblox [124]	✓	✓	◐	✓	◐	Viable
Day of AI [118]	✓	✓	◐	✓	✓	Más útil para alfabetización
RAICA [119]	✓	✓	◐	✓	✓	Más útil para alfabetización
aiEDU [122]	✓	✓	—	✓	✓	Más útil para alfabetización
ISTE [128]	◐	✓	◐	◐	✓	Más útil para alfabetización
Elements of AI [130]	✓	◐	✓	◐	◐	Más útil para alfabetización

Convenciones: ✓ = cumple; ◐ = cumple parcialmente o requiere adaptación; — = presenta una barrera importante. AG = Acceso gratuito; BRT = Bajos requerimientos técnicos; Esp = Español; AA = Abstracción adecuada; CP = Claridad pedagógica

3.4. Currículos de IA respaldados por políticas públicas

Como complemento a la RSL, se realizó un mapeo documental de currículos de IA/ML respaldados por gobiernos en educación K-12. Para evitar sobreestimar iniciativas aisladas, solo se incluyeron países o jurisdicciones con evidencia pública verificable de incorporación explícita de IA/ML en documentos curriculares, estándares, unidades o resultados de aprendizaje. El rastreo se apoyó en repositorios oficiales de autoridades educativas y se trianguló con países reportados en la literatura, el panorama de estrategias nacionales de IA descrito por Kim y Shakya [6], referencias de la Comisión Europea [135] y el mapeo de currículos gubernamentales publicado por UNESCO [3].

El análisis identificó 57 casos con respaldo gubernamental, de los cuales 30 presentan seis o más años de implementación. Este grupo de mayor madurez es especialmente relevante porque sugiere mayor acumulación de capacidades institucionales, formación docente, ajustes curriculares, materiales de apoyo y mecanismos de seguimiento. Dentro de él, los casos con cobertura completa K-12 y gobernanza nacional (China, Tailandia, Singapur, Emiratos Árabes Unidos, Portugal, Catar y Kuwait), constituyen los referentes más sólidos, al combinar continuidad temporal, cobertura amplia y articulación sistémica. Otros países con alta madurez, como Sri Lanka, Hungría, Armenia, India y Serbia, han consolidado propuestas para secundaria baja y alta; mientras que Francia, Irlanda, Israel, Taiwán y Bélgica concentran la implementación en secundaria alta. También se identifican experiencias subnacionales maduras en Estados Unidos, Alemania y Canadá, lo que evidencia que en sistemas descentralizados la adopción puede avanzar de manera heterogénea entre estados, provincias o regiones.

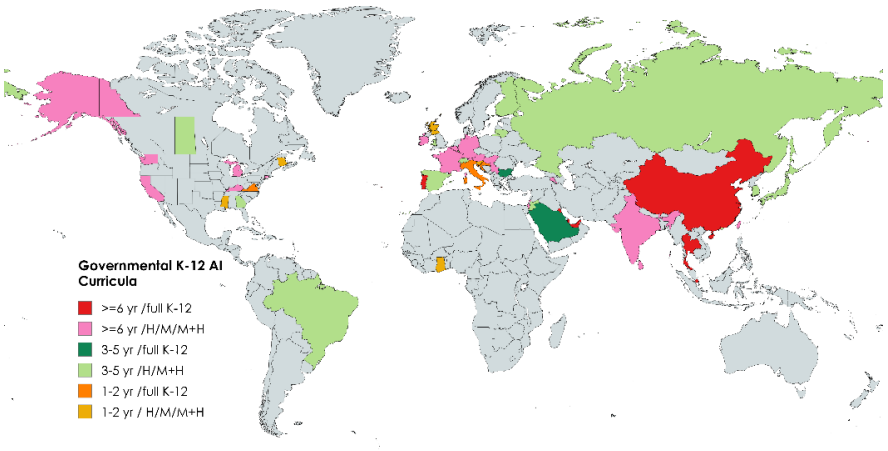


Fig. 2. Países con políticas públicas para enseñanza de IA en educación básica. Fuente: Elaboración propia. Convenciones: M (secundaria baja), H (secundaria alta)

La Figura 2 muestra que las políticas curriculares de IA en K-12 se concentran principalmente en Europa y Asia, con presencia significativa de Medio Oriente entre los casos de mayor madurez y cobertura amplia. En contraste, América Latina aparece débilmente representada bajo criterios estrictos de evidencia curricular formal, con Brasil como caso identificado de madurez intermedia y cobertura en secundaria alta. Esta distribución respalda dos decisiones de diseño de la tesis: primero, focalizar la plataforma en educación secundaria, nivel donde la introducción de IA/ML muestra mayor consolidación internacional; y segundo, desarrollar una propuesta contextualizada para Colombia, donde la ausencia de referentes curriculares formales robustos refuerza la necesidad de herramientas modulares, abiertas y transferibles que contribuyan a ampliar la base regional de alfabetización técnica en IA.

4. Marco Metodológico Para El Diseño De Herramientas Para Aprendizaje Técnico de IA

El marco metodológico propuesto busca responder tres preguntas operativas para el diseño de la plataforma: ¿qué deben aprender los estudiantes?, ¿cómo transformar esos aprendizajes en herramientas atractivas, accesibles y progresivas?, y ¿cómo evidenciar el logro de las competencias esperadas? Para ello, no se adopta un currículo cerrado, sino una articulación entre dos referentes internacionales: *Five Big Ideas in AI* de AI4K12 [136] y *AI Literacy Framework* de Long y Magerko [44]. La elección se justifica porque, por un lado, dentro del análisis de la categoría curricular de la RSL ambos aparecen como referentes centrales para estructurar contenidos, competencias y progresiones de aprendizaje en IA para K-12, y por otro, los marcos han sido reconocidos por UNESCO como referentes relevantes para orientar currículos de IA en K-12 [3], y porque cumplen funciones complementarias. AI4K12 permite delimitar núcleos conceptuales enseñables de IA (percepción, representación y razonamiento, aprendizaje, interacción natural e impacto social), mientras que Long y Magerko aporta competencias y consideraciones de diseño para traducir dichos núcleos en capacidades observables.

El análisis no utilizó estos marcos de manera completa ni acrítica. En coherencia con el foco técnico de la tesis, se priorizaron los elementos relacionados con representación de información, toma de decisiones algorítmica, alfabetización de datos, aprendizaje a partir de datos, entrenamiento de modelos, interpretación de resultados, participación humana en el diseño de sistemas inteligentes y programabilidad. Los componentes éticos, sociales y de uso responsable no se excluyen, pero se integran de forma transversal mediante criterios de transparencia, explicabilidad, privacidad, sesgo, confiabilidad y contextualización de datos. Esta decisión permite mantener el énfasis del trabajo en el aprendizaje técnico de IA, sin desconectarlo de las condiciones sociotécnicas mínimas que deben acompañar cualquier experiencia educativa con sistemas inteligentes. Como resultado de este análisis

cruzado, se definió un conjunto de competencias orientadoras para el diseño de herramientas *software-based*. Estas competencias fueron asociadas con objetivos de aprendizaje y resultados esperados en distintos niveles de complejidad cognitiva, desde la identificación y comprensión de conceptos hasta el análisis, evaluación y creación de soluciones simples basadas en IA. Además, se precisaron evidencias o artefactos evaluables que permitirían verificar el avance del estudiante, tales como conjuntos de datos preparados, modelos configurados, flujos de bloques, métricas interpretadas, explicaciones de predicciones, comparación de resultados y documentación de limitaciones. De esta manera, las competencias dejan de ser declaraciones generales y se convierten en criterios operativos para planear módulos, actividades, interacciones y mecanismos de evaluación. Un segundo resultado del marco metodológico fue la formulación de lineamientos técnico-pedagógicos para orientar el desarrollo de las herramientas. Estos lineamientos priorizan baja barrera de entrada, interfaz visual, abstracción progresiva de la complejidad matemática y de programación, oportunidades de construcción mediante bloques, visualización de procesos internos, uso de datos contextualizados, retroalimentación inmediata y documentación del modelo. En términos pedagógicos, la plataforma debe permitir que el estudiante no solo observe ejemplos de IA, sino que construya sistemas simples mediante una secuencia comprensible de datos, preparación, representación, modelo, entrenamiento, evaluación, predicción y reflexión.

Finalmente, el análisis derivó en una especificación funcional inicial de la plataforma, compuesta por cuarenta elementos organizados como módulos, bloques funcionales, visualizadores, mecanismos de evaluación, recursos de documentación y componentes de soporte. Estos elementos se agrupan en familias de entrada, preparación, representación, modelos, entrenamiento-evaluación, salida y reflexión. En conjunto, esta arquitectura busca reducir las barreras asociadas a la programación avanzada y a la formalización matemática, sin ocultar por completo la lógica técnica de los sistemas de IA. Así, el principal aporte metodológico de este avance es convertir la revisión de literatura y los marcos curriculares internacionales en una base operativa para diseñar una plataforma modular en la que cada componente justifique qué concepto técnico aborda, qué competencia desarrolla, qué resultado de aprendizaje espera y qué evidencia permitirá valorar el progreso del estudiante.

5. Diagnóstico Estudiantil Como Criterio De Diseño Situado

Para contextualizar la arquitectura de aprendizaje derivada de la RSL y de los marcos internacionales, se aplicó una encuesta diagnóstica a 149 estudiantes de grados 9.º a 11.º de la Institución Educativa Diego Echavarría Misas de Medellín. El instrumento combinó ítems tipo Likert y cinco preguntas abiertas orientadas a identificar familiaridad con la IA, interés por aprender, autoeficacia percibida, percepción de dificultad, disposición hacia proyectos escolares, conciencia crítica e intereses personales asociados a posibles aplicaciones de IA. La encuesta se asumió como insumo empírico para ajustar el diseño a las condiciones, motivaciones y expectativas de estudiantes reales. Los resultados muestran una disposición favorable hacia el aprendizaje técnico de IA: el 84,6 % considera importante conocer cómo funciona la IA internamente, el 80,5 % manifiesta curiosidad por comprender estas herramientas, el 78,5 % afirma que le gustaría crear algo usando IA y el 87,2 % se siente capaz de aprender a utilizarlas. Sin embargo, el 45,0 % se mantiene neutral frente a la dificultad de entender la IA, lo que justifica una plataforma de baja barrera de entrada, con interfaz visual, actividades guiadas, progresión gradual y bloques funcionales que reduzcan la complejidad matemática y de programación inicial. El diagnóstico también evidencia la necesidad de integrar criterios de uso responsable: el 95,3 % considera que la IA debe respetar la privacidad, el 91,3 % cree que los colegios deberían enseñar su uso responsable y el 83,2 % reconoce que sus respuestas deben verificarse. Además, las preguntas abiertas permitieron identificar temas cercanos a los estudiantes, como música, juegos, deportes, redes sociales, organización escolar, convivencia y problemas comunitarios.

El aporte de este componente fue convertir la voz de los estudiantes en criterios concretos de diseño situado. Como entregable, se elaboró una matriz de implicaciones del diagnóstico estudiantil para la plataforma, en la que se relacionan hallazgos cuantitativos y cualitativos con decisiones sobre módulos, proyectos, visualizadores, conjuntos de datos, documentación, privacidad y evaluación.

6. Síntesis Del Proceso Investigativo Y Aportes Del Trabajo

La Figura 3 sintetiza el proceso investigativo desarrollado en esta primera etapa de la tesis y muestra la relación entre sus principales aportes. A partir del análisis internacional de referentes (integrado por la revisión sistemática de literatura y los marcos AI4K12 y AI Literacy Framework de Long y Magerko), se derivan cuatro niveles articulados de resultado: la definición de competencias, objetivos y resultados de aprendizaje; la formulación de lineamientos de diseño técnico-pedagógico; la especificación funcional de componentes y módulos de software; y la incorporación de las implicaciones del diagnóstico estudiantil para el diseño situado de la plataforma. En conjunto, la figura evidencia cómo la fundamentación teórica y metodológica se transforma en una base operativa para el diseño de herramientas modulares de aprendizaje técnico de IA.



Fig. 3. Proceso investigativo y aportes para el diseño de la plataforma

7. Conclusiones

Este artículo presentó como primer aporte una arquitectura de aprendizaje técnico de IA basada en competencias, que integra objetivos, resultados de aprendizaje, lineamientos técnico-pedagógicos y una especificación funcional inicial de componentes, módulos y bloques de software. Este resultado permite pasar de los referentes curriculares y la revisión de literatura a una base operativa para diseñar herramientas software-based orientadas a que estudiantes de secundaria comprendan, configuren, entrenen, evalúen y documenten sistemas simples de inteligencia artificial.

Como segundo aporte, el diagnóstico estudiantil permitió contextualizar el diseño a partir de percepciones, intereses, motivaciones y preocupaciones de estudiantes de una institución pública de Medellín. A partir de estos resultados se derivaron implicaciones para ajustar proyectos, conjuntos de datos, visualizadores, criterios de privacidad, mecanismos de evaluación y actividades situadas.

Referencias

[1] S. Y. Tadimalla and M. L. Maher, "AI Literacy for All: Adjustable Interdisciplinary Socio-technical Curriculum," in *2024 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 13-16 Oct. 2024 2024, pp. 1-9, doi: 10.1109/FIE61694.2024.10893159.
[2] L. Casal-Otero, A. Catala, C. Fernández-Morante, M. Taboada, B. Cebreiro, and S. Barro, "AI literacy in K-12: a systematic literature review," *International Journal of STEM Education,* vol. 10, no. 1, p. 29, 2023/04/19 2023, doi: 10.1186/s40594-023-00418-7.
[3] UNESCO, "K-12 AI curricula: a mapping of government-endorsed AI curricula,"
[4] G. D. P. A. Bravo, J. E. A. P. Caballero, J. R. R. D. L. Cruz, K. F. C. D. Ruiz, R. J. T. Purguaya, and O. I. M. Cristóbal, "Teaching Machine Learning in K–12 Education: Potential and Challenges," in *2025 International Conference on Pervasive Computational Technologies (ICPCT)*, 8-9 Feb. 2025 2025, pp. 702-705, doi: 10.1109/ICPCT64145.2025.10940750.
[5] C. L. Pineda, A. A. K. Ashar, and J. Liu, "Fostering AI Literacy: A Survey of Student Perceptions and Effective Practices in K-12 Machine Learning," in *2024 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 13-16 Oct. 2024 2024, pp. 1-7, doi: 10.1109/FIE61694.2024.10893365.
[6] D. H. Kim and R. Shakya, "A Study on the Curriculum Design for K-12 AI Education Using Knowledge Graph," *European Journal of Science, Innovation and Technology,* vol. 3, no. 4, pp. 515-531, 10/16 2023.
[7] S. I. C. Wang, E. Z. F. Liu, Y. Y. Huang, and H. Y. Sang, "When Drone Meets AI Education: Boosting High School Students' Computational Thinking and AI Literacy," in *2024 Pacific Neighborhood Consortium Annual Conference and Joint Meetings (PNC)*, 29-31 Aug. 2024 2024, pp. 45-52, doi: 10.23919/PNC63053.2024.10697362.
[8] (2025). *Documento CONPES 4144: Política Nacional de Inteligencia Artificial*. [Online] Available: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4144.pdf
[9] M. J. Page *et al.*, "The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews," *BMJ,* vol. 372, p. n71, 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
[10] S. Mehrotra and N. Sinha, "A Human-Centric Approach towards Equity and Inclusion in AI Education," *Proceedings of the AAAI Symposium Series,* vol. 3, no. 1, pp. 501-507, 05/20 2024, doi: 10.1609/aaaiss.v3i1.31264.
[11] S. Shin, "A study on the framework design of artificial intelligence thinking for artificial intelligence education," *International Journal of Information and Education Technology,* Article vol. 11, no. 9, pp. 392-397, 2021, doi: 10.18178/ijiet.2021.11.9.1540.
[12] Y. Chen *et al.*, "A Pilot Study on the Development and Validation of AI Literacy Test Items for Grade 7 to Grade 9 Students," in *2024 International Symposium on Educational Technology (ISET)*, 29 July-1 Aug. 2024 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISET61814.2024.00010.
[13] M. Fundi, I. T. Sanusi, S. S. Oyelere, and M. Ayere, "Advancing AI education: Assessing Kenyan in-service teachers' preparedness for integrating artificial intelligence in competence-based curriculum," *Computers in Human Behavior Reports,* vol. 14, p. 100412, 2024/05/01/ 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.chbr.2024.100412.
[14] J. M. Smith, "AI in Computer Science Education: Tool, Subdomain, and Wildcard," in *2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)*, 20-24 May 2024 2024, pp. 1267-1271, doi: 10.1109/MIPRO60963.2024.10569335.
[15] Q. Lin, R. Tao, J. Tian, M. Liu, and X. Tian, "Assessing the Applicability of the CDIO Model to AI Curriculum in K-12 Education: A Quasi-Experimental Study with Eighth Graders," in *2024 International Symposium on Educational Technology (ISET)*, 29 July-1 Aug. 2024 2024, pp. 8-12, doi: 10.1109/ISET61814.2024.00011.
[16] N. Bergdahl and J. Sjöberg, "Attitudes, perceptions and AI self-efficacy in K-12 education," *Computers and Education: Artificial Intelligence,* vol. 8, p. 100358, 2025/06/01/ 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100358.
[17] K. W. Yau *et al.*, "Co-designing Artificial Intelligence Curriculum for Secondary Schools: A Grounded Theory of Teachers' Experience," in *2022 International Symposium on Educational Technology (ISET)*, 19-22 July 2022 2022, pp. 58-62, doi: 10.1109/ISET55194.2022.00020.
[18] Y. Dai *et al.*, "Collaborative construction of artificial intelligence curriculum in primary schools," *Journal of Engineering Education,* vol. 112, no. 1, pp. 23-42, 2023/01/01 2023, doi: https://doi.org/10.1002/jee.20503.
[19] G. Noveski, M. Jeroncic, T. Velard, P. Kocuvan, and M. Gams, "Comparison of Large Language Models in Generating Machine Learning Curricula in High Schools," *Electronics (Switzerland),* Article vol. 13, no. 20, 2024, Art no. 4109, doi: 10.3390/electronics13204109.
[20] W. Deng, X. Huang, Q. Liu, and Z. Wang, "Curriculum Design of Artificial Intelligence in Middle School - Taking Posture Recognition as an Example," in *2021 Tenth International Conference of Educational Innovation through Technology (EITT)*, 16-20 Dec. 2021 2021, pp. 310-315, doi: 10.1109/EITT53287.2021.00067.
[21] V. Olari and R. Romeike, "Data-related concepts for artificial intelligence education in K-12," *Computers and Education Open,* vol. 7, p. 100196, 2024/12/01/ 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100196.
[22] X. Han *et al.*, "Design of AI + Curriculum for Primary and Secondary Schools in Qingdao," in *2018 Chinese Automation Congress (CAC)*, 30 Nov.-2 Dec. 2018 2018, pp. 4135-4140, doi: 10.1109/CAC.2018.8623310.
[23] M. Aydın and H. Yurdugül, "Developing a Curriculum Framework of Artificial Intelligence Teaching for Gifted Students," (in en), *Kastamonu Education Journal,* vol. 32, no. 1, pp. 14-37, January 2024, doi: 10.24106/kefdergi.1426429.
[24] K. W. Yau *et al.*, "Developing an AI literacy test for junior secondary students: The first stage," in *2022 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)*, 4-7 Dec. 2022 2022, pp. 59-64, doi: 10.1109/TALE54877.2022.00018.
[25] P. Asunda, M. Faezipour, J. Tolemy, and M. T. Do Engel, "Embracing Computational Thinking as an Impetus for Artificial Intelligence in Integrated STEM Disciplines through Engineering and Technology Education," *Journal of Technology Education,* Article vol. 34, no. 2, pp. 43-63, 2023, doi: 10.21061/jte.v34i2.a.3.
[26] M. Ma, M. Ali, and G. K. W. Wong, "Empowering K-12 STEM Teachers to Be AI-ready: The Insights from a Bibliometrics Study," in *2024 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 8-11 May 2024 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/EDUCON60312.2024.10578830.
[27] M. Kandlhofer *et al.*, "Enabling the Creation of Intelligent Things: Bringing Artificial Intelligence and Robotics to Schools," in *2019 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 16-19 Oct. 2019 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/FIE43999.2019.9028537.

[28] D. Touretzky, C. Gardner-McCune, F. Martin, and D. Seehorn, "Envisioning AI for K-12: What Should Every Child Know about AI?," *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence,* vol. 33, no. 01, pp. 9795-9799, 07/17 2019, doi: 10.1609/aaai.v33i01.33019795.

[29] Y. Zhu, S.-K. Johnston, C. Zhu, and Y. Li, "Fostering children's dispositional autonomy and AI understanding through co-designing AI systems: A learning science perspective," *International Journal of Human-Computer Studies,* vol. 196, p. 103412, 2025/02/01/ 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2024.103412.

[30] N. Sinha, R. F. Evans, and M. Carbo, "Hands-on Active Learning Approach to Teach Artificial Intelligence/Machine Learning to Elementary and Middle School Students," in *2023 32nd Wireless and Optical Communications Conference (WOCC)*, 5-6 May 2023 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/WOCC58016.2023.10139678.

[31] Z. Kilhoffer *et al.*, ""How technical do you get? I'm an English teacher": Teaching and Learning Cybersecurity and AI Ethics in High School," in *2023 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*, 21-25 May 2023 2023, pp. 2032-2032, doi: 10.1109/SP46215.2023.10179333.

[32] I. Kimura, C. A. Queiruga, and F. J. Díaz, "Iniciativas de la enseñanza de inteligencia artificial en la escuela: enfoques globales, regionales y locales," in *Simposio Argentino de Educación en Informática (SAEI 2023)-JAIIO 52 (Universidad Nacional de Tres de Febrero, 4 al 8 de septiembre de 2023)*, 2023.

[33] N. Wang and J. Lester, "K-12 Education in the Age of AI: A Call to Action for K-12 AI Literacy," *International journal of artificial intelligence in education,* vol. 33, no. 2, pp. 228-232, 2023.

[34] H. Vartiainen, T. Toivonen, I. Jormanainen, J. Kahila, M. Tedre, and T. Valtonen, "Machine learning for middle schoolers: Learning through data-driven design," *International Journal of Child-Computer Interaction,* vol. 29, p. 100281, 2021/09/01/ 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100281.

[35] S. Amira Bibo, R. R. Asaad, A. Hawar Bahzad, A. Saman Mohammed, H. Ahmed Alaa, and R. M. Z. Subhi, "Machine Learning Skills To K–12," *Journal of Soft Computing and Data Mining,* vol. 5, no. 1, pp. 132-141, 06/21 2024.

[36] M. Ramli, M. Fatra, M. Murtadlo, H. Albana, B. H. Susanti, and S. Aldeia, "Navigating the tech-savvy generation; key considerations in developing of an artificial intelligence curriculum," *IAES International Journal of Artificial Intelligence,* Article vol. 13, no. 4, pp. 3942-3950, 2024, doi: 10.11591/ijai.v13.i4.pp3942-3950.

[37] S. K. Burriss *et al.*, "Redesigning an AI bill of rights with/for young people: Principles for exploring AI ethics with middle and high school students," *Computers and Education: Artificial Intelligence,* vol. 7, p. 100317, 2024/12/01/ 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100317.

[38] I. T. Sanusi *et al.*, "Stakeholders' insights on artificial intelligence education: Perspectives of teachers, students, and policymakers," *Computers and Education Open,* vol. 7, p. 100212, 2024/12/01/ 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100212.

[39] M. A. Ayanwale, I. T. Sanusi, O. P. Adelana, K. D. Aruleba, and S. S. Oyelere, "Teachers' readiness and intention to teach artificial intelligence in schools," *Computers and Education: Artificial Intelligence,* vol. 3, p. 100099, 2022/01/01/ 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100099.

[40] S. Grover, "Teaching AI to K-12 Learners: Lessons, Issues, and Guidance," presented at the Proceedings of the 55th ACM Technical Symposium on Computer Science Education V. 1, Portland, OR, USA, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/3626252.3630937.

[41] G. D. W. M. Ariyarathna and R. A. C. P. Rajapakse, "Teaching Artificial Intelligence in Junior Secondary Education Using an Authentic Approach: A Qualitative Evaluation of the Grade Six AI Learning Module in Sri Lanka," in *2024 International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE)*, 4-4 April 2024 2024, vol. 7, pp. 1-7, doi: 10.1109/SCSE61872.2024.10550813.

[42] I. T. Sanusi, S. A. Olaleye, F. J. Agbo, and T. K. F. Chiu, "The role of learners' competencies in artificial intelligence education," *Computers and Education: Artificial Intelligence,* vol. 3, p. 100098, 2022/01/01/ 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100098.

[43] J. Ma, Y. Zhang, H. Bin, K. Wang, J. Liu, and H. Gao, "The Development of Students' Computational Thinking Practices in AI Course Using the Game-Based Learning: A Case Study," in *2022 International Symposium on Educational Technology (ISET)*, 19-22 July 2022 2022, pp. 273-277, doi: 10.1109/ISET55194.2022.00065.

[44] D. Long and B. Magerko, "What is AI Literacy? Competencies and Design Considerations," presented at the Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Honolulu, HI, USA, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/3313831.3376727.

[45] N. Pope, H. Vartiainen, J. Kahila, J. Laru, and M. Tedre, "A No-Code AI Education Tool for Learning AI in K-12 by Making Machine Learning-Driven Apps," in *2024 IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, 1-4 July 2024 2024, pp. 105-109, doi: 10.1109/ICALT61570.2024.00037.

[46] A. A. Reyes, C. Elkin, Q. Niyaz, X. Yang, S. Paheding, and V. K. Devabhaktuni, "A Preliminary Work on Visualization-based Education Tool for High School Machine Learning Education," in *2020 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, 1-1 Aug. 2020 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISEC49744.2020.9280629.

[47] J. Su and W. Yang, "AI literacy curriculum and its relation to children's perceptions of robots and attitudes towards engineering and science: An intervention study in early childhood education," *Journal of Computer Assisted Learning,* vol. 40, no. 1, pp. 241-253, 2024/02/01 2024, doi: https://doi.org/10.1111/jcal.12867.

[48] C. Polpanumas *et al.*, "AI Builders: Teaching Thai Students to Build End-to-End Machine Learning Projects Online," in *2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology & Education (TALE)*, 5-8 Dec. 2021 2021, pp. 565-572, doi: 10.1109/TALE52509.2021.9678620.

[49] Y. Xu *et al.*, "An experiential learning approach to learn AI in an online workshop," in *2023 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)*, 28 Nov.-1 Dec. 2023 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/TALE56641.2023.10398321.

[50] T. Hitron, Y. Orlev, I. Wald, A. Shamir, H. Erel, and O. Zuckerman, "Can children understand machine learning concepts? The effect of uncovering black boxes," in *Proceedings of the 2019 CHI conference on human factors in computing systems*, 2019, pp. 1-11.

[51] S. Ali *et al.*, "Children as creators, thinkers and citizens in an AI-driven future," *Computers and Education: Artificial Intelligence,* vol. 2, p. 100040, 2021/01/01/ 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100040.

[52] N. Pope, J. Kahila, H. Vartiainen, and M. Tedre, "Children's AI Design Platform for Making and Deploying ML-Driven Apps: Design, Testing, and Development," *IEEE Transactions on Learning Technologies,* vol. 18, pp. 130-144, 2025, doi: 10.1109/TLT.2025.3529994.

[53] A. Kolawole, Y. Parvatham, and F. Martin, "ClawAI: A Software Tool Teaching Text Classification and AI Systems to Middle School Students," in *2025 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, 15-15 March 2025 2025, pp. 1-7, doi: 10.1109/ISEC64801.2025.11147299.

[54] T. Toivonen, I. Jormanainen, J. Kahila, M. Tedre, T. Valtonen, and H. Vartiainen, "Co-Designing Machine Learning Apps in K–12 With Primary School Children," in *2020 IEEE 20th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, 6-9 July 2020 2020, pp. 308-310, doi: 10.1109/ICALT49669.2020.00099.

[55] B. Petrov-Valchev, E. Núñez-Vidal, N. Hristov-Kalamov, M. Zapata-Cáceres, and D. Palacios-Alonso, "Deep Neural Tower: A Game to Teach AI Concepts," in *2024 IEEE 4th International Conference on Advanced Learning Technologies on Education & Research (ICALTER)*, 10-12 Dec. 2024 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICALTER65499.2024.10819228.

[56] K. Bissadu and G. Hossain, "Designing a High School Course on Machine Learning for Cyberthreat Analytics," in *2024 IEEE 14th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, 8-10 Jan. 2024 2024, pp. 0214-0219, doi: 10.1109/CCWC60891.2024.10427775.

[57] I. Jormanainen, H. Vartiainen, J. Kahila, and M. Tedre, "Exploring the Dynamics of Scaffolding in K-12 ML/AI Education: Insights from a Machine Learning Workshop," in *2024 IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, 1-4 July 2024 2024, pp. 210-212, doi: 10.1109/ICALT61570.2024.00067.

[58] C. Aguiar, D. Carpenter, J. Vandenberg, W. Min, V. Catete, and B. Mott, "Fostering AI Literacy Through Strategic Play: A Competitive Pathfinding Game for Middle School," in *2025 IEEE Conference on Games (CoG)*, 26-29 Aug. 2025 2025, pp. 1-4, doi: 10.1109/CoG64752.2025.11114117.

[59] F. Ritter and N. Schlomske-Bodenstein, "Fostering Algorithmic Thinking within a Productive-Failure-Based Workshop Utilizing AI," in *2025 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 22-25 April 2025 2025, pp. 1-10, doi: 10.1109/EDUCON62633.2025.11016641.

[60] M. H. Kaspersen, K.-E. K. Bilstrup, M. Van Mechelen, A. Hjort, N. O. Bouvin, and M. G. Petersen, "High school students exploring machine learning and its societal implications: Opportunities and challenges," *International Journal of Child-Computer Interaction,* vol. 34, p. 100539, 2022/12/01/ 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2022.100539.

[61] B. Lišnić, G. Zaharija, and S. Mladenović, "Integration of Artificial Intelligence in K-12: Analysis of a Three-Year Pilot Study," *AI (Switzerland),* Article vol. 6, no. 3, 2025, Art no. 49, doi: 10.3390/ai6030049.

[62] Y. Q. A. Syed, G. Hossain, and S. P. Mohammed, "Introducing Data Visualization to High School Students," in *2024 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, 9-9 March 2024 2024, pp. 1-7, doi: 10.1109/ISEC61299.2024.10664915.

[63] K. Park *et al.*, "Investigating a visual interface for elementary students to formulate AI planning tasks," *Journal of Computer Languages,* vol. 73, p. 101157, 2022/12/01/ 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.cola.2022.101157.

[64] B. Sakulkueakulsuk, S. Witoon, P. Ngarmkajornwiwat, P. Pataranutaporn, W. Surareungchai, and P. Subsoontorn, "Kids making AI: Integrating Machine Learning, Gamification, and Social Context in STEM Education," in *2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, 4-7 Dec. 2018 2018, pp. 1005-1010, doi: 10.1109/TALE.2018.8615249.

[65] H. Vartiainen, M. Tedre, and T. Valtonen, "Learning machine learning with very young children: Who is teaching whom?," *International Journal of Child-Computer Interaction,* vol. 25, p. 100182, 2020/09/01/ 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2020.100182.

[66] I. T. Sanusi, J. O. Omidiora, S. S. Oyelere, H. Vartiainen, J. Suhonen, and M. Tukiainen, "Preparing Middle Schoolers for a Machine Learning-Enabled Future Through Design-Oriented Pedagogy," *IEEE Access,* vol. 11, pp. 39776-39791, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3269025.

[67] G. Shamir and I. Levin, "Teaching machine learning in elementary school," *International Journal of Child-Computer Interaction,* vol. 31, p. 100415, 2022/03/01/ 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100415.

[68] R. M. Martins, C. G. von Wangenheim, M. F. Rauber, J. C. R. Hauck, and M. F. Silvestre, "Teaching Machine Learning to Middle and High School Students from a Low Socio-Economic Status Background," *Informatics in Education,* Article vol. 23, no. 3, pp. 647-678, 2024, doi: 10.15388/infedu.2024.13.

[69] J. Zhu and J. V. Brummelen, "Teaching Students About Conversational AI Using Convo, a Conversational Programming Agent," in *2021 IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC)*, 10-13 Oct. 2021 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/VL/HCC51201.2021.9576290.

[70] C. Cen *et al.*, "User-Centered software design: user interface redesign for Blockly–Electron, artificial intelligence educational software for primary and secondary schools," *Sustainability,* vol. 15, no. 6, 2023.

[71] R. C. Smith, M.-M. Schaper, M. A. Tamashiro, M. Van Mechelen, M. G. Petersen, and O. S. Iversen, "A research agenda for computational empowerment for emerging technology education," *International Journal of Child-Computer Interaction,* vol. 38, p. 100616, 2023/12/01/ 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2023.100616.

[72] A. P. Sampaio, P. C. M. A. Farias, and R. A. Bittencourt, "A Case Study of Using Machine Learning in K-12 Education," in *2023 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 18-21 Oct. 2023 2023, pp. 1-8, doi: 10.1109/FIE58773.2023.10342954.

[73] F. Bellas, S. Guerreiro-Santalla, M. Naya, and R. J. Duro, "AI Curriculum for European High Schools: An Embedded Intelligence Approach," *International Journal of Artificial Intelligence in Education,* Article vol. 33, no. 2, pp. 399-426, 2023, doi: 10.1007/s40593-022-00315-0.

[74] X. Lin *et al.*, "Applying project-based learning in artificial intelligence and marine discipline: An evaluation study on a robotic sailboat platform," *IET Cyber-systems and Robotics,* Article vol. 4, no. 2, pp. 86-96, 2022, doi: 10.1049/csy2.12050.

[75] X. Gong, Y. Wu, Z. Ye, and X. Liu, "Artificial Intelligence Course Design: iSTREAM-based Visual Cognitive Smart Vehicles," in *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 26-30 June 2018 2018, pp. 1731-1735, doi: 10.1109/IVS.2018.8500457.

[76] G. Arastoopour Irgens, H. Vega, I. Adisa, and C. Bailey, "Characterizing children's conceptual knowledge and computational practices in a critical machine learning educational program," *International Journal of Child-Computer Interaction,* vol. 34, p. 100541, 2022/12/01/ 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2022.100541.

[77] H. Yang, D. Zhang, W. Guo, and Y. He, "Constructing a STEM Projects Design Framework for Middle School AI Courses: Developing Students' AI Literacy as Project Goals," *IEEE Access,* vol. 12, pp. 192101-192112, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3512499.

[78] X. Gong *et al.*, "Development of GPU Enhanced AI Education Platforms for K-12 Schools," in *2021 China Automation Congress (CAC)*, 22-24 Oct. 2021 2021, pp. 5662-5666, doi: 10.1109/CAC53003.2021.9727283.
[79] R. Williams, S. Ali, R. Alcantara, T. Burghleh, S. Alghowinem, and C. Breazeal, "Doodlebot: An Educational Robot for Creativity and AI Literacy," in *2024 19th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, 11-14 March 2024 2024, pp. 772-780.
[80] Y. Cai, D. Youngstrom, and W. Zhang, "Exploring Approaches for Teaching Cybersecurity and AI for K-12," in *2023 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*, 1-4 Dec. 2023 2023, pp. 1559-1564, doi: 10.1109/ICDMW60847.2023.00198.
[81] J. R. J. Cruz, "INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA YA LAS REDES NEURONALES CON LOS VEHÍCULOS DE BRAITENBERG (INTRODUCTION TO ROBOTICS AND NEURAL NETWORKS WITH BRAITENBERG VEHICLES)," *Pistas Educativas,* vol. 40, no. 130, 2018.
[82] E. Orozco, P. C. Cárdenas, J. A. López, and C. K. Rodriguez, "Low-cost desktop learning factory to support the teaching of artificial intelligence," *HardwareX,* vol. 18, p. e00528, 2024/06/01/ 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.ohx.2024.e00528.
[83] C. Zhang and Y. Yang, "Research on the Design and Practice of Artificial Intelligence Curriculum for Middle Schools Under the Background of New Curriculum Standard," in *2024 6th International Conference on Computer Science and Technologies in Education (CSTE)*, 19-21 April 2024 2024, pp. 269-274, doi: 10.1109/CSTE62025.2024.00057.
[84] M. Naya-Varela, S. Guerreiro-Santalla, T. Baamonde, and F. Bellas, "Robobo SmartCity: An Autonomous Driving Model for Computational Intelligence Learning Through Educational Robotics," *IEEE Transactions on Learning Technologies,* Article vol. 16, no. 4, pp. 543-559, 2023, doi: 10.1109/TLT.2023.3244604.
[85] H. Lai, P. Peng, Y. Lv, P. Cai, Q. Ma, and Z. Zhang, "The Development of a Collaborative Learning Tool for AI Education: Corobolab," in *2025 14th International Conference on Educational and Information Technology (ICEIT)*, 14-16 March 2025 2025, pp. 96-100, doi: 10.1109/ICEIT64364.2025.10975991.
[86] Y. Song, L. R. Weisberg, S. Zhang, X. Tian, K. E. Boyer, and M. Israel, "A framework for inclusive AI learning design for diverse learners," *Computers and Education: Artificial Intelligence,* vol. 6, p. 100212, 2024/06/01/ 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100212.
[87] J. Su, Y. Zhong, and D. T. K. Ng, "A meta-review of literature on educational approaches for teaching AI at the K-12 levels in the Asia-Pacific region," *Computers and Education: Artificial Intelligence,* vol. 3, p. 100065, 2022/01/01/ 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100065.
[88] K. W. Yau, C. S. Chai, T. K. F. Chiu, H. Meng, I. King, and Y. Yam, "A phenomenographic approach on teacher conceptions of teaching Artificial Intelligence (AI) in K-12 schools," *Education and Information Technologies,* vol. 28, no. 1, pp. 1041-1064, 2023/01/01 2023, doi: 10.1007/s10639-022-11161-x.
[89] S. J. Lee and K. Kwon, "A systematic review of AI education in K-12 classrooms from 2018 to 2023: Topics, strategies, and learning outcomes," *Computers and Education: Artificial Intelligence,* vol. 6, p. 100211, 2024/06/01/ 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100211.
[90] L. Li, F. Yu, and E. Zhang, "A systematic review of learning task design for K-12 AI education: Trends, challenges, and opportunities," *Computers and Education: Artificial Intelligence,* vol. 6, p. 100217, 2024/06/01/ 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100217.
[91] X. Liu and B. Zhong, "A systematic review on how educators teach AI in K-12 education," *Educational Research Review,* vol. 45, p. 100642, 2024/11/01/ 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.edurev.2024.100642.
[92] A. Alam, "A Digital Game based Learning Approach for Effective Curriculum Transaction for Teaching-Learning of Artificial Intelligence and Machine Learning," in *2022 International Conference on Sustainable Computing and Data Communication Systems (ICSCDS)*, 7-9 April 2022 2022, pp. 69-74, doi: 10.1109/ICSCDS53736.2022.9760932.
[93] I. T. Sanusi and S. A. Olaleye, "An Insight into Cultural Competence and Ethics in K-12 Artificial Intelligence Education," in *2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 28-31 March 2022 2022, pp. 790-794, doi: 10.1109/EDUCON52537.2022.9766818.
[94] D. Wu, M. Chen, X. Chen, and X. Liu, "Analyzing K-12 AI education: A large language model study of classroom instruction on learning theories, pedagogy, tools, and AI literacy," *Computers and Education: Artificial Intelligence,* vol. 7, p. 100295, 2024/12/01/ 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100295.
[95] B. Díaz and M. Nussbaum, "Artificial intelligence for teaching and learning in schools: The need for pedagogical intelligence," *Computers & Education,* vol. 217, p. 105071, 2024/08/01/ 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.105071.
[96] S. Rizvi, J. Waite, and S. Sentance, "Artificial Intelligence teaching and learning in K-12 from 2019 to 2022: A systematic literature review," *Computers and Education: Artificial Intelligence,* vol. 4, p. 100145, 2023/01/01/ 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100145.
[97] S. S. Oyelere *et al.*, "Artificial Intelligence in African Schools: Towards a Contextualized Approach," in *2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 28-31 March 2022 2022, pp. 1577-1582, doi: 10.1109/EDUCON52537.2022.9766550.
[98] M. Rauber and C. Gresse von Wangenheim, "Assessing the Learning of Machine Learning in K-12: A Ten-Year Systematic Mapping," *Informatics in Education,* vol. 22, 05/28 2022, doi: 10.15388/infedu.2023.11.
[99] A. Veldhuis, P. Y. Lo, S. Kenny, and A. N. Antle, "Critical Artificial Intelligence literacy: A scoping review and framework synthesis," *International Journal of Child-Computer Interaction,* vol. 43, p. 100708, 2025/03/01/ 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2024.100708.
[100] C. Adams, P. Pente, G. Lemermeyer, and G. Rockwell, "Ethical principles for artificial intelligence in K-12 education," *Computers and Education: Artificial Intelligence,* vol. 4, p. 100131, 2023/01/01/ 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100131.
[101] B. Zhong and X. Liu, "Evaluating AI literacy of secondary students: Framework and scale development," *Computers & Education,* vol. 227, p. 105230, 2025/04/01/ 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.105230.
[102] I. T. Sanusi, S. A. Olaleye, S. S. Oyelere, and R. A. Dixon, "Investigating learners' competencies for artificial intelligence education in an African K-12 setting," *Computers and Education Open,* vol. 3, p. 100083, 2022/12/01/ 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeo.2022.100083.

[103] I. T. Sanusi and S. S. Oyelere, "Pedagogies of Machine Learning in K-12 Context," in *2020 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 21-24 Oct. 2020 2020, pp. 1-8, doi: 10.1109/FIE44824.2020.9274129.
[104] Y. J. Kim, G. Kim, and A. Stoiber, "Playful design for AI Literacy: Creating inclusive learning and assessment opportunities," *International Journal of Human-Computer Studies,* vol. 199, p. 103508, 2025/05/01/ 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2025.103508.
[105] I. T. Sanusi, S. S. Oyelere, F. J. Agbo, and J. Suhonen, "Survey of Resources for Introducing Machine Learning in K-12 Context," in *2021 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 13-16 Oct. 2021 2021, pp. 1-9, doi: 10.1109/FIE49875.2021.9637393.
[106] F. Martin, M. Zhuang, and D. Schaefer, "Systematic review of research on artificial intelligence in K-12 education (2017–2022)," *Computers and Education: Artificial Intelligence,* vol. 6, p. 100195, 2024/06/01/ 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100195.
[107] L. S. Marques, C. Gresse Von Wangenheim, and J. C. R. Hauck, "Teaching machine learning in school: A systematic mapping of the state of the art," *Informatics in Education,* Article vol. 19, no. 2, pp. 283-321, 2020, doi: 10.15388/INFEDU.2020.14.
[108] M. Tedre *et al.*, "Teaching Machine Learning in K–12 Classroom: Pedagogical and Technological Trajectories for Artificial Intelligence Education," *IEEE Access,* vol. 9, pp. 110558-110572, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3097962.
[109] R. M. Martins and C. G. von Wangenheim, "Teaching Computing to Middle and High School Students from a Low Socio-Economic Status Background: A Systematic Literature Review," *Informatics in Education,* Article vol. 23, no. 1, pp. 179-222, 2024, doi: 10.15388/infedu.2024.01.
[110] J. Waite, E. Tshukudu, V. Cucuiat, R. Whyte, and S. Sentance, "Towards a Framework for Learning Content Analysis in K-12 AI/ML Education," in *2023 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 18-21 Oct. 2023 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/FIE58773.2023.10343368.
[111] T. K. F. Chiu, Z. Ahmad, M. Ismailov, and I. T. Sanusi, "What are artificial intelligence literacy and competency? A comprehensive framework to support them," *Computers and Education Open,* vol. 6, p. 100171, 2024/06/01/ 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100171.
[112] Google. "Teachable Machine." https://teachablemachine.withgoogle.com/ (accessed March 2025.
[113] D. Lane. "Machine Learning for Kids." IBM Watson. https://machinelearningforkids.co.uk/ (accessed March 2025.
[114] Scratch Foundation / MIT Media Lab. "Scratch + ML Extensions: Face Sensing." https://lab.scratch.mit.edu/face/ (accessed Jan 2026.
[115] IBM. "Open P-TECH: SkillsBuild for Students and Educators." P-TECH. https://www.ptech.org/open-p-tech/ (accessed Dec 2025.
[116] Microsoft. "MagIA Juvenil, Programación e Inteligencia Artificial." https://sway.cloud.microsoft/e5vaHo6CYK2JrhFY?ref=Link (accessed May 2025.
[117] Intel. "AI for Youth." https://www.intel.com/content/www/us/en/corporate/artificial-intelligence/digital-readiness-ai-for-youth.html? (accessed May 2025.
[118] MIT Raise. "Day of AI: Daily curriculum." https://dayofai.org/ (accessed Nov 2025.
[119] M. RAISE. "RAICA Responsible AI For Computational Action." https://raica.mit.edu/ (accessed May 2025.
[120] Code.org. "AI curricula." https://code.org/es/artificial-intelligence#resource-links (accessed March 2025.
[121] Hackidemia LLC. "Cognimates: AI Education Platform." https://hackidemia.github.io/cognimates-website/home/ (accessed Jan 2026.
[122] aiEDU. "aiEDU: The AI Education Project." https://www.aiedu.org/ (accessed Jan 2026).
[123] Google DeepMind Raspberry Pi Foundation. "Experience AI." https://experience-ai.org/en/ (accessed Jan 2026.
[124] STEMpedia. "PictoBlox." https://pictoblox.ai/ (accessed Dec 2025.
[125] AI Singapore. "Learn AI Singapore." https://learn.aisingapore.org/ (accessed Feb 2026).
[126] Guangzhou Center for EdTech. "Guangzhou AI teaching Platform." https://aiedu.gzdjg.edu.cn/home (accessed Dec 2025.
[127] S. L. Wolfram. "Wolfram's Machine Learning." https://www.wolfram.com/language/elementary-introduction/3rd-ed/22-machine-learning.html (accessed Feb 2026.
[128] I. A. f. E. T. ISTE / ASCD. "Artificial Intelligence in Education." https://iste-ascd.org/ai (accessed March 2026).
[129] C. U. o. H. K. J. C. CUHK. "AI For the Future Project." https://cuhkjc-aiforfuture.hk/index.php/en/ai-for-the-future/ (accessed Feb 2026).
[130] MinnaLearn / University of Helsinki. "Elements of AI." https://course.elementsofai.com/ (accessed Feb 2026.
[131] Hong Kong Education City Limited. "EdCity: Secondary Education." https://student.edcity.hk/sec/en/ (accessed Feb 2026.
[132] Hong Kong Education City Limited. "EdCity: Primary Education." https://student.edcity.hk/pri/en/ (accessed Feb 2026.
[133] C. f. C. D. CCTD Aarhus University. "ML-Machine." https://ml-machine.org/ (accessed Jan 2026.
[134] U. F. d. S. C. UFSC / IFSC. "Machine Learning para Todos!" https://cursos.computacaonaescola.ufsc.br/cursos/curso-mlparatodos/ (accessed Feb 2026.
[135] D. Villar Onrubia *et al.*, "Generative Artificial Intelligence in Secondary Education: Uses and perceptions from the perspective of early adopters across five EU Member States," E. C. Joint Research Centre, Ed., ed. Luxenbourg: European Commission, 2025.
[136] AI4K12. "K-12 AI Guidelines: The Five Big Ideas." https://ai4k12.org/ (accessed Octuber 2024, 2024).

Avances metodológicos y conceptuales para el diseño de una plataforma educativa asistida por inteligencia artificial para el aprendizaje matemático de estudiantes sordos

Frank Alexander Parra-Sánchez[1], Henry Omar Sarmiento-Maldonado[1], Carmen Amalia Camacho-Sanabria[2]

1 Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia

2 Instituto Caro Y Cuervo, Bogotá, Colombia

Abstract.
Este trabajo presenta avances metodológicos y conceptuales de una investigación orientada al diseño de una plataforma educativa asistida por inteligencia artificial para apoyar el aprendizaje matemático de estudiantes sordos en Medellín. El estudio parte de la necesidad de articular desarrollos técnicos en inteligencia artificial para lengua de señas con principios pedagógicos, comunicativos, visuales y culturales propios del aprendizaje matemático en población sorda. Metodológicamente, el avance se organiza en torno a dos revisiones sistemáticas orientadas por PRISMA 2020. La primera caracterizó 85 estudios sobre sistemas basados en IA aplicados al reconocimiento, traducción, generación o procesamiento de lenguas de señas, considerando sus dimensiones físicas, algorítmicas y semánticas. La segunda analizó 52 estudios sobre aprendizaje matemático en estudiantes sordos, con el fin de identificar enfoques pedagógicos, estrategias comunicativas, recursos didácticos y principios de diseño. De manera complementaria, se aplicó una encuesta a intérpretes y usuarios de Lengua de Señas Colombiana y se trabajó con una intérprete y un estudiante sordo para recoger percepciones, sentimientos, miedos y necesidades frente a estas tecnologías. Estos insumos orientan la construcción de una base de datos culturalmente pertinente en LSC, integrada por vocabulario matemático, señas, símbolos, representaciones visuales y metadatos técnicos para el diseño posterior del prototipo.

Keywords: Principios de diseño, Inteligencia artificial; Lengua de Señas Colombiana; estudiantes sordos; aprendizaje matemático; plataforma educativa asistida por IA.

1. Introducción

El acceso de los estudiantes sordos a experiencias educativas significativas en matemáticas continúa siendo un desafío para los sistemas escolares, especialmente cuando los recursos digitales no consideran suficientemente sus condiciones lingüísticas, visuales y comunicativas [1]. En muchos contextos, la enseñanza de las matemáticas se apoya en explicaciones orales, textos escritos y representaciones simbólicas que no siempre dialogan con las formas de acceso al conocimiento de quienes tienen la lengua de señas como principal medio de comunicación [2]. Esta situación plantea la necesidad de diseñar ambientes educativos digitales que no sólo presenten contenidos matemáticos, sino que integren formas de interacción accesibles, visuales, personalizadas y culturalmente pertinentes [2, 3].

En este escenario, la inteligencia artificial ofrece posibilidades relevantes para el desarrollo de plataformas educativas más adaptativas e interactivas [3]. Adicionalmente, los avances en reconocimiento de lengua de señas, visión por computador, procesamiento de video, extracción de landmarks, aprendizaje profundo y generación de salidas multimodales han abierto alternativas para mediar la comunicación entre sistemas digitales y usuarios sordos [4-6]. Sin embargo, estos desarrollos técnicos no pueden trasladarse automáticamente al campo educativo. Para que una plataforma asistida por inteligencia artificial sea pertinente en el aprendizaje matemático de estudiantes sordos, es necesario analizar las capacidades y limitaciones de los sistemas actuales, así como su articulación con principios pedagógicos, comunicativos y culturales propios de esta población.

En consecuencia, este artículo presenta avances metodológicos y conceptuales de una investigación orientada a desarrollar una plataforma educativa asistida por inteligencia artificial para apoyar el aprendizaje matemático de estudiantes sordos en Medellín. Para ello, el estudio busca caracterizar sistemas de IA aplicados al reconocimiento, traducción, generación y procesamiento de lenguas de señas; analizar enfoques sobre aprendizaje matemático en estudiantes sordos; diseñar una plataforma que articule criterios técnicos, pedagógicos y participativos, junto con una base de datos culturalmente pertinente en LSC; y evaluar posteriormente su pertinencia, usabilidad y funcionalidad mediante pruebas piloto y retroalimentación de usuarios y expertos. De manera complementaria, el proyecto incorpora el trabajo con una intérprete de lengua de señas y un estudiante sordo, quienes han aportado apreciaciones, sentimientos, miedos y percepciones frente a estas soluciones tecnológicas. A partir de este marco, la investigación se pregunta cómo desarrollar una plataforma asistida por IA que integre criterios técnicos, principios pedagógicos y aportes de usuarios de Lengua de Señas Colombiana para apoyar el aprendizaje matemático de estudiantes sordos.

2. Metodología

La investigación se desarrolla desde el enfoque de Investigación Basada en Diseño (Design-Based Research, DBR), dado que busca diseñar, refinar y evaluar una plataforma educativa asistida por inteligencia artificial para apoyar el aprendizaje matemático de estudiantes sordos en Medellín. Este enfoque, asociado con los design experiments de Brown [7], la ciencia del diseño en educación propuesta por Collins [8] y la perspectiva de The Design-Based Research Collective [9], permite articular análisis teórico, caracterización técnica, prototipado y evaluación progresiva en contextos reales de uso, integrando criterios técnicos con principios pedagógicos, comunicativos y culturales derivados de la interacción con los usuarios.

El proyecto se organiza en cuatro fases: fundamentación técnica, fundamentación educativa y conceptual, diseño del prototipo y evaluación de la plataforma. La primera caracteriza sistemas de IA aplicados al reconocimiento, traducción, generación o procesamiento de lenguas de señas; la segunda analiza enfoques sobre aprendizaje matemático en población sorda; la tercera integra los hallazgos técnicos, pedagógicos y participativos en el diseño del prototipo; y la cuarta contempla pruebas piloto y retroalimentación de usuarios y expertos para valorar su pertinencia, usabilidad y funcionalidad.

El avance presentado se concentra en las dos primeras fases del proyecto y en la construcción inicial de criterios de diseño. Para la fundamentación técnica se desarrolló una revisión sistemática orientada por PRISMA 2020, centrada en estudios sobre lengua de señas con implementación explícita de IA, aprendizaje automático o aprendizaje profundo, caracterizados en tres dimensiones: física, algorítmica y semántica. La fundamentación educativa analizó teorías, enfoques y estrategias sobre aprendizaje matemático en estudiantes sordos. De manera complementaria, se aplicó una encuesta a intérpretes y usuarios de Lengua de Señas Colombiana para recoger apreciaciones, necesidades, miedos y percepciones frente al uso de soluciones tecnológicas asistidas por IA. Estos insumos, junto con los requerimientos técnicos y pedagógicos derivados de las revisiones, orientan la construcción de una base de datos culturalmente pertinente con apoyo de una intérprete de LSC y un estudiante sordo, articulando exigencias computacionales con criterios lingüísticos, culturales y educativos del contexto local.

3. Resultados y avances preliminares para la construcción de principios de diseño

Antes de presentar los resultados, la Tabla 1 sintetiza las fuentes que sustentan los avances del proyecto, organizadas según su aporte técnico, pedagógico y participativo. Esta síntesis evidencia la articulación entre IA y lengua de señas, aprendizaje matemático en estudiantes sordos y validación comunitaria como base para el diseño de la plataforma.

Tabla 1. Síntesis de fuentes y referencias más relevantes para el avance de la tesis

Componente de análisis	Número de documentos analizados	Estudios representativos	Eje de análisis	Finalidad en la investigación
Revisión técnica	85 estudios, caracterizados en tres dimensiones	[10-26]	Sistemas de IA para lengua de señas	Derivar criterios técnicos de entrada, procesamiento y salida.
Revisión pedagógica	98 registros identificados y 52 consolidados	[27-32]	Aprendizaje matemático en estudiantes sordos	Derivar principios pedagógicos, comunicativos y semióticos.
Aportes de actores clave	Dos cuestionarios de percepciones: uno para intérpretes y otro para sordos		Intérpretes y usuarios de lengua de señas	Validar necesidades, barreras y criterios de diseño desde la experiencia de la comunidad sorda.

3.1. Avances de la caracterización técnica de sistemas de IA para lengua de señas

El primer avance corresponde a la caracterización técnica de 85 estudios sobre IA aplicada al reconocimiento, traducción, generación o procesamiento de lenguas de señas. Estos se organizaron en tres matrices: física, algorítmica y semántica, orientadas a analizar datos, modelos, entradas, salidas y mecanismos de procesamiento. Esta organización permite derivar criterios técnicos para el diseño de la plataforma. La Tabla 2 resume las categorías de análisis y la Tabla 3 los principales hallazgos e implicaciones.

Tabla 2. Resumen de las dimensiones y categorías de la revisión técnica

Dimensión	Categorías principales
Física/corpus de datos	Medio físico de captura, tipo de dato original, dispositivos o sensores empleados, participantes/signantes, condiciones de adquisición, datasets utilizados y disponibilidad de los datos.
Algorítmica	Herramientas de preprocesamiento y extracción de características, representación computacional de entrada, arquitecturas de IA/ML/DL, estrategias de entrenamiento, optimización, robustez y métricas de desempeño.
Semántica	Unidad lingüística reconocida, reconocimiento aislado o continuo, vocabulario o número de clases, tipo de salida y mecanismo de construcción de la salida final.

Los resultados técnicos indican que la plataforma debe construirse desde una arquitectura progresiva y modular, iniciando con captura visual mediante cámara convencional, extracción de landmarks y reconocimiento de un vocabulario matemático controlado. Esta ruta reduce la carga computacional y facilita su uso escolar antes de avanzar hacia reconocimiento continuo, traducción o generación de señas. Sin embargo, la transferencia técnica no garantiza pertinencia lingüística ni cultural: la Lengua de Señas Colombiana exige validación con usuarios reales, intérpretes y comunidad sorda local. Por ello, se requiere una base de datos culturalmente pertinente, orientada al entrenamiento computacional y a la representación adecuada del vocabulario matemático en LSC. Finalmente, reconocer una seña no basta para producir aprendizaje matemático; la plataforma debe transformar la clasificación en una respuesta pedagógica con explicaciones, símbolos, ejemplos visuales, apoyos en lengua de señas y orientación del siguiente paso.

3.2. Aportes de intérpretes y usuarios de Lengua de Señas Colombiana

De manera complementaria a las revisiones sistemáticas, se aplicó un cuestionario a usuarios de Lengua de Señas Colombiana, con 21 respuestas válidas, para recoger percepciones sobre el uso de soluciones tecnológicas asistidas por IA en el aprendizaje matemático. Los resultados muestran una valoración favorable de los apoyos visuales, la mediación en LSC, la posibilidad de revisar explicaciones varias veces y la elección flexible del formato de presentación. En particular, el 76,2 % prefiere escoger cómo ver una explicación y el 71,4 % manifiesta disposición a usar una herramienta digital para aprender matemáticas.

Estos hallazgos indican que las dificultades matemáticas no se relacionan sólo con el contenido, sino también con el lenguaje, el contexto de los problemas y la necesidad de mediaciones visuales y señadas. Por ello, la plataforma debe articular LSC, español escrito, símbolos, imágenes, videos, ejemplos paso a paso y retroalimentación accesible. Además, la participación de usuarios de LSC refuerza la necesidad de una base de datos culturalmente pertinente, construida con consentimiento, validación lingüística y criterios de beneficio para la comunidad.

Tabla 3. Principales hallazgos en la revisión técnica

Dimensión	Categorías integradas	Principales hallazgos estadísticos	Breve análisis	Implicaciones para el diseño de la plataforma
Física/corpus de datos	Medio físico de captura, tipo de dato original, datasets, disponibilidad, participantes y condiciones de adquisición.	27 estudios (31,8 %) usan corpus visuales preexistentes; 23 (27,1 %) captura visual directa; 9 (10,6 %) imagen/video sin fuente clara; y 9 (10,6 %) sensores, guantes o wearables. Al agrupar fuentes visuales, 59 estudios (69,4 %) se basan en imagen o video. Además, 43 estudios (50,6 %) usan datasets públicos, mientras 33 (38,8 %) no reportan claramente disponibilidad.	Predominan fuentes visuales y dispositivos convencionales, lo que favorece soluciones transferibles a contextos escolares. Sin embargo, la falta de reporte sobre disponibilidad, participantes y condiciones de captura limita la trazabilidad y comparación entre modelos.	Priorizar captura con cámara, webcam o dispositivo móvil, evitando sensores costosos. La base de datos en LSC debe incluir protocolo de captura, iluminación, encuadre, visibilidad de manos, rostro y cuerpo, diversidad de signantes, repeticiones, consentimiento y metadatos.
Algorítmica	Preprocesamiento, extracción de características, representación de entrada, arquitecturas, técnicas de IA/ML/DL, entrenamiento y métricas.	43 estudios (50,6 %) usan landmarks, keypoints o esqueletos. En cuanto al enfoque, 47 estudios (55,3 %) emplean Deep Learning y 32 (37,6 %) enfoques híbridos. Predominan CNN con 29 estudios (34,1 %), RNN/LSTM/GRU con 15 (17,6 %), transformers/atención/CTC con 13 (15,3 %) e híbridos CNN+RNN/LSTM/GRU con 12 (14,1 %).	La extracción de landmarks reduce la dimensionalidad del video y la carga computacional. El predominio del aprendizaje profundo muestra avances importantes, pero muchos sistemas funcionan como pipelines compuestos, no como modelos únicos.	Implementar una arquitectura modular basada inicialmente en captura visual, extracción de landmarks y reconocimiento de vocabulario matemático controlado. Los modelos secuenciales, contextuales o generativos pueden reservarse para fases posteriores.
Semántica	Unidad lingüística reconocida, reconocimiento aislado o continuo, vocabulario, tipo de salida y mecanismo de construcción final.	28 estudios (32,9 %) trabajan frases, oraciones o gloss; 24 (28,2 %) letras, números o alfabeto; 24 (28,2 %) palabras o signos aislados; y 9 (10,6 %) enfoques mixtos. Además, 64 estudios (75,3 %) se concentran en reconocimiento aislado y 13 (15,3 %) en reconocimiento continuo u oración. En la salida, 37 estudios (43,5 %) producen clase o etiqueta; 19 (22,4 %) avatar, video o pose; 12 texto/palabra/frase; 12 texto con voz/audio; y 5 texto y gloss.	El campo aborda distintos niveles lingüísticos, pero conserva una fuerte presencia de tareas controladas. El reconocimiento aislado es útil para vocabulario matemático inicial, aunque no equivale a comprender lengua de señas ni a traducir explicaciones completas.	Iniciar con signos matemáticos aislados y avanzar gradualmente hacia interacción señada más compleja. La salida debe convertirse en mediación pedagógica: explicación visual, símbolo, ejemplo, apoyo en LSC y orientación del siguiente paso.

3.3. Construcción de una base de datos culturalmente pertinente

A partir de los hallazgos técnicos, pedagógicos y participativos, se inició la construcción de una base de datos culturalmente pertinente en LSC, con el acompañamiento de una intérprete y un estudiante sordo. Esta base de datos se concibe como un componente estratégico del proyecto, porque permite articular los requerimientos técnicos identificados en la revisión de sistemas de IA con los principios pedagógicos derivados de la revisión sobre aprendizaje matemático en población sorda. Su propósito no es únicamente producir datos para entrenar modelos, sino construir un corpus local, validado y útil para el diseño de experiencias matemáticas accesibles.

La base de datos se orienta inicialmente a un vocabulario matemático controlado, compuesto por números, operaciones, figuras geométricas, comandos de navegación, relaciones espaciales y conceptos básicos. Cada registro busca integrar la seña en LSC, la palabra escrita, el símbolo matemático, una representación visual, ejemplos de uso y metadatos técnicos de captura. De este modo, la base de datos responde simultáneamente a necesidades computacionales, como calidad de imagen, encuadre, repetición y etiquetado, y a necesidades pedagógicas, como claridad conceptual, progresión didáctica, desambiguación del lenguaje matemático y validación cultural.

4. Conclusiones sobre requisitos técnicos, pedagógicos y socioculturales para el diseño de la plataforma

Los avances presentados permiten derivar un conjunto inicial de requisitos técnicos, pedagógicos, comunicativos y culturales para el diseño de la plataforma. En términos técnicos, los resultados sugieren una arquitectura modular y progresiva, basada inicialmente en captura visual mediante cámara convencional, extracción de landmarks y reconocimiento de un vocabulario matemático controlado en Lengua de Señas Colombiana. Sin embargo, la plataforma debe ir más allá de clasificar señas: su requerimiento central es transformar el reconocimiento en una mediación matemática accesible, articulando LSC, español escrito, símbolos matemáticos, representaciones visuales, manipulación interactiva y retroalimentación comprensible.

Finalmente, los hallazgos participativos y la construcción de la base de datos muestran que la pertinencia de la plataforma depende de su validación cultural y lingüística. Por ello, el sistema requiere una base de datos local, construida con intérpretes, estudiantes sordos y usuarios de LSC, que incluya vocabulario matemático, variantes de señas, metadatos técnicos, criterios éticos de captura y relaciones entre seña, palabra, símbolo, imagen y ejemplo. En síntesis, la plataforma se proyecta como una solución sociotécnica: técnicamente viable, pedagógicamente orientada y culturalmente pertinente para apoyar el aprendizaje matemático de estudiantes sordos en Medellín.

Tabla 4. Principales hallazgos en la revisión pedagógica para el aprendizaje de las matemáticas en población sorda

Principio de diseño	Hallazgo principal	Enfoque pedagógico/teórico asociado	Implicación para la plataforma
Visualidad matemática estructurada	La pedagogía visual/accesibilidad fue el enfoque más frecuente, con 27 menciones (51,9 %).	Pedagogía visual/accesibilidad; enfoque semiótico-multimodal.	Usar imágenes, diagramas, animaciones, colores y objetos visuales con función conceptual, no como decoración.
Mediación en lengua de señas	La mediación en lengua de señas tuvo 38 menciones (73,1 %).	Enfoque bilingüe-bicultural o cultural-lingüístico, con 18 menciones (34,6 %).	Integrar la LSC como medio de construcción de significado matemático, no como traducción secundaria del texto escrito.
Conexión seña–palabra–símbolo	Fue el principio de diseño más frecuente, con 36 menciones (69,2 %).	Enfoque semiótico/multimodal; enfoque sociocultural-vygotskiano.	Relacionar en cada contenido la seña, la palabra escrita, el símbolo matemático, la representación visual y el ejemplo de uso.
Accesibilidad lingüística y desambiguación	La adaptación/desambiguación del lenguaje matemático tuvo 25 menciones (48,1 %).	Educación inclusiva/diferenciada, con 14 menciones (26,9 %); enfoque lingüístico-discursivo.	Usar instrucciones breves, español claro, glosarios contextualizados, ejemplos visuales y aclaración de términos ambiguos.
Multimodalidad organizada	La representación visual/multimodal tuvo 31 menciones (59,6 %) y los enfoques semióticos/multimodales 11 menciones (21,2 %).	Enfoque semiótico/multimodal; pedagogía visual; DUA/accesibilidad universal.	Coordinar LSC, texto, símbolo, imagen, gesto, animación y acción interactiva sin generar sobrecarga visual o cognitiva.
Manipulación interactiva	Los recursos manipulativos aparecen con 24 menciones (46,2 %) y la manipulación interactiva/concreta con 22 menciones (42,3 %).	Constructivismo/socioconstructivismo; educación matemática realista/contextual; pedagogía corporeizada.	Permitir arrastrar, agrupar, separar, medir, rotar, comparar, clasificar, partir y recomponer objetos matemáticos.
Rutas conceptuales progresivas	Operaciones aritméticas: 21 menciones (40,4 %); geometría: 19 (36,5 %); álgebra, funciones y patrones: 16 (30,8 %).	Enfoques cognitivos/neurocognitivos, con 12 menciones (23,1 %); secuenciación didáctica.	Organizar módulos desde cantidad, número y operaciones hacia geometría, patrones, proporcionalidad y razonamiento algebraico.
Diagnóstico y adaptabilidad	El diagnóstico y la adaptabilidad alcanzaron 18 menciones (34,6 %).	DUA/accesibilidad universal, con 7 menciones (13,5 %); instrucción adaptativa/diferenciada.	Usar IA para identificar si la dificultad está en el concepto, vocabulario, símbolo, representación, procedimiento o enunciado.
Retroalimentación accesible	La retroalimentación accesible tuvo 17 menciones (32,7 %) y la retroalimentación guiada/inmediata 10 menciones (19,2 %).	Educación inclusiva/diferenciada; enfoque cognitivo; DUA/accesibilidad universal.	No limitarse a correcto/incorrecto: explicar errores con apoyos visuales, simbólicos, señados y sugerencias de siguiente paso.
Contextualización cultural y participación	El trabajo colaborativo tuvo 26,9 %, la contextualización de problemas 17,3 % y la construcción/negociación de signos 13,5 %.	Enfoques críticos/contextuales, con 8 menciones (15,4 %); enfoque sociocultural-vygotskiano, con 8 menciones (15,4 %).	Validar actividades, vocabulario y banco de señas matemáticas con intérpretes, estudiantes sordos y comunidad sorda local.

Tabla 5. Síntesis de resultados del cuestionario

Eje analizado	Resultado porcentual	Interpretación	Requerimiento de diseño
Apoyos visuales y explicación paso a paso	El 61,9 % considera que comprende mejor con dibujos, imágenes, colores, videos o ejemplos paso a paso; el 28,6 % lo valora de forma condicionada.	La visualidad es un apoyo central, aunque su efectividad depende de una presentación clara y organizada.	Incorporar imágenes, videos, colores, esquemas y ejemplos secuenciados, evitando sobrecarga visual.
Mediación en LSC	El 66,7 % considera que la Lengua de Señas Colombiana ayuda a comprender temas matemáticos difíciles.	La LSC es clave para la comprensión, pero debe articularse con símbolos, imágenes y explicaciones conceptuales.	Integrar señas validadas con palabra escrita, símbolo matemático, representación visual y ejemplo de uso.
Revisión repetida de explicaciones	El 71,4 % valora poder mirar varias veces una misma explicación.	La posibilidad de pausar, repetir y revisar favorece la autonomía y la comprensión gradual.	Incluir explicaciones pausables, reutilizables y organizadas por pasos.
Dificultades matemáticas	El 52,4 % reconoce dificultades en algunos temas matemáticos y el 28,6 % señala que depende del tema o de la forma de explicación.	Las barreras no son sólo conceptuales, sino también lingüísticas, visuales y contextuales.	Incorporar desambiguación del lenguaje matemático, ejemplos visuales y apoyos en LSC.
Uso de herramienta digital	El 71,4 % manifiesta disposición favorable a usar una herramienta en celular, tableta o computador.	Existe apertura hacia una solución tecnológica, siempre que sea accesible y fácil de usar.	Diseñar una plataforma compatible con dispositivos comunes y con navegación visual sencilla.
Elección del formato de explicación	El 76,2 % prefiere poder escoger cómo ver una explicación.	La flexibilidad en la presentación del contenido aparece como una necesidad relevante.	Permitir rutas de acceso alternativas: LSC, texto breve, imagen, video, ejemplos y actividades interactivas.
Retroalimentación del error	El 42,9 % valora que la herramienta explique por qué una respuesta está mal, mientras el 28,6 % lo acepta de forma condicionada.	La retroalimentación es pertinente, pero debe ser clara, gradual y no punitiva.	Explicar errores con apoyos visuales, simbólicos y señados, orientando el siguiente paso del estudiante.
Participación previa en investigaciones	El 52,4 % indicó no haber participado antes en actividades donde se recogiera su opinión.	La consulta a usuarios de LSC constituye un aporte relevante para el diseño situado.	Mantener procesos participativos de validación con estudiantes sordos, intérpretes y comunidad sorda.
Preocupación ética por el uso de ideas, señas o videos	El 38,1 % expresa preocupación por el uso de sus ideas, señas, videos o respuestas; el 9,5 % lo considera dependiente de las condiciones de uso.	Aunque no es mayoritaria, la preocupación ética es significativa y debe atenderse explícitamente.	Definir consentimiento informado, trazabilidad de datos, uso transparente y beneficios para la comunidad.

Principales referencias

[1] L. Peluso and A. C. B. Lodi, "La experiencia visual de los sordos. Consideraciones políticas, lingüísticas y epistemológicas," (in Spanish), *Pro-Posições,* vol. 26, no. 3, pp. 59-81, 2015, doi: 10.1590/0103-7307201507803.

[2] A. Coy, P. S. Mohammed, and P. Skerrit, "Inclusive Deaf Education Enabled by Artificial Intelligence: The Path to a Solution," *International Journal of Artificial Intelligence in Education,* Article vol. 35, no. 1, pp. 96-134, 2025, doi: 10.1007/s40593-024-00419-9.

[3] A. Saborío-Taylor and G. Rojas-Ramírez, "Universal design for learning and artificial intelligence in the digital era: Fostering inclusion and autonomous learning," *International Journal of Professional Development, Learners and Learning,* vol. 6, no. 2, p. ep2408, 2024, doi: 10.30935/ijpdll/14694.

[4] B. A. Al Abdullah, G. A. Amoudi, and H. S. Alghamdi, "Advancements in Sign Language Recognition: A Comprehensive Review and Future Prospects," *IEEE Access,* Article vol. 12, pp. 128871-128895, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3457692.

[5] K. A. Shams *et al.*, "MultiModal Ensemble Approach Leveraging Spatial, Skeletal, and Edge Features for Enhanced Bangla Sign Language Recognition," *IEEE Access,* vol. 12, pp. 83638-83657, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3410837.

[6] M. Toshpulatov, W. Lee, J. Jun, and S. Lee, "Deep learning pathways for automatic sign language processing," *Pattern Recognition,* vol. 164, p. 111475, 2025/08/01/ 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.patcog.2025.111475.

[7] A. L. Brown, "Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings," *Educational Researcher,* vol. 21, no. 1, pp. 9-16, 1992, doi: 10.3102/0013189X021001009.

[8] A. Collins, D. Joseph, and K. Bielaczyc, "Design Research: Theoretical and Methodological Issues," *Journal of the Learning Sciences,* vol. 13, no. 1, pp. 15-42, 2004, doi: 10.1207/s15327809jls1301_2.

[9] "Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry," *Educational Researcher,* vol. 32, no. 1, pp. 5-8, 2003/01/01 2003, doi: 10.3102/0013189X032001005.

[10] D. Bragg *et al.*, "The FATE Landscape of Sign Language AI Datasets: An Interdisciplinary Perspective," *ACM Transactions on Accessible Computing,* Article vol. 14, no. 2, 2021, Art no. 7, doi: 10.1145/3436996.

[11] B. A. Al-Mohimeed, H. O. Al-Harbi, G. S. Al-Dubayan, and A. A. Al-Shargabi, "Dynamic Sign Language Recognition Based on Real-Time Videos," *International journal of online and biomedical engineering,* Article vol. 18, no. 1, pp. 4-14, 2022, doi: 10.3991/ijoe.v18i01.27581.

[12] A. Calado, P. Roselli, V. Errico, N. Magrofuoco, J. Vanderdonckt, and G. Saggio, "A Geometric Model-Based Approach to Hand Gesture Recognition," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems,* Article vol. 52, no. 10, pp. 6151-6161, 2022, doi: 10.1109/TSMC.2021.3138589.

[13] B. Hdioud and M. El Haj Tirari, "A Deep Learning based Approach for Recognition of Arabic Sign Language Letters," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications,* Article vol. 14, no. 4, pp. 424-429, 2023, doi: 10.14569/IJACSA.2023.0140447.

[14] M. J. Suárez, J. S. González, J. D. González, and S. A. Rojas, "Fortalecimiento de canales de comunicación para personas con discapacidad fono-auditiva en ambientes de educación básica mediante captura de movimientos usando lenguajes de señas," (in Español), *Ingeniería y Competitividad,* vol. 25, no. 1, pp. 1-14, 2023.

[15] H. J. Kim and S. W. Baek, "Application of Wearable Gloves for Assisted Learning of Sign Language Using Artificial Neural Networks," *Processes,* Article vol. 11, no. 4, 2023, Art no. 1065, doi: 10.3390/pr11041065.

[16] D. Pal, A. Kumar, V. Kumar, S. Basangar, and P. Tomar, "Development of an OTDR-Based Hand Glove Optical Sensor for Sign Language Prediction," *IEEE Sensors Journal,* vol. 24, no. 3, pp. 2807-2814, 2024, doi: 10.1109/JSEN.2023.3339963.

[17] R. Sreemathy, M. P. Turuk, S. Chaudhary, K. Lavate, A. Ushire, and S. Khurana, "Continuous word level sign language recognition using an expert system based on machine learning," *International Journal of Cognitive Computing in Engineering,* Article vol. 4, pp. 170-178, 2023, doi: 10.1016/j.ijcce.2023.04.002.

[18] A. Bassiouny, A. H. Elsayed, Z. Falomir, and A. P. del Pobil, "UJI-Butler: A Symbolic/Non-symbolic Robotic System that Learns Through Multi-modal Interaction," *International Journal of Social Robotics,* Article 2025, doi: 10.1007/s12369-025-01234-5.

[19] N. Shahin and L. Ismail, "From rule-based models to deep learning transformers architectures for natural language processing and sign language translation systems: survey, taxonomy and performance evaluation," *Artificial Intelligence Review,* Article vol. 57, no. 10, 2024, Art no. 271, doi: 10.1007/s10462-024-10895-z.

[20] K. Banerjee *et al.*, "A review on Artificial Intelligence based Sign Language Recognition Techniques," in *2022 5th International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, 14-16 Dec. 2022 2022, pp. 2195-2201, doi: 10.1109/IC3I56241.2022.10073186.

[21] P. V. Subedar, B. Nitish, C. A. Kumar, M. Mohammad, and M. A. Jabbar, "Advanced Video Classification for Sign Language Translation Using CNN-LSTM," in *2025 International Conference on Computing Technologies & Data Communication (ICCTDC)*, 4-5 July 2025 2025, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICCTDC64446.2025.11159037.

[22] S. Amutha, N. Shanmukh, A. V. S. R. P. Naidu, P. V. Kumar, and G. S. S. Narayana, "Real-Time Sign Language Recognition using a Multimodal Deep Learning Approach," in *2023 International Conference on Advances in Computing, Communication and Applied Informatics (ACCAI)*, 25-26 May 2023 2023, pp. 1-8, doi: 10.1109/ACCAI58221.2023.10199569.

[23] V. Kouvakis, S. E. Trevlakis, and A. A. A. Boulogeorgos, "Semantic Communications for Image-Based Sign Language Transmission," *IEEE Open Journal of the Communications Society,* Article vol. 5, pp. 1088-1100, 2024, doi: 10.1109/OJCOMS.2024.3360191.

[24] B. Liang, N. Li, G. Li, J. Huang, Z. Yu, and X. Zhao, "Sensing Technologies for Hand Gesture Recognition in Human–Robot Interaction: A Review," *IEEE Sensors Journal,* vol. 26, no. 2, pp. 1501-1519, 2026, doi: 10.1109/JSEN.2025.3635622.

[25] B. Jin, X. Ma, B. Hu, Z. Zhang, Z. Lian, and B. Wang, "Gesture-mmWAVE: Compact and Accurate Millimeter-Wave Radar-Based Dynamic Gesture Recognition for Embedded Devices," *IEEE Transactions on Human-Machine Systems,* vol. 54, no. 3, pp. 337-347, 2024, doi: 10.1109/THMS.2024.3385124.

[26] O. L. León Corredor and D. I. Calderón, "Bilingualism of Colombian Deaf Children in the Teaching-Learning of Mathematics in the First Year of Elementary School," *Colombian Applied Linguistics Journal,* vol. 12, pp. 9-24, 2010.

[27] N. Gürefe, "The Role of Gestures in Mathematical Discourse of Hard-Hearing Students: Prism Example," *Acta Didactica Napocensia,* vol. 11, no. 3-4, pp. 125-140, 2018, doi: 10.24193/adn.11.3-4.10.

[28] S. Ariapooran, "Mathematics Motivation, Anxiety, and Performance in Female Deaf/Hard-of-Hearing and Hearing Students," *Communication Disorders Quarterly,* vol. 38, no. 3, pp. 172-178, 2017/05/01 2016, doi: 10.1177/1525740116681271.

[29] E. Ediyanto, L. Liesdiawati, A. Sunandar, and W. D. Hastuti, "Changes in Numeracy Skills of Deaf Students at Malang Special Primary School in Mathematics Learning using Ice Cream Stick Media," *Pegem Journal of Education and Instruction,* vol. 13, no. 4, pp. 19-24, 2023, doi: 10.47750/pegegog.13.04.03.

[30] A. Tanrıdiler, "Teaching Mathematics to Students with Hearing Loss Using Instructional Materials," *World Journal of Education,* vol. 14, no. 1, pp. 23-42, 2024/02/25 2024, doi: 10.5430/wje.v14n1p23.

[31] F. Ribeiro, J. R. Rato, R. Leonardo, and A. Mineiro, "Early numerical cognition in deaf and hearing children: Closer than expected?," (in Inglés), *Interdisciplinaria,* vol. 39, no. 2, pp. 119-133, 2022.

[32] M. A. de Souza and F. A. Borges, "Didactic Relations and Didactic Contracts in the Assessment of Mathematics Learning in Deaf Students," *Revista Internacional de Pesquisa em Educação Matemática,* vol. 14, no. 5, pp. 1-18, 2024.

Gestión Curricular en Educación Superior: Análisis de Enfoques y Problemáticas mediante revisión documental.

Aixa Eileen Villamizar Jaimes[1], Adriana Xiomara Reyes Gamboa[2] y Dario Enrique Soto Durán[3]

[1] Tecnológico de Antioquia y Politécnico Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia

[2] Politécnico Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia

[3] Tecnológico de Antioquia, Medellín, Colombia
lncs@springer.com

Resumen. La gestión curricular se ha consolidado como uno de los procesos estratégicos dentro de las instituciones de educación superior debido a su relación con la calidad académica, la pertinencia de los programas y la capacidad de adaptación frente a cambios del entorno educativo y profesional. No obstante, diferentes investigaciones recientes evidencian que los procesos curriculares continúan desarrollándose mediante estructuras poco articuladas, con dificultades asociadas a la coordinación institucional, la actualización de programas y la integración de mecanismos de evaluación y seguimiento. El presente trabajo recoge los avances obtenidos en una investigación doctoral centrada en el estudio de la gestión curricular en instituciones de educación superior. En esta etapa, el análisis se enfocó principalmente en dos aspectos: la caracterización de los procesos curriculares y la revisión de enfoques y modelos utilizados en distintos contextos universitarios. Para ello, se realizó una revisión documental de artículos científicos publicados entre 2010 y 2025, consultados en bases de datos académicas como Scopus, Scielo, Dialnet, EBSCO y Google Académico. A partir de los documentos revisados fue posible identificar situaciones que aparecen con frecuencia en diferentes instituciones de educación superior. Una de las más recurrentes tiene que ver con las dificultades para integrar de manera adecuada a los distintos actores que participan en los procesos curriculares. También se encontraron limitaciones relacionadas con la organización de algunos procedimientos y con la ausencia de espacios permanentes para realizar seguimiento y retroalimentación de los programas académicos. Más allá de las problemáticas identificadas, la revisión realizada permitió reunir distintos elementos conceptuales y metodológicos que servirán como punto de partida para las siguientes etapas de la investigación doctoral.

Palabras Clave: Gestión curricular, Educación superior, Revisión documental, Metodologías ágiles, Innovación curricular.

1. Introducción

En los últimos años, la gestión curricular ha venido ocupando un lugar cada vez más importante dentro de las instituciones de educación superior. Esto se relaciona con los cambios que atraviesan los procesos de formación y con las nuevas demandas asociadas a la calidad académica, los procesos de acreditación y la necesidad de responder de manera pertinente a las dinámicas sociales y profesionales. En este contexto, las universidades requieren mecanismos que permitan revisar, actualizar y articular sus programas académicos de manera más dinámica y coherente con las necesidades del entorno [1], [2], [3].

A pesar de ello, diferentes investigaciones continúan señalando dificultades relacionadas con la rigidez de los procesos curriculares, la fragmentación entre unidades académicas y la ausencia de mecanismos permanentes de seguimiento y evaluación. Estas situaciones afectan la capacidad institucional para responder de manera oportuna a cambios tecnológicos, profesionales y organizacionales [4], [5].

El presente documento corresponde a un avance de investigación derivado de una revisión documental desarrollada en el marco de una investigación doctoral sobre gestión curricular en educación superior. El propósito de este trabajo es presentar los principales hallazgos relacionados con los dos primeros objetivos de investigación: la caracterización de los procesos de gestión curricular y el análisis de enfoques y modelos utilizados en contextos universitarios.

2. Metodología

La investigación se desarrolló mediante una revisión documental de literatura científica relacionada con gestión curricular, innovación educativa y enfoques de adaptación organizacional en educación superior. El proceso de revisión contempló la identificación, selección y análisis de publicaciones indexadas entre 2010 y 2025.

La búsqueda se realizó en bases de datos académicas reconocidas, entre ellas Scopus, Scielo, Dialnet, EBSCO y Google Académico. Como criterios de inclusión se consideraron artículos científicos relacionados con procesos de gestión curricular, actualización curricular, modelos de evaluación y enfoques de innovación aplicados a instituciones de educación superior.

Posteriormente, los documentos seleccionados fueron organizados mediante una matriz de análisis que permitió identificar información relacionada con problemáticas recurrentes, etapas de los procesos curriculares, enfoques metodológicos utilizados y principales aportes reportados por las investigaciones analizadas.

En total, se analizaron 39 artículos científicos provenientes principalmente de América Latina, identificando tendencias relacionadas con evaluación curricular, modelos por competencias, innovación curricular y procesos de mejora continua.

3. Resultados de la revisión documental

3.1. Avances relacionados con el objetivo 1

El análisis documental permitió caracterizar diferentes prácticas asociadas a los procesos de gestión curricular en instituciones de educación superior. Una de las principales tendencias identificadas corresponde a la presencia de estructuras curriculares organizadas mediante fases relacionadas con diagnóstico, diseño, implementación, evaluación y actualización de programas académicos.

Sin embargo, los estudios revisados muestran que estos procesos no siempre se desarrollan de manera integrada. La revisión realizada también permitió identificar dificultades relacionadas con la coordinación entre los diferentes actores institucionales. En varios de los estudios analizados se observa una participación limitada del profesorado en los procesos de actualización curricular, así como debilidades en los mecanismos utilizados para realizar seguimiento y evaluación de los programas académicos [6].

De igual forma, algunos trabajos señalan que ciertos modelos curriculares continúan operando bajo estructuras rígidas, lo que dificulta realizar ajustes de manera oportuna frente a nuevas demandas académicas y profesionales. A esto se suman limitaciones en la articulación entre las políticas institucionales y las prácticas curriculares desarrolladas en cada programa [5], [7].

Otro aspecto identificado durante el análisis documental tiene que ver con la necesidad de fortalecer dinámicas de trabajo colaborativo dentro de la gestión curricular. Diversos estudios coinciden en que las decisiones relacionadas con actualización y rediseño curricular suelen concentrarse en estructuras centralizadas, reduciendo la participación conjunta de docentes, directivos y otros actores vinculados al proceso formativo [7].

En términos generales, los hallazgos obtenidos permiten reconocer oportunidades de mejora relacionadas con la flexibilidad organizacional, la articulación institucional y el fortalecimiento de mecanismos continuos de retroalimentación curricular.

La Tabla 1 resume las principales problemáticas identificadas durante la revisión documental, organizadas según su categoría y frecuencia de aparición en los estudios analizados.

Tabla 1. Principales problemáticas identificadas en la revisión documental

Categoría identificada	Descripción de los hallazgos	Frecuencia observada
Fragmentación de procesos	Procesos curriculares desarrollados de manera desarticulada entre áreas académicas y administrativas	Alta
Rigidez curricular	Dificultad para incorporar ajustes progresivos y responder a cambios del entorno	Alta
Limitada coordinación institucional	Baja integración entre docentes, directivos y unidades académicas	Media-Alta
Débil seguimiento curricular	Ausencia de mecanismos permanentes de evaluación y retroalimentación	Alta
Centralización de decisiones	Procesos de actualización curricular concentrados en pocos actores	Media
Necesidad de flexibilidad organizacional	Interés creciente por estructuras más adaptativas y dinámicas	Alta

Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios revisados.

4. Avances relacionados con el objetivo 2

La revisión documental también permitió examinar distintos enfoques y modelos empleados en la gestión curricular dentro de la educación superior. Una parte importante de los trabajos analizados se concentra en modelos orientados por competencias, propuestas socioformativas y estrategias asociadas al aseguramiento de la calidad académica [8].

Entre los aportes más frecuentes identificados en la literatura se encuentran los mecanismos relacionados con mejora continua, evaluación progresiva de programas y fortalecimiento de procesos de seguimiento curricular. En varios de los trabajos revisados también se hace referencia al uso de herramientas tecnológicas y dinámicas de trabajo colaborativo como apoyo para fortalecer la relación entre los distintos actores que intervienen en los procesos curriculares [9], [7].

Por otro lado, el análisis documental mostró que existe un interés cada vez mayor por enfoques relacionados con flexibilidad organizacional y capacidad de adaptación curricular. Aunque el uso directo de metodologías ágiles dentro de la gestión curricular todavía no es ampliamente desarrollado, distintos autores coinciden en la

necesidad de contar con estructuras menos rígidas y con mayor capacidad para ajustarse a los cambios que enfrenta actualmente la educación superior [10], [11].

En lo relacionado con la Ingeniería de Métodos Situacionales y otros enfoques de adaptación metodológica, la revisión permitió observar que todavía existen pocos estudios aplicados específicamente al ámbito curricular. A pesar de ello, algunos autores plantean la importancia de diseñar mecanismos configurables que puedan ajustarse a las particularidades académicas y organizacionales de cada institución universitaria [12], [13].

De manera general, los resultados obtenidos aportan elementos conceptuales que servirán como base para las siguientes etapas de la investigación, especialmente en aspectos vinculados con adaptación al contexto, coordinación institucional, mejora continua y flexibilidad operativa.

La Tabla 2 presenta los principales enfoques y modelos identificados en la literatura revisada, incluyendo sus características centrales y las limitaciones reportadas en los estudios consultados.

Tabla 2. Principales enfoques identificados en la literatura revisada

Enfoque / Modelo	Características identificadas	Limitaciones encontradas
Modelos por competencias	Orientación hacia resultados de aprendizaje y desempeño profesional	Procesos de actualización lentos
Enfoques socioformativos	Integración entre formación, contexto y resolución de problemas	Limitada articulación institucional
Gestión basada en calidad	Uso de indicadores y mecanismos de evaluación	Predominio de estructuras rígidas
Innovación curricular	Incorporación de tecnologías y nuevas metodologías	Escasa continuidad en procesos
Enfoques adaptativos	Interés por flexibilidad y mejora continua	Aplicación limitada en gestión curricular

Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios revisados.

La Tabla 3 sintetiza los avances alcanzados en relación con cada objetivo de investigación y su aporte al desarrollo de la investigación doctoral.

Tabla 3. Aportes obtenidos a partir de la revisión documental

Objetivo	Avances alcanzados	Aporte a la investigación
Objetivo 1	Caracterización de problemáticas y etapas curriculares	Identificación de necesidades y oportunidades de mejora
Objetivo 2	Análisis de enfoques y modelos existentes	Reconocimiento de elementos

Objetivo	Avances alcanzados	Aporte a la investigación
		metodológicos adaptables
Integración conceptual	Relación entre flexibilidad, adaptación y mejora continua	Base conceptual para futuras fases de diseño

Fuente: Elaboración propia.

5. Discusión

Los hallazgos encontrados permiten observar que la gestión curricular sigue representando un reto importante para muchas instituciones de educación superior. Aunque se identifican avances relacionados con evaluación y actualización curricular, todavía persisten dificultades asociadas a la organización de procesos, la articulación entre actores institucionales y la capacidad de respuesta frente a escenarios cambiantes.

La revisión realizada también evidenció que una parte considerable de las investigaciones se concentra en enfoques por competencias y en modelos de evaluación curricular. En comparación con ello, siguen siendo menos frecuentes los estudios orientados al desarrollo de propuestas flexibles y adaptativas aplicadas específicamente a la gestión curricular. Además, varios estudios coinciden en la necesidad de fortalecer mecanismos de colaboración y retroalimentación continua dentro de los procesos curriculares, especialmente en aspectos relacionados con seguimiento institucional, participación de actores y actualización progresiva de programas académicos. Esto sugiere la importancia de avanzar hacia enfoques que permitan integrar actualización progresiva, coordinación institucional y adaptación organizacional dentro de una misma estructura metodológica [5], [11].

En este sentido, los hallazgos obtenidos constituyen una base conceptual relevante para las siguientes fases de la investigación doctoral, particularmente en el desarrollo de mecanismos orientados a fortalecer la flexibilidad y capacidad de adaptación de los procesos curriculares.

La Fig. 1 ilustra la relación entre los objetivos desarrollados en esta etapa y las fases futuras de la investigación doctoral.

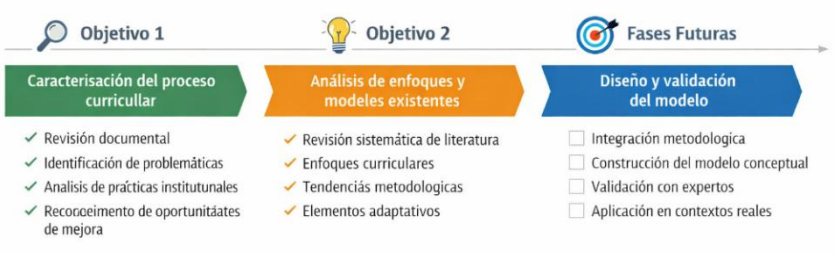


Fig. 1. Relación entre objetivos desarrollados y fases futuras de la investigación.

6. Conclusiones

La revisión documental desarrollada permitió identificar problemáticas recurrentes asociadas a la gestión curricular en educación superior, especialmente en aspectos relacionados con coordinación institucional, evaluación continua y capacidad de adaptación frente a cambios del entorno.

En relación con el primer objetivo de investigación, fue posible caracterizar diferentes etapas y prácticas presentes en los procesos curriculares, así como reconocer limitaciones asociadas a fragmentación y rigidez operativa.

Respecto al segundo objetivo, el análisis de enfoques y modelos existentes permitió identificar tendencias relacionadas con mejora continua, evaluación curricular y necesidad de estructuras más flexibles para la gestión académica.

Los resultados obtenidos representan un avance conceptual importante para el desarrollo de la investigación doctoral, ya que permiten establecer fundamentos teóricos y metodológicos que servirán de base para futuras etapas relacionadas con el diseño y validación de una propuesta metodológica adaptable para educación superior.

Referencias

1. UNESCO, *Reimagining Our Futures Together: A New Social Contract for Education*. Paris, France: UNESCO Publishing, 2022.

2. OECD, *What Students Learn Matters: Towards a 21st Century Curriculum*. Paris, France: OECD Publishing, 2020.

3. J. Stabback, “What Makes a Quality Curriculum?,” *UNESCO IBE, Current and Critical Issues in Curriculum, Learning and Assessment*, no. 2, Geneva, Switzerland, 2016.

4. P. Barnett and K. Coate, *Engaging the Curriculum in Higher Education*. Berkshire, UK: Open University Press, 2005.

5. M. Fullan, *The New Meaning of Educational Change*, 5th ed. New York, NY, USA: Teachers College Press, 2015.

6. A. Crespo Cabuto, S. V. Mortis Lozoya, and S. R. Herrera Meza, “Gestión curricular holística en el modelo por competencias: un estudio exploratorio,” *Formación Universitaria*, vol. 14, no. 4, pp. 3–14, 2021.

7. A. Hargreaves and M. Fullan, *Professional Capital: Transforming Teaching in Every School*. New York, NY, USA: Teachers College Press, 2012.

8. S. Tobón, *Formación integral y competencias: Pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación*, 4th ed. Bogotá, Colombia: ECOE Ediciones, 2013.

9. A. R. Pinto Santos and A. Pérez Garcias, “Gestión curricular y desarrollo de la competencia digital docente en la formación inicial del profesorado,” *Revista de Educación a Distancia*, vol. 22, no. 70, 2022.

10. J. M. Mora, “La innovación curricular en la educación superior,” *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, vol. 5, no. 13, pp. 25–39, 2014.

11. Y. Doz and M. Kosonen, “Embedding strategic agility,” *Long Range Planning*, vol. 43, no. 2–3, pp. 370–382, 2010.

12. J. Ralyté, R. Deneckère, and C. Rolland, “Towards a generic model for situational method engineering,” in *Advanced Information Systems Engineering*. Berlin, Germany: Springer, 2003, pp. 95–110.

13. Henderson-Sellers and J. Ralyté, “Situational method engineering: State-of-the-art review,” *Journal of Universal Computer Science*, vol. 16, no. 3, pp. 424–478, 2010.

Diseño de un modelo de realidad virtual para fortalecer empatía y trabajo en equipo en educación superior

José Javier Rodríguez Hoyos[1], Luis Fernando González Alvarán[1] y Oscar Augusto Bedoya Carvajal[2]

[1] Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia

[2] Universidad de Antioquia, Facultad de Enfermería, Medellín, Colombia

jjrodriguezh@elpoli.edu.co, https://orcid.org/0000-0003-1132-5196; lfgonzaleza@elpoli.edu.co, https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-8915-7025; oscar.bedoyac@udea.edu.co, https://orcid.org/0000-0001-6343-8702

Resumen. Este artículo presenta avances teórico-metodológicos y técnicos de una investigación doctoral orientada al diseño de un modelo de realidad virtual inmersiva, para fortalecer la empatía y el trabajo en equipo en estudiantes de educación superior. El estudio es aplicado con enfoque cuantitativo, se fundamenta en el paradigma Design Science Research, mediante el cual se articula la construcción de un artefacto educativo inmersivo. La investigación contempla dos fases: la primera centrada en el diseño, construcción y validación del modelo y de los escenarios inmersivos, y la segunda orientada a la evaluación de sus efectos mediante un diseño cuasi-experimental pretest-postest con grupo comparación en lista de espera. En la fase actual se presentan cinco avances: revisión de literatura, construcción de 20 instrumentos y documentos anexos, especificación de requisitos del sistema bajo el estándar IEE 830, acercamiento al manual técnico basado en IEEE 1016y el inicio del modelado 3D de un escenario inmersivo de triaje para Enfermería. Estos avances consolidan una ruta metodológica técnica y evaluativa para diseñar escenarios inmersivos replicables, verificables y orientados al desarrollo de habilidades socioemocionales en contextos universitario.

Palabras clave: realidad virtual inmersiva; empatía; trabajo en equipo; educación superior; ciencia del diseño; triaje.

1. Introducción

Las habilidades socioemocionales han cobrado cada vez más relevancia en la educación superior, especialmente en programas académicos donde el desempeño profesional depende de la comunicación efectiva, la toma de decisiones, la coordinación con otras personas y la comprensión de necesidades humanas complejas. Entre estas habilidades, la empatía y el trabajo en equipo son el centro de atención no solo por su relevancia en la formación integral, sino también por su incidencia en el desempeño profesional. En diciplinas como Enfermería estas competencias se relaciona con la calidad del cuidado, la comunicación con los pacientes y la coordinación clínica; mientras que en Ingeniería favorecen la resolución colaborativa de problemas, el diseño centrado en usuarios y trabajo interdisciplinario [1]-[3].

A pesar de su relevancia, la formación universitaria normalmente trata estas competencias de forma transversal, implícita o poco sistemática; dificultando la trazabilidad curricular, evaluación y comparación de resultados entre diferentes experiencias formativas.

En este contexto la realidad virtual inmersiva ofrece una alternativa con alto potencial educativo, permitiendo diseñar situaciones simuladas en las que el estudiante debe actuar, decidir, comunicarse y coordinarse dentro de un entorno controlado. Sin embargo, el potencial de esta tecnología no depende únicamente de la disponibilidad del dispositivo o del realismo visual del escenario. Su valor educativo exige una arquitectura metodológica que conecte objetivos formativos, requisitos de usuario, criterios pedagógicos, reglas de interacción, evidencias observables y mecanismos de evaluación [6]-[10].

Con el fin de atender lo anterior, la investigación tiene como objetivo desarrollar un modelo para la construcción de escenarios inmersivos de realidad virtual que integren componentes tecnológicos, de interacción y evaluación, orientados a medir el fortalecimiento de la empatía y el trabajo en equipo en estudiantes de dos universidades de Medellín durante el periodo 2026-2027. El estudio se estructura desde la ciencia del diseño, con énfasis en la construcción iterativa de un artefacto metodológico-tecnológico, y contempla una fase posterior de evaluación empírica mediante un diseño cuasi-experimental pretest-postest con grupo comparación en lista de espera [11].

Este artículo presenta los avances alcanzados a la fecha. En particular, se reportan los resultados obtenidos en la revisión de literatura, la construcción de 20 instrumentos y documentos anexos, la especificación de requisitos del sistema, la identificación de algunos artefactos que sirven como insumo en la construcción del manual técnico del sistema y el inicio del modelado 3D de un escenario inmersivo de triaje para el programa de Enfermería.

2. Bases conceptuales y metodológicas para el diseño del modelo de realidad virtual

2.1. Habilidades socioemocionales en educación superior

Las habilidades socioemocionales son un aspecto importante de la formación universitaria, ya que se convierten en un complemento al saber disciplinar y favorecen una buena interacción en los contextos académicos y profesionales. Estas habilidades incluyen la autorregulación, las distintas formas de comunicación, la toma de decisiones responsables, la empatía y la capacidad de trabajar junto a otras personas. En educación superior su importancia está vinculada a la formación integral, la empleabilidad, el rendimiento académico y la adaptación a los contextos laborales, que se caracterizan por la interdependencia y la mediación tecnológica [1], [2].

En esta investigación, la empatía se define operacionalmente como una disposición multidimensional para comprender y responder ante la experiencia de otras personas. Se medirá mediante el Interpersonal Reactivity Index, que considera dimensiones como toma de perspectiva, fantasía, preocupación empática y malestar personal [4]. Esta operacionalización permite distinguir componentes cognitivos y afectivos, y relacionarlos con situaciones inmersivas que exigen reconocer necesidades, emociones y perspectivas de usuarios o pacientes.

El trabajo en equipo se asume como una competencia asociada con coordinación, comunicación, distribución de roles, responsabilidad compartida e interdependencia positiva. Desde la teoría de la interdependencia social, trabajar en equipo no equivale únicamente a estar con otros, sino a resolver tareas que exigen metas comunes, cooperación y responsabilidad conjunta [5]. En el modelo propuesto, esta competencia se traducirá en reglas de interacción, roles, tareas colaborativas y evidencias observables dentro del escenario inmersivo.

2.2. Realidad virtual inmersiva, empatía y trabajo en equipo

La realidad virtual inmersiva da pie a la creación de situaciones educativas óptimas, debido a su capacidad para dar cuenta de contextos complejos y simular entornos en donde se den interacciones entre las partes, generando una sensación de presencia que puede ser estimulante para el estudiante, favoreciendo su experiencia en dicho escenario [6]. Esto lo convierte en un recurso relevante para la construcción de habilidades socioemocionales, siempre que no se quede en la mera representación visual, sino que a la par incorpore las reglas de interacción, los objetivos formativos y los mecanismos de reflexión.

Respecto a la empatía, seguramente la realidad virtual puede ser utilizada para generar situaciones que favorezcan esa toma de perspectiva, la propia toma de la necesidad, o la toma/aprecio de las situaciones que vive el propio otro. Frente al trabajo en equipo, los escenarios inmersivos pueden diseñarse para que la tarea no pueda resolverse de manera individual, sino a través de la coordinación, la comunicación y la distribución de

labores. En este sentido, el entorno virtual configura un espacio de práctica en el desarrollo de la habilidad socioafectiva a partir de las acciones concretas llevadas a cabo [8]-[10]

Pero, en la literatura también existe una serie de limitaciones en la realidad virtual para la educación. Éstas son la heterogeneidad de los diseños, la carencia de criterios sobre la normalización de los diseños, el uso de muestras pequeñas, la escasa documentación de los procesos de los diseños, la escasa conexión entre objetivos pedagógicos, componentes técnicos y resultados de aprendizaje [7,8,9]. Por esta razón, la creación de escenarios inmersivos destinados a la empatía y al trabajo de grupos necesita de una metodología que establezca la conexión entre intenciones formativas, requisitos y decisiones de diseños, instrumentos, pruebas técnicas y una evaluación de efectos.

2.3. Ciencia del diseño e ingeniería de requisitos

La investigación que sustenta este artículo se apoya en la metodología Design Science Research, dado que su propósito no se limita a observar un fenómeno educativo, sino a diseñar, construir, documentar y evaluar un artefacto tecnológico-pedagógico. Vista desde esta perspectiva, el modelo de realidad virtual está considerado como un artefacto que puede dar respuesta a una determinada problemática formativa: construir entornos inmersivos, replicables, evaluables y verificables, aplicables a la construcción de la empatía y el trabajo en equipo en la educación superior [11].

La ciencia del diseño permite que la organización de un proceso parta de la identificación del problema, definición de objetivos, diseño y desarrollo del artefacto, demostración, evaluación y la comunicación de los resultados. En el presente trabajo, esta lógica se articula con el diseño centrado en el usuario, que exige conocer el contexto de uso, caracterizar a los participantes, definir los requisitos, producir soluciones de diseño y evaluarlas de modo iterativo [12]. Esta articulación en forma de subapartado es pertinente porque no debe perderse de vista que los escenarios inmersivos no son meros productos derivados de una tecnología de la información, sino que son entornos de formas de interacción entre personas, donde se conjugan aspectos pedagógicos, técnicos, éticos y experienciales.

La ingeniería de requisitos se considera un elemento importante de esta investigación. La construcción de la especificación de requisitos del sistema basados en los estándares IEEE 830 ayuda a convertir las necesidades formativas en requisitos, tanto funcionales como no funcionales [13]. Cabe señalar que, a pesar de que IEEE 830 fue complementada por ISO/IEC/IEEE 29148, su estructura sigue siendo válida en muchos casos como marco de referencia organizativo para documentos de especificación de requisitos de software. En lo que respecta a los requisitos funcionales, el ámbito de interés incluye tareas, roles, interacciones, retroalimentación, secuencia de actividades y decisiones de designación de tareas; y en lo que respecta a los requisitos no funcionales, las condiciones de usabilidad, rendimiento, seguridad, accesibilidad, estabilidad y control de los riesgos asociados a la experiencia inmersiva.

De forma complementaria, el inicio del manual técnico del sistema bajo el estándar IEEE 1016 ayuda a describir de forma más clara la arquitectura, componentes, módulos y decisiones de diseño del sistema [14. Esta investigación no se limita al desarrollo de un escenario 3D, sino que ofrece un camino documentado para la creación, verificación, validación y evaluación de un escenario inmersivo en contextos de educación superior.

3. Metodología

3.1. Diseño general de la investigación

La investigación se desarrolla desde un enfoque cuantitativo, de carácter aplicado con la finalidad de diseñar, construir, validar y evaluar un modelo de realidad virtual para el desarrollo de escenarios inmersivos centrados en el fortalecimiento de la empatía y el trabajo en equipo en estudiantes universitarios. La investigación se

enmarca en Design Science Research desde una fundamentación metodológica, ya que el objetivo final de este tipo de investigación consiste precisamente en producir un artefacto de tipo metodológico-tecnológico que atienda a un problema formativo que presenta la educación superior [11].

Desde esta perspectiva, el modelo de realidad virtual se concibe como un artefacto compuesto por elementos pedagógicos, tecnológicos, interactivos y evaluativos. Su construcción implica definir objetivos socioemocionales, requisitos de usuario, criterios de diseño instruccional, componentes técnicos, reglas de interacción, instrumentos de medición, mecanismos de validación y procedimientos de implementación. En consecuencia, el estudio no se limita al desarrollo de un ambiente virtual, sino que busca formalizar una ruta de diseño que permita documentar y verificar cada una de las decisiones asociadas a la construcción del escenario inmersivo.

El diseño se estructura en dos componentes articulados. El primero corresponde al diseño, construcción y validación del modelo y de los escenarios inmersivos mediante la lógica de la ciencia del diseño, el diseño centrado en el usuario y la ingeniería de requisitos. El segundo corresponde a la evaluación empírica de los efectos del uso de los escenarios inmersivos sobre la empatía y el trabajo en equipo, mediante un diseño cuasi-experimental pretest-postest con grupo comparación en lista de espera.

La población prevista estará conformada por 30 estudiantes de Ingeniería Informática del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y 30 estudiantes de Enfermería de la Universidad de Antioquia. La medición de resultados se proyecta mediante el Interpersonal Reactivity Index para empatía y la Escala de Actitudes hacia el Trabajo en Equipo para trabajo en equipo, aplicados en momentos pretest y postest [4]. De forma complementaria, se incorporan registros de implementación, cuestionarios de experiencia XR, checklist de fidelidad, pruebas técnicas y validación por juicio de expertos.

4. Avances preliminares de la investigación

En esta parte se da cuenta de cinco avances clave: Revisión de literatura, construcción de instrumentos y documentos anexos, especificación de requisitos del sistema según IEEE 830, elaboración del manual técnico del sistema bajo IEEE 1016, modelado inicial del escenario inmersivo de triaje.

4.1. Revisión de literatura

La revisión de literatura estaba orientada a examinar la relación existente entre la realidad virtual inmersiva, las habilidades socioemocionales, la empatía, el trabajo en equipo y la educación superior. Esta revisión permitió identificar que la realidad virtual había ganado presencia en contextos formativos porque permite representar situaciones complejas, genera experiencias situadas y facilita que el estudiante interactúe con escenarios simulados [7]-[10].

Igualmente, permitió identificar tres patrones relevantes. En primer lugar, las experiencias de realidad virtual en educación superior son promisorios resultados relacionados con la motivación, la participación y el aprendizaje experiencial, pero los resultados dependen de la calidad del diseño pedagógico y de la interacción facilitada por la aplicación que implemente el sistema de realidad virtual [7]. En segundo lugar, las intervenciones dirigidas a la empatía suelen basarse en la toma de perspectiva, la exposición a las situaciones emocionalmente significativas, así como la reflexión sobre las experiencias alcanzadas [10]. En tercer lugar, las experiencias relacionadas con trabajo en equipo requieren tareas estructuradas que exijan comunicación, coordinación, interdependencia y toma conjunta de decisiones [8], [9].

De manera complementaria, la revisión presentó vacíos metodológicos que justifican la investigación; entre ellos, la heterogeneidad de diseños, la pobre estandarización de los instrumentos, la ausencia de trazabilidad entre los objetivos de la formación y los componentes técnicos, así como la apropiación del informe de las

variables específicas de la experiencia XR, como la presencia, la plausibilidad, la usabilidad, la cibercinetosis, y las incidencias técnicas.

4.2. Construcción de instrumentos y documentos anexos

La generación de 20 instrumentos y documentos anexos sostienen la práctica ética, metodológica, técnica y operativa del proceso de investigación. Estos anexos cumplen una función central en la trazabilidad del proyecto, ya que permiten conectar el diseño del modelo con la gestión de participantes, la medición de variables, la validación del artefacto, la implementación de la experiencia inmersiva y la verificación técnica del sistema.

Estos documentos permiten conectar la gestión ética, la caracterización de participantes, la medición de variables, la experiencia XR, la validación experta, el control de fidelidad, la verificación técnica y la documentación del sistema. Esta organización evita que los instrumentos operen como anexos aislados y los integra a una ruta de diseño, implementación y evaluación del escenario inmersivo. La tabla 1 muestra las categorías de los instrumentos y anexos construidos.

Tabla 1. Categorías de instrumentos y documentos anexos construidos en la investigación.

Categoría	Documentos asociados	Función en el modelo
Gestión ética y participación	Invitación, tamizaje, consentimiento y carta institucional	Garantizar elegibilidad, participación informada y respaldo institucional.
Caracterización y medición	Encuesta de caracterización, IRI y AHTE	Describir la muestra y medir empatía y trabajo en equipo antes y después de la intervención.
Experiencia XR e implementación	Cuestionario XR, registro por sesión, inducción, seguridad, debriefing y guía de facilitación	Estandarizar la experiencia inmersiva y registrar condiciones de aplicación.
Validación y fidelidad	Rúbrica de expertos, guía de valoración y checklist de fidelidad	Valorar pertinencia, coherencia y cumplimiento del protocolo de intervención.
Verificación técnica y versiones	Protocolo de pruebas, bitácora de incidencias y control de versiones	Registrar estabilidad, rendimiento, fallos, ajustes y evolución del artefacto.
Documentación técnica	Manual técnico IEEE 1016 y especificación de requisitos IEEE 830	Documentar arquitectura, requisitos, criterios de calidad y trazabilidad técnica.

La construcción de estos documentos permite reforzar la consistencia metodológica de la investigación, dado que permitirá anticipar fases críticas del estudio e ir documentando de forma estructurada los procedimientos. Por otro lado, contribuye a la replicabilidad, dado que otros autores o instituciones podrían entender qué instrumentos son necesarias para llevar a cabo, validar, así como evaluar un escenario inmersivo de naturaleza socioemocional.

4.3. Especificación de requisitos del sistema bajo IEEE 830

Se ha construido la especificación de requisitos del sistema, bajo estándar IEEE 830. Este documento es uno de los más importantes de la investigación, dado que permite transformar la finalidad educativa del modelo en requisitos funcionales y no funcionales del sistema [13]. Dicho de otro modo, el fortalecimiento de la empatía y el trabajo en equipo,deja de ser expresado solo como una intención pedagógica general y se convierte en condiciones concretas de interacción, navegación, seguridad, feedback y evaluación.

Los requisitos funcionales son aquellos que se vinculan a las acciones que debe potenciar o ejecutar el sistema [13]. Estos permiten identificar elementos clave que ayudan a la navegación del usuario dentro del entorno inmersivo, su interacción con objetos y otros personajes, la asignación de roles, presentación de situaciones desafiantes, secuenciación de tareas, registro de acciones, y retroalimentación recibida y el cierre de la experiencia. Estos aspectos son esenciales, ya que establecen cómo el entorno virtual fomentará comportamientos relacionados con la empatía y la colaboración en equipo.

Por otro lado, los requisitos no funcionales hacen referencia a las condiciones de calidad del sistema [13]. En este proyecto, se consideran aspectos como la usabilidad, la estabilidad, el rendimiento, la seguridad, la accesibilidad, la compatibilidad, la higiene, así como el control de riesgos y la prevención de cualquier malestar que pueda surgir durante la experiencia inmersiva. Estos requisitos son particularmente importantes en entornos de realidad virtual, ya que la calidad técnica puede influir en la experiencia del usuario y, en consecuencia, en la validez de las mediciones posteriores.

Esto facilita comprobar si el sistema cumple con lo esperado antes de pasar a la validación por expertos y a la implementación con estudiantes. En este sentido, el documento SRS funciona como puente entre la teoría pedagógica, el diseño de interacción y la evaluación técnica.

4.4. Construcción del manual técnico del sistema bajo IEEE 1016

El inicio y avance en la construcción del manual técnico del sistema bajo el estándar IEEE 1016 [14], complementa la especificación de requisitos, ya que responde a la descripción y diseño técnico del sistema, arquitectura, componentes, módulos, relaciones internas, decisiones de diseño, etc. Mientras la especificación de requisitos del sistema ayuda a conocer lo que debe hacer el sistema, el manual técnico permite responder cómo se organiza, estructura y documenta la solución desde un punto de vista técnico. De este modo, el escenario inmersivo podrá evaluarse no solo por su apariencia o funcionalidad inmediata, sino también por la calidad de su diseño técnico y su capacidad de reproducción.

4.5. Modelado 3D inicial del escenario inmersivo de triaje

El inicio del modelado de un escenario inmersivo de triaje para el programa de enfermería permite representar un contexto donde predominan la interacción humana, la toma de decisiones, la priorización clínica, la comunicación con los usuarios y la coordinación entre roles; además, las características particulares de la situación de triaje hacen del mismo un escenario adecuado para activar comportamientos que son propios de la propia empatía y del trabajo en equipo.

En el diseño del escenario se toma como referente el manual de la Organización Panamericana de la Salud de la Ciudad de México para la implementación de un sistema de triaje en cuartos de urgencias. [15] Este referente ofrece la posibilidad de definir el entorno virtual a partir de un proceso clínico conocido, ya que evita que la construcción de la realidad se pueda hacer desde hipótesis generales. A partir del manual se puede definir el modelado 3D de las diferentes zonas, el flujo de atención, los roles de los distintos miembros del personal, la recepción de pacientes, la clasificación de prioridades y las decisiones iniciales.

El modelado 3D inicial, que se puede observar en la figura 1, fue desarrollado con Unity y Blender y representa una primera concreción de los ambientes inmersivos; su valor no reside solamente en la visualización del cuarto de urgencias, sino también en la posibilidad de enlazar elementos espaciales, narrativos, clínicos, interactivos y evaluativos; en fases posteriores, el diseño de escenario debe ser puesto a prueba técnica, revisado por expertos, ajustado en cuanto a usabilidad, validado en términos de fidelidad y evaluado empíricamente con estudiantes.

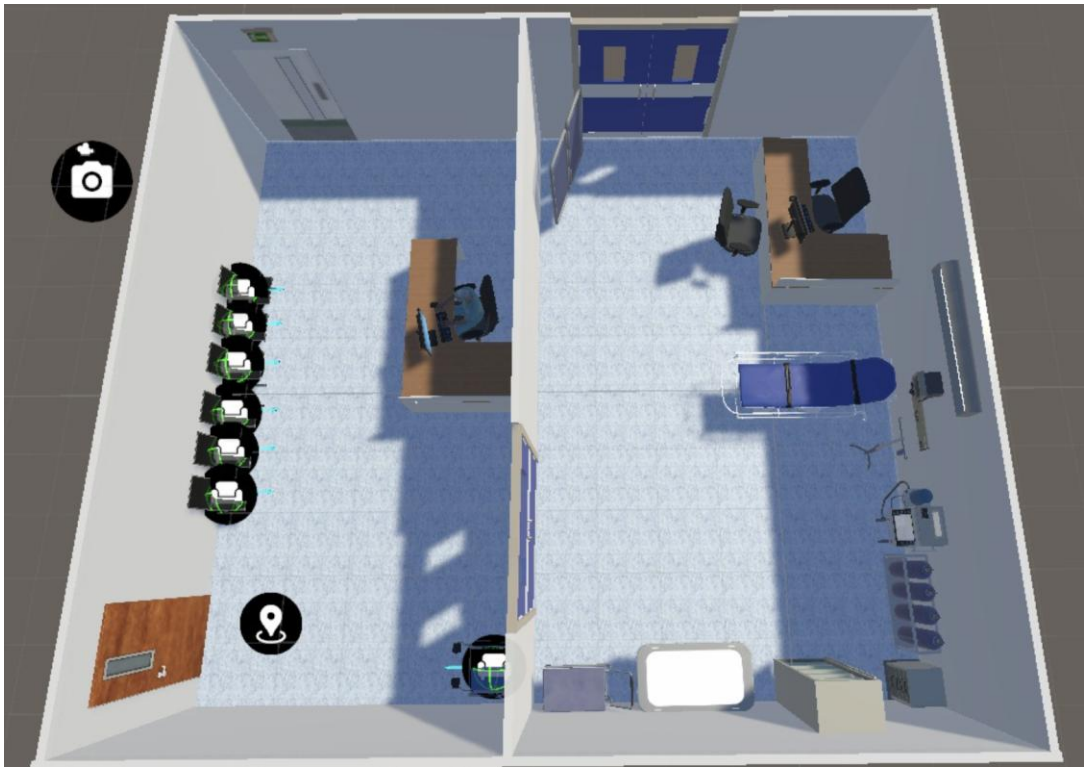


Fig. 1 . Modelado 3D escenario inmersivo de triaje para enfermería

5. Discusión

Los avances reportados deben interpretarse como resultados de diseño preliminar y no como efectos empíricos de intervención. Su principal aporte no consiste únicamente en disponer de documentos o artefactos aislados, sino en proponer una ruta ingenieril para traducir constructos socioemocionales, como empatía y trabajo en equipo, en requisitos funcionales, criterios técnicos, interacciones, evidencias observables e instrumentos de evaluación. Esta orientación responde a vacíos señalados por la literatura reciente sobre realidad virtual educativa: heterogeneidad de diseños, débil documentación del proceso y escasa trazabilidad entre objetivos pedagógicos, interacción y evaluación [7]-[9].

La revisión de literatura permitió confirmar que la RVI puede favorecer experiencias situadas y participativas, pero que su efectividad depende de decisiones pedagógicas e interactivas explícitas. Este hallazgo coincide con Radianti et al. [7], quienes señalan que las aplicaciones de RVI en educación superior requieren mayor atención a elementos de diseño, lecciones aprendidas y agenda investigativa. Asimismo, van der Meer et al. [8] y Paulsen et al. [9] muestran que el aprendizaje colaborativo en RVI no surge automáticamente por la co-presencia en un entorno virtual, sino por tareas diseñadas para exigir coordinación, comunicación e interdependencia. En

consecuencia, el avance del proyecto no se limita a adoptar RVI como recurso tecnológico, sino a construir un modelo que haga explícita la relación entre objetivo socioemocional, tarea inmersiva y evidencia observable.

La construcción de instrumentos y documentos anexos, contrasta con una limitación recurrente de la literatura: la escasa estandarización de procedimientos, medidas y controles en experiencias inmersivas. Frente a este vacío, los anexos desarrollados organizan la gestión ética, el tamizaje, la medición de empatía y trabajo en equipo, la experiencia XR, la implementación, la validación experta, la fidelidad y la verificación técnica. Esta estructura fortalece la comparabilidad futura del estudio, dado que la empatía se medirá con una escala multidimensional reconocida, el Interpersonal Reactivity Index [4], y el trabajo en equipo se operacionaliza desde tareas que exigen interdependencia, coherentes con la teoría de Johnson y Johnson [5]. Además, al incluir variables de experiencia XR, el proyecto atiende la necesidad de considerar presencia y plausibilidad como condiciones que influyen en la respuesta del usuario dentro de entornos inmersivos [6].

La especificación de requisitos del sistema y el avance del manual técnico fortalecen la contribución ingenieril de la investigación. e identificación de algunos constructos técnicos, responde directamente al problema de replicabilidad identificado en la literatura, porque permiten auditar la correspondencia entre requisitos, desarrollo, pruebas e instrumentos; además aportan una diferencia frente a buena parte de las experiencias reportadas en la literatura: convierten el diseño del escenario en un proceso documentado y verificable. Las revisiones recientes sobre RVI y aprendizaje colaborativo insisten en que la falta de criterios de diseño dificulta comparar resultados y replicar intervenciones [7]-[9]. En este estudio, la ingeniería de requisitos permite traducir empatía y trabajo en equipo en funcionalidades, roles, flujos, eventos, criterios de seguridad, mecanismos de retroalimentación y condiciones de desempeño [13]. .

El modelado 3D del escenario de triaje, permite llevar el modelo a un contexto profesional donde la empatía y el trabajo en equipo son exigencias situadas. La literatura sobre intervenciones de VR orientadas a empatía muestra potencial para inducir toma de perspectiva, pero también reporta heterogeneidad en la forma como se operacionaliza la empatía [10]. Por ello, el escenario de triaje no se plantea solo como una representación visual de un cuarto de urgencias, sino como una situación formativa que integra recepción de pacientes, priorización, comunicación, distribución de roles y toma de decisiones. El uso del manual de la Organización Panamericana de la Salud como referente [15] fortalece la pertinencia contextual del escenario y evita que la simulación se construya únicamente desde criterios intuitivos o visuales.

La contribución actual debe formularse como una contribución de diseño: se han construido las condiciones metodológicas y técnicas para una evaluación posterior más rigurosa. Esta delimitación es coherente con Design Science Research, en la medida en que la construcción del artefacto antecede su demostración, evaluación y comunicación de resultados [11].

Los productos obtenidos se alinean con la literatura actual en tres sentidos: responden a la necesidad de diseños pedagógicamente explícitos en RVI [7], [9], atienden la exigencia de tareas colaborativas estructuradas para que el trabajo en equipo sea observable [8], [9], y enfrentan la heterogeneidad de las intervenciones de VR para empatía mediante instrumentos, requisitos y documentación técnica [4], [10], [13], [14].

6. Conclusiones

En este artículo se han presentado los avances en el diseño de un modelo de realidad virtual orientado al fortalecimiento de la empatía y el trabajo en equipo en la educación superior, evidenciando una fase centrada en la formalización conceptual, metodológica y técnica del artefacto.

La revisión de literatura posibilitó identificar vacíos a nivel de trazabilidad, estandarizado y documentación en experiencias de realidad aumentada orientadas al desarrollo de habilidades socioemocionales. La construcción de instrumentos y anexos aportó una estructura para la gestión de participantes, el poner a prueba de variables, validar el artefacto, controlar la implementación de este y documentar la evolución de los aspectos técnicos. La especificación de requisitos e identificación de constructos técnicos han reforzado la dimensión ingenieril del

proyecto al convertir los objetivos formativos en requisitos claros, componentes y decisiones de diseño que pueden ser verificadas. El modelado inicial del escenario de triaje permitió dar los primeros pasos en la creación del modelo dentro de un contexto educativo que solicita comunicación, priorización, comprensión de diferentes perspectivas y coordinación entre los distintos roles involucrados.

Como conclusión fundamental, los progresos indican que el diseño de escenarios inmersivos para desarrollar habilidades socioemocionales necesita una arquitectura metodológica que integre tanto la pedagogía como la ingeniería de requisitos, la documentación técnica, la validación y la evaluación. En este contexto, el verdadero valor del proyecto va más allá de simplemente crear un entorno virtual; se centra en la elaboración de un modelo que sea replicable y verificable, orientado al diseño de experiencias inmersivas en el ámbito de la educación superior.

Referencias

[1] Collaborative for Academic, Social, and Emotional Learning, CASEL's SEL Framework: What Are the Core Competence Areas and Where Are They Promoted?, Chicago, IL, USA: CASEL, 2020.

[2] World Economic Forum, The Future of Jobs Report 2025, Geneva, Switzerland: World Economic Forum, 2025.

[3] ABET, Criteria for Accrediting Engineering Programs, 2025-2026, Baltimore, MD, USA: ABET, 2025.

[4] M. H. Davis, "Measuring individual differences in empathy: Evidence for a multidimensional approach," Journal of Personality and Social Psychology, vol. 44, no. 1, pp. 113-126, 1983, doi: 10.1037/0022-3514.44.1.113.

[5] D. W. Johnson and R. T. Johnson, "Social interdependence theory and cooperative learning: The teacher's role," in The Teacher's Role in Implementing Cooperative Learning in the Classroom, R. M. Gillies, A. Ashman, and J. Terwel, Eds. Boston, MA, USA: Springer, 2008, pp. 9-37, doi: 10.1007/978-0-387-70892-8_1.

[6] M. Slater, "Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments," Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, vol. 364, no. 1535, pp. 3549-3557, 2009, doi: 10.1098/rstb.2009.0138.

[7] J. Radianti, T. A. Majchrzak, J. Fromm, and I. Wohlgenannt, "A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda," Computers & Education, vol. 147, Art. no. 103778, 2020, doi: 10.1016/j.compedu.2019.103778.

[8] N. van der Meer, V. van der Werf, W.-P. Brinkman, and M. Specht, "Virtual reality and collaborative learning: A systematic literature review," Frontiers in Virtual Reality, vol. 4, Art. no. 1159905, 2023, doi: 10.3389/frvir.2023.1159905.

[9] L. Paulsen, S. Dau, and J. Davidsen, "Designing for collaborative learning in immersive virtual reality: A systematic literature review," Virtual Reality, vol. 28, Art. no. 63, 2024, doi: 10.1007/s10055-024-00975-4.

[10] L. Trevena, J. Paay, and R. McDonald, "VR interventions aimed to induce empathy: A scoping review," Virtual Reality, vol. 28, Art. no. 80, 2024, doi: 10.1007/s10055-024-00946-9.

[11] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, and S. Chatterjee, "A Design Science Research Methodology for Information Systems Research," Journal of Management Information Systems, vol. 24, no. 3, pp. 45-77, 2007, doi: 10.2753/MIS0742-1222240302.

[12] International Organization for Standardization, ISO 9241-210:2019 Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems, Geneva, Switzerland: ISO, 2019.

[13] IEEE Computer Society, IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications, IEEE Std 830-1998, New York, NY, USA: IEEE, 1998.

[14] IEEE Computer Society, IEEE Standard for Information Technology — Systems Design — Software Design Descriptions, IEEE Std 1016-2009, New York, NY, USA: IEEE, 2009.

[15] Organización Panamericana de la Salud, Manual para la implementación de un sistema de triaje para los cuartos de urgencias, Washington, DC, USA: OPS, 2011.

Dimensiones estratégicas del modelo de transformación digital aplicado a la educación superior inclusiva en Colombia

Fredy Alonso Vidal Alegría[1], Adriana Xiomara Reyes Gamboa[2], and Darío Enrique Soto Durán[3]

[1] Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Popayán, Colombia

[2] Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia

[3] tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria, Medellín, Colombia

Resumen. La transformación digital y la educación inclusiva se presentan como dos de los principales desafíos para las instituciones de educación superior. En Colombia, aunque se han fortalecido aquellas políticas orientadas a la inclusión y se han incrementado los procesos de digitalización institucional, aún se observan dificultades relacionadas con la articulación entre ambos fenómenos. Las brechas de acceso, permanencia, accesibilidad tecnológica y participación estudiantil revelan la necesidad de construir modelos institucionales que integren la transformación digital con los principios de inclusión educativa. En este contexto, el presente artículo busca identificar y fundamentar las dimensiones estratégicas que podrían orientar la construcción de un modelo de transformación digital aplicado a la educación superior inclusiva colombiana. A nivel metodológico, se desarrolló una revisión documental de carácter exploratorio sustentada en literatura científica reciente, normativa educativa y aportes teóricos relacionados con transformación digital, inclusión educativa y gestión universitaria. Los hallazgos permitieron identificar siete dimensiones estratégicas, frente a las cuales se establece que la transformación digital inclusiva debe comprenderse como un proceso sistémico que trasciende la incorporación de tecnologías y exige cambios organizacionales, pedagógicos y culturales.

Keywords: Transformación digital, educación inclusiva, educación superior, accesibilidad digital, innovación educativa

1. Introducción

La educación superior viene enfrentando un proceso de transformación impulsado por los avances tecnológicos, la digitalización de los procesos institucionales y la creciente necesidad de responder a contextos diversos social, cultural y económicamente. Así, la transformación digital ha ganado un rol estratégico dentro de las instituciones educativas, al convertirse en un mecanismo para fortalecer la gestión académica, administrativa y pedagógica.

Sin embargo, la incorporación de tecnologías en los entornos educativos no garantiza procesos de equidad o inclusión. La experiencia reciente sustentada en la pandemia de Covid-19 evidenció que las desigualdades asociadas a la conectividad, el acceso a dispositivos tecnológicos, las competencias digitales y las condiciones socioeconómicas continúan incidiendo significativamente en amplios sectores de la población estudiantil [3]. Al respecto, la transformación digital requiere ser entendida como un proceso integral que involucra cambios a nivel organizacional, cultural y pedagógico.

Asimismo, la educación inclusiva se ha fundamentado como uno de los principios más relevantes de las políticas educativas actuales. En Colombia, aunque se ven algunos avances normativos relacionados con inclusión educativa, la accesibilidad y la atención a poblaciones diversas, las instituciones de educación superior continúan afrontando dificultades. Esto ha llevado a que muchas iniciativas permanezcan fragmentadas o

dependan de esfuerzos individuales sin una articulación institucional. Ante este escenario surge la necesidad de avanzar hacia modelos de transformación digital capaces de orientar a las instituciones de educación superior en la construcción de entornos formativos más equitativos, accesibles y sostenibles.

El presente artículo constituye un primer acercamiento conceptual derivado del proyecto de investigación denominado Modelo de Transformación Digital Aplicado a la Educación Superior Inclusiva en el Contexto Colombiano, y tiene como propósito identificar las dimensiones estratégicas que podrían orientar la construcción de dicho modelo.

2. Un acercamiento conceptual a la transformación digital e inclusión en la educación superior

La transformación digital se ha convertido en uno de los principales motores de cambio en las instituciones de educación superior durante las últimas dos décadas. Lo que inicialmente fue concebido como un proceso orientado a la incorporación de tecnologías de la información y la comunicación en las actividades formativas y administrativas ha evolucionado hacia un escenario más amplio, que comprende la redefinición de estructuras organizacionales, modelos de gestión, procesos pedagógicos y formas de interacción entre los diferentes actores de la comunidad universitaria.

De esta manera, la transformación digital no puede comprenderse solo como el uso de herramientas tecnológicas o la digitalización de procesos existentes. Esta implica y representa un cambio estratégico que modifica la manera como las instituciones generan valor, gestionan el conocimiento y responden a las demandas de una sociedad cada vez más conectada. De acuerdo con Pedró [12], las universidades enfrentan el desafío de replantear sus modelos tradicionales de funcionamiento para adaptarse a escenarios caracterizados por la innovación permanente, la globalización del conocimiento y la creciente demanda de flexibilidad educativa.

La transformación digital implica una revisión profunda de los procesos institucionales, promoviendo otras maneras de gobernanza, gestión académica, evaluación del aprendizaje y relacionamiento con los estudiantes. Barón y Caicedo [3] plantean que las instituciones de educación superior deben asumir la transformación digital como una estrategia de cambio organizacional integral, capaz de articular dimensiones tecnológicas, humanas y culturales. Así, afirman que muchas universidades han centrado sus esfuerzos en la adquisición de infraestructura tecnológica sin desarrollar, de forma paralela, capacidades institucionales que permitan aprovechar de manera efectiva dichas herramientas.

La literatura actual señala que la transformación digital universitaria debe contemplar aspectos relacionados con la innovación pedagógica, el fortalecimiento de las competencias digitales docentes, la gestión inteligente de datos, la automatización de procesos administrativos y la creación de ecosistemas digitales de aprendizaje. Restrepo y Gómez [13] expresan que el éxito de estos procesos depende de la existencia de una visión institucional compartida que articule liderazgo, cultura organizacional y gestión del cambio, permitiendo que la tecnología se convierta en un medio para alcanzar objetivos educativos y no en un fin en sí mismo.

Por otra parte, la educación inclusiva ha experimentado una evolución conceptual significativa. Aunque tradicionalmente asociada a la atención de personas con discapacidad, actualmente se visualiza como un enfoque orientado al reconocimiento y valoración de la diversidad en todas sus manifestaciones. Desde esta perspectiva, la inclusión requiere garantizar oportunidades equitativas de acceso, participación, aprendizaje y graduación para estudiantes con diferentes características. La UNESCO [11] considera que la inclusión educativa constituye un principio fundamental para el desarrollo de sistemas educativos más justos y democráticos. En consecuencia, las instituciones de educación superior están llamadas a eliminar las barreras que limitan la participación de grupos excluidos.

En Colombia, los avances normativos relacionados con educación inclusiva han permitido fortalecer el reconocimiento de la diversidad como un elemento central de la calidad educativa. No obstante, diversos

estudios evidencian que persisten importantes desafíos asociados con la implementación efectiva. Correa Alzate [6] señala que las personas con discapacidad continúan enfrentando barreras relacionadas con accesibilidad física y digital, disponibilidad de apoyos educativos y garantía efectiva de sus derechos dentro de los entornos universitarios. A estas situaciones se añaden problemas relacionados a estudiantes provenientes de contextos rurales, comunidades indígenas, poblaciones afrodescendientes, víctimas del conflicto armado y grupos en situación de vulnerabilidad socioeconómica.

Pero cabe resaltar que los procesos de digitalización también pueden reproducir o profundizar desigualdades existentes cuando no se desarrollan bajo criterios de accesibilidad y equidad. Echeverría y Almendros [7] plantean que la brecha digital constituye una de las formas más relevantes de exclusión educativa, ya que afecta de manera diferencial a estudiantes que presentan limitaciones de conectividad, acceso a dispositivos tecnológicos o competencias digitales. De este modo, la relación entre transformación digital e inclusión educativa debe abordarse desde una perspectiva sistémica e integrada. No se trata únicamente de digitalizar procesos educativos ni de incorporar tecnologías para grupos específicos, sino de construir ecosistemas universitarios capaces de responder a la diversidad mediante estrategias institucionales articuladas.

Hernández et al. [9] sostienen que las instituciones de educación superior requieren modelos que integren tecnología, accesibilidad, innovación pedagógica, acompañamiento estudiantil y políticas de permanencia como elementos complementarios de una misma estrategia institucional. Frente a esta perspectiva, la inclusión deja de ser una responsabilidad exclusiva de determinadas dependencias universitarias para convertirse en un principio transversal presente en la planeación, la gestión, la docencia, la investigación y la extensión. Así, la transformación digital inclusiva se presenta como un enfoque capaz de articular las potencialidades de la tecnología con los principios de equidad y justicia social que orientan la educación superior contemporánea. Esto lleva a pensar en la necesidad de diseñar modelos institucionales que permitan aprovechar las oportunidades derivadas de la innovación tecnológica sin perder de vista las necesidades, características y condiciones particulares de las poblaciones estudiantiles.

3. Metodología

El presente trabajo corresponde a una investigación documental de carácter exploratorio y descriptivo. La revisión se desarrolló mediante el análisis de literatura científica publicada entre 2015 y 2025 relacionada con transformación digital, educación inclusiva, accesibilidad digital, gobernanza universitaria, innovación educativa y competencias digitales docentes. Igualmente, se revisaron documentos emitidos por organismos internacionales como UNESCO y estudios desarrollados en contextos iberoamericanos y latinoamericanos. La información fue organizada mediante un proceso de categorización temática orientado a identificar elementos recurrentes asociados a la implementación de estrategias de transformación digital inclusiva en instituciones de educación superior. Teniendo como base que el proyecto de investigación se encuentra en fase inicial de desarrollo, los resultados presentados corresponden a una propuesta conceptual preliminar que tendrá que validarse posteriormente mediante su aplicación en los contextos universitarios analizados.

4. Dimensiones estratégicas para un modelo de transformación digital inclusiva

4.1. Gobernanza institucional para la inclusión digital

La gobernanza institucional se presenta como una dimensión estratégica que orienta y articula los procesos de transformación digital inclusiva dentro de las instituciones de educación superior. Más allá de la implementación de herramientas tecnológicas, la transformación digital requiere una visión institucional compartida que posibilite la integración de las decisiones tecnológicas con los objetivos académicos, administrativos y sociales de la universidad. Algunos autores están de acuerdo en que uno de los principales

obstáculos para la consolidación de procesos de transformación digital en las universidades radica en la ausencia de liderazgo estratégico y en la fragmentación de las iniciativas institucionales.

Por su parte, Restrepo y Gómez [13] señalan que muchas instituciones desarrollan proyectos tecnológicos aislados que carecen de articulación con los procesos misionales, lo que limita su impacto y sostenibilidad. De igual manera, Barón y Caicedo [3] expresan que la transformación digital exige una visión sistémica capaz de integrar tecnología, cultura organizacional y gestión institucional, evitando que la digitalización se centre en la adquisición de infraestructura o software. De esta forma, la gobernanza implica incorporar la diversidad y la equidad como principios transversales de la planeación institucional. Esto exige que los planes de desarrollo, las políticas de innovación, los sistemas de aseguramiento de la calidad y los procesos de evaluación institucional contemplen explícitamente acciones orientadas a garantizar la participación de todos los estudiantes.

4.2. Cultura organizacional inclusiva

La cultura organizacional se integra por el conjunto de valores, creencias, prácticas y significados compartidos que orientan el comportamiento de los miembros de una institución. En relación con la transformación digital inclusiva, esta dimensión adquiere una gran importancia debido a que los procesos de innovación tecnológica suelen generar cambios significativos en las dinámicas institucionales y en las formas tradicionales de trabajo, enseñanza y aprendizaje. Pedró [12] sostiene que las universidades enfrentan el desafío de desarrollar culturas organizacionales capaces de responder de manera flexible a contextos caracterizados por la innovación permanente y la rápida evolución tecnológica. No obstante, la adopción de nuevas tecnologías no siempre se acompaña de transformaciones culturales profundas, lo que puede generar resistencia al cambio.

Al respecto, Castro Benavides [5] plantea que la transformación digital en las instituciones de educación superior debe ser una metamorfosis orgánica y estructural que trascienda lo tecnológico para convertirse en un esfuerzo colectivo que sitúe a la persona en el centro del proceso de desarrollo y de su impacto en la sociedad. Desde una visión inclusiva, la cultura organizacional debe promover el reconocimiento de la diversidad como un valor institucional y no como una condición excepcional. Medina et al. [11] plantean que las instituciones de educación superior deben avanzar hacia modelos culturales que favorezcan la participación, el respeto por las diferencias y la eliminación de prácticas discriminatorias. Esto implica generar espacios de sensibilización, formación y reflexión que permitan a docentes, directivos, administrativos y estudiantes comprender la importancia de construir entornos educativos accesibles y equitativos.

4.3. Docencia digital inclusiva

La práctica docente es uno de los escenarios donde la transformación digital genera grandes impactos dentro de las instituciones de educación superior. Los cambios tecnológicos modifican profundamente las formas de enseñar, aprender y evaluar, permitiendo la incorporación de recursos digitales, entornos virtuales de aprendizaje, herramientas de comunicación sincrónica y asincrónica, al igual que nuevas metodologías pedagógicas orientadas a la participación activa de los estudiantes.

De acuerdo con Castro Benavides [5], la transformación digital en las instituciones de educación superior es una metamorfosis orgánica y estructural que sitúa a la persona en el centro del desarrollo, lo que exige que el docente trascienda el uso de herramientas para enfocarse en el impacto social y humano de su labor. En este contexto, el potencial de inclusión depende en gran medida de las competencias pedagógicas y digitales de los docentes. Leiva et al. [10] afirman que la formación docente constituye un factor determinante para el desarrollo de prácticas educativas inclusivas mediadas por tecnología, ya que permite diseñar experiencias de aprendizaje adaptadas a las necesidades de los individuos. Al respecto, la docencia digital inclusiva requiere comprender que los estudiantes presentan diferentes estilos de aprendizaje, niveles de acceso tecnológico, capacidades funcionales y trayectorias educativas. Por lo anterior, el papel del docente se transforma, pasando de ser un

transmisor de contenidos a un facilitador de experiencias de aprendizaje inclusivas, apoyadas en escenarios digitales.

4.4. Accesibilidad tecnológica y entornos digitales

La accesibilidad a la tecnología es de los pilares fundamentales de cualquier modelo de transformación digital inclusiva. Pero a pesar de que las tecnologías ofrecen oportunidades significativas para ampliar el acceso al conocimiento también pueden convertirse en nuevas barreras cuando no son diseñadas ni implementadas bajo criterios de accesibilidad universal. Amadeo [1] afirma que muchas instituciones de educación superior continúan enfrentando dificultades relacionadas con la accesibilidad de plataformas virtuales, recursos educativos digitales y sistemas de información institucional. Esto afecta especialmente a estudiantes con discapacidad, pero también a personas que presentan otras dificultades.

La accesibilidad tecnológica implica garantizar que todas las personas puedan utilizar los recursos digitales de manera autónoma, segura y eficiente. Esto supone incorporar criterios de diseño universal en todos aquellos materiales y mecanismos de aprendizaje. Por esta razón, la transformación digital inclusiva no puede limitarse a la disponibilidad de plataformas tecnológicas, sino que debe contemplar estrategias que permitan reducir las brechas digitales y garantizar condiciones efectivas de participación.

4.5. Analítica educativa para la inclusión

La gran cantidad de información sobre el comportamiento académico y la digitalización implica comprender mejor las necesidades de los estudiantes y diseñar acciones orientadas a fortalecer su permanencia y éxito académico. Así, la analítica educativa puede definirse como el proceso de recopilación, procesamiento e interpretación de datos relacionados con el aprendizaje y la gestión institucional, con el fin de mejorar la toma de decisiones. En el ámbito de la inclusión, esta dimensión permite identificar tempranamente situaciones de riesgo que podrían afectar el desempeño o permanencia de los individuos. Es importante mencionar que el uso de la analítica educativa también plantea desafíos éticos relacionados con la privacidad, la protección de datos y el uso responsable de la información. Por ello, la implementación de esta dimensión debe estar acompañada de políticas institucionales que garanticen la transparencia y el respeto por los derechos de los estudiantes.

4.6. Bienestar, permanencia y acompañamiento estudiantil

La permanencia educativa se presenta como uno de los principales indicadores de calidad y equidad en la educación superior. La deserción no depende exclusivamente del rendimiento estudiantil, sino que está relacionada con múltiples factores de carácter económico, social, emocional, familiar, entre otros. Así, son necesarias estrategias de bienestar y acompañamiento que permitan identificar y atender de forma oportuna las necesidades de los estudiantes. Hernández et al. [8] destacan que las políticas de permanencia constituyen un componente esencial de los procesos de inclusión, especialmente en contextos de desigualdad social.

En este sentido, las tecnologías digitales ofrecen nuevas posibilidades para fortalecer los programas de acompañamiento estudiantil mediante sistemas de alerta temprana, plataformas de orientación, tutorías virtuales y mecanismos de comunicación permanente entre estudiantes y la institución. Estas herramientas ofrecen la posibilidad de ampliar la cobertura de los servicios de apoyo y facilitar la atención de poblaciones que enfrentan dificultades para acceder presencialmente a los programas de bienestar.

4.7. Innovación y mejora continua

La innovación se establece como una condición indispensable para la sostenibilidad de los procesos de transformación digital. Esto precisa que las instituciones desarrollen capacidades para adaptarse de manera

permanente a los cambios del entorno. Pedró [12] señala que las universidades deben consolidarse como organizaciones capaces de aprender, innovar y transformar continuamente sus prácticas para responder a los desafíos contemporáneos. En este contexto, la innovación no solo es la incorporación de nuevas tecnologías, sino la capacidad institucional para generar soluciones creativas a problemas de enseñanza, aprendizaje e inclusión. Por su parte, la mejora continua implica evaluar sistemáticamente los resultados obtenidos, identificar oportunidades de fortalecimiento y motivar dinámicas de aprendizaje organizacional. De esta forma, la innovación y la mejora continua se convierten en elementos que aseguran la sostenibilidad de un modelo de transformación digital inclusiva.

5. Discusión

Los datos teóricos recolectados hasta el momento ofrecen la posibilidad de evidenciar que la transformación digital inclusiva se establece como un fenómeno multidimensional que trasciende los enfoques tradicionales, los cuales se centran en la incorporación de tecnologías y la modernización de la infraestructura institucional. La revisión parcial realizada muestra que, aunque durante los últimos años las instituciones de educación superior han logrado avances en procesos de digitalización, todavía se presentan desafíos relacionados con la articulación entre tecnología, inclusión y equidad educativa. Esta situación resulta particularmente relevante en contextos como el colombiano, donde las desigualdades sociales, económicas y territoriales reducen las oportunidades de acceso, permanencia y graduación estudiantil.

Uno de los principales hallazgos de este estudio es la necesidad de comprender la transformación digital desde una perspectiva sistémica. Los modelos tradicionalmente utilizados en educación superior han privilegiado dimensiones relacionadas con infraestructura tecnológica, conectividad, automatización de procesos administrativos y adopción de herramientas digitales. No obstante, los resultados sugieren que estos elementos son insuficientes para garantizar procesos educativos verdaderamente inclusivos. Esto coincide con lo planteado por Barón y Caicedo [3], quienes afirman que la transformación digital universitaria debe asumirse como un proceso de cambio organizacional integral.

En este contexto, la inclusión de las dimensiones descritas amplía la comprensión tradicional de la transformación digital y permite reconocer que los procesos tecnológicos adquieren sentido únicamente cuando se encuentran alineados con objetivos institucionales orientados a la equidad educativa. Esta situación reafirma la importancia de considerar la gobernanza como un elemento articulador de cualquier estrategia de transformación digital inclusiva. De igual manera, se observa que la cultura organizacional desempeña un papel determinante en los procesos de cambio institucional. Aunque las universidades pueden disponer de plataformas tecnológicas avanzadas y recursos digitales de última generación, la resistencia al cambio, la falta de apropiación tecnológica y la persistencia de prácticas excluyentes pueden limitar su impacto. Con relación a lo planteado por Medina et al. [11], se observa que la construcción de entornos educativos inclusivos requiere transformaciones culturales orientadas al reconocimiento de la diversidad y a la promoción de la participación, la equidad y la justicia social.

Otro aspecto relevante es el papel de la docencia digital inclusiva como base central de la transformación educativa, pues a pesar de que la tecnología ha ampliado las posibilidades de acceso al conocimiento y ha favorecido la creación de nuevos escenarios de aprendizaje, los resultados sugieren que la calidad de las experiencias educativas depende de las capacidades pedagógicas de los docentes. Al respecto, Leiva et al. [10] destacan que las competencias digitales docentes constituyen un factor estratégico para el desarrollo de prácticas educativas inclusivas. En relación a lo anterior, la accesibilidad tecnológica emerge igualmente como una dimensión crítica dentro del modelo propuesto. Aunque las tecnologías digitales suelen presentarse como mecanismos de democratización educativa, estos pueden convertirse en nuevas fuentes de exclusión cuando no se diseñan bajo criterios de accesibilidad universal. En este punto, los planteamientos de Amadeo [1] y Correa Alzate [6] permiten comprender que la inclusión digital no depende únicamente del acceso a dispositivos o conectividad, sino también de la capacidad para garantizar que plataformas, contenidos y servicios puedan ser utilizados por personas diversas.

Los resultados también permiten identificar una relación esencial entre los planteamientos de la educación inclusiva y los enfoques contemporáneos de transformación digital. Mientras la educación inclusiva busca eliminar barreras para garantizar la participación de todos los estudiantes, la transformación digital ofrece herramientas y mecanismos que pueden facilitar dicho propósito. Pero Echeverría y Almendros [7] afirman que las brechas digitales continúan reproduciendo desigualdades cuando las instituciones no desarrollan políticas explícitas orientadas a la equidad. Desde una perspectiva teórica, el principal aporte de este estudio consiste en proponer una aproximación conceptual que integra dimensiones frecuentemente abordadas de manera independiente en la literatura especializada, con el fin de reconocer la interdependencia entre factores tecnológicos, organizacionales, culturales y educativos.

6. Conclusiones

La transformación digital y la educación inclusiva se plantean como dos desafíos interdependientes para las instituciones de educación superior colombianas. Así, la transformación digital no puede reducirse a la incorporación de tecnologías, sino que requiere procesos de cambio organizacional orientados a fortalecer la equidad, la participación y la permanencia estudiantil.

La revisión documental permitió identificar siete dimensiones estratégicas que podrían orientar la construcción de un modelo de transformación digital inclusiva: gobernanza institucional, cultura organizacional inclusiva, docencia digital inclusiva, accesibilidad tecnológica, analítica educativa, bienestar estudiantil e innovación y mejora continua. En este contexto, la inclusión debe asumirse como un eje transversal de la transformación digital universitaria, integrándose a los procesos académicos, administrativos y de gestión institucional.

Considerando que este es un primer acercamiento conceptual, de acuerdo con los avances del proyecto de investigación propuesto, es preciso considerar el desarrollo de acciones que permitan validar empíricamente lo que se plantea de las dimensiones descritas, pero además la construcción de indicadores de evaluación y diseño de instrumentos que permitan su aplicación.

Referencias

1. A. P. Amadeo, “Accesibilidad digital e inclusión en la educación superior: análisis de casos y modelos desarrollados en la Universidad Nacional de La Plata desde la perspectiva informática,” Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata, 2025. [En línea]. Disponible: https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/187059

2. A. M. Avellaneda Barreto, N. A. Barón López, and S. Acevedo Zapata, “Sistematización de una experiencia de transformación digital en procesos de gestión académica de la universidad virtual,” EducAcción Sentipensante, vol. 4, no. 2, 2024.

3. C. Y. Barón Hernández and E. Caicedo Rojas, “Transformación digital, un desafío en la educación superior,” Inventum, vol. 16, no. 31, pp. 78–89, 2021.

4. J. H. Betancourt Cadavid, M. M. Rúa Lavao, L. Soto, and L. Velásquez Caro, “Sobre el Observatorio de Educación Superior Inclusiva (OESI),” Aletheia, Revista de Desarrollo Humano Educativo y Social Contemporáneo, vol. 15, no. 1, 2024.

5. L. M. Castro Benavides, “Transformación Digital en Instituciones de Educación Superior. Modelo de Implementación,” Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia, 2023.

6. J. I. Correa Alzate, “Principio de progresividad y no reversibilidad en educación inclusiva para población con discapacidad en Colombia,” Praxis & Saber, vol. 14, no. 39, 2023.

7. J. Echeverría and L. S. Almendros, “Transformación digital y educación inclusiva,”

8. Revista Institucional UPB, vol. 61, no. 161, pp. 137–153, 2022.

9. G. J. Hernández Blancas, M. R. Bringas Benavides, Z. García Villeda, and E. Meneses Valencia, “Educación superior inclusiva: avances y desafíos en contextos latinoamericanos,” Tesla Revista Científica, vol. 6, no. 1, 2025.

10. J. J. Leiva Olivencia, M. J. Alcalá del Olmo Fernández, J. L. González Sodis, and M. J. Santos Villalba, “Competencia digital docente y usabilidad de las TIC en centros educativos de alta complejidad. Prácticas y oportunidades para una transformación educativa inclusiva,” Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado, vol. 27, no. 3, 2024.

11. M. Medina García, M. L. Higueras Rodríguez, and M. M. García Vita, “Educación superior inclusiva y autonomía pedagógica: análisis en dos contextos iberoamericanos,” Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación, vol. 19, no. 2, 2021.

12. F. Pedró, La transformación de la educación superior. UNESCO, 2023.

13. C. A. Restrepo Carvajal and N. A. Gómez Arenas, “Aproximación a la transformación digital en instituciones de educación superior mediante la teoría del cambio,” Revista En-Contexto, vol. 10, no. 17, 2022.

POSTERS DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Modelo de Machine Learning para la priorización de vulnerabilidad sísmica en edificaciones universitarias mediante inspección visual estructural y validación computacional

Luz Piedad Gallego Osorio[1], Arabella Zapata Escobar[2]

Seminario II

luz_gallego106252@elpoli.edu.co, azapata@elpoli.edu.co

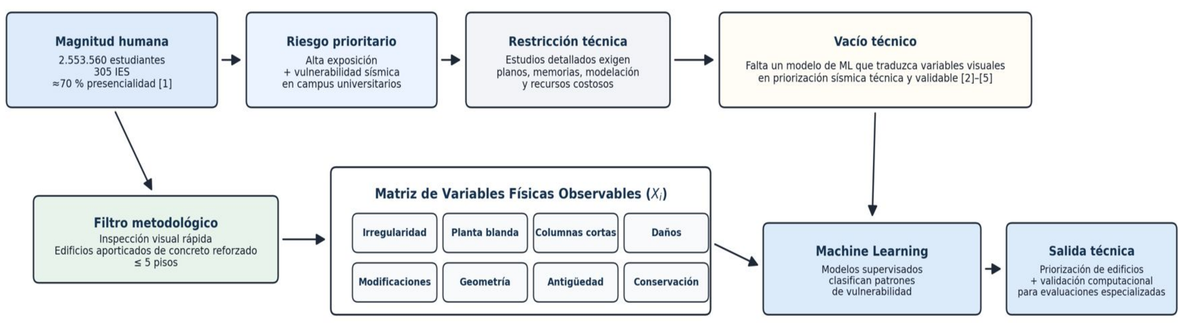
Resumen:

En Colombia, la educación superior registró en 2024 más de 2.553.560 estudiantes en 305 instituciones —87 oficiales y 218 privadas—, con cerca del 70 % de matrícula presencial [1], obligando a priorizar la vulnerabilidad sísmica universitaria. El modelo de Machine Learning aborda edificios aporticados de concreto reforzado de hasta cinco pisos mediante inspección visual, integrando irregularidad estructural, planta blanda, columnas cortas, daños visibles, modificaciones arquitectónicas, configuración geométrica, antigüedad aproximada y estado de conservación. Estas variables alimentan la clasificación, validación computacional y toma de decisiones para evaluaciones especializadas [2]–[5].

Planteamiento del problema:

En Colombia, 2.553.560 estudiantes asistieron en 2024 a 305 instituciones —87 oficiales y 218 privadas—, con cerca del 70 % de matrícula presencial [1]. Esta concentración exige priorizar la vulnerabilidad sísmica universitaria. Los estudios detallados demandan planos, modelación y recursos costosos; la inspección visual permite filtrar edificios aporticados de concreto reforzado de hasta cinco pisos mediante irregularidad estructural, planta blanda, columnas cortas, daños, modificaciones, geometría, antigüedad y conservación. El vacío: falta un modelo de Machine Learning que convierta esas variables en priorización técnica validable [2]–[5].

Figura 1. Ruta conceptual para la priorización de vulnerabilidad sísmica universitaria mediante inspección visual y Machine Learning



Fuente: Elaboración propia con base en datos del SNIES [1], metodologías de inspección visual y evaluación sísmica de edificaciones existentes [2], [3], y estudios recientes sobre Machine Learning aplicado a vulnerabilidad sísmica estructural [4], [5].

Objetivo general:

Desarrollar un modelo de Machine Learning para la priorización de la vulnerabilidad sísmica en edificios universitarios aporticados de concreto reforzado de hasta cinco pisos, a partir de variables obtenidas mediante inspección visual y criterios de validación computacional.

Metodología:

La investigación adopta un enfoque aplicado, cuantitativo y metodológico-propositivo, orientado a edificaciones universitarias aporticadas de concreto reforzado de hasta cinco pisos, con muestra delimitada a estructuras verificables mediante inspección visual directa. La adquisición y estructuración del conjunto de datos integra revisión documental, registro visual y selección de parámetros de vulnerabilidad, siguiendo criterios de evaluación rápida que fundamentan la matriz de entrada [6], [7]. Los parámetros evaluados —irregularidad, planta blanda, columnas cortas, daños, modificaciones, geometría, antigüedad y conservación— operan como vector de características de entrada. La fase analítica aplica codificación, normalización y clasificación supervisada mediante **Machine Learning**, cuyo desempeño predictivo se valida mediante simulación computacional y métricas de evaluación [8], [9].

Resultados:

Se proyecta consolidar una matriz multidimensional de características físicas normalizadas para edificios universitarios aporticados de concreto reforzado de hasta cinco pisos. La normalización reducirá sesgos de escala entre variables cualitativas y ordinales, favoreciendo la convergencia de algoritmos de clasificación supervisada para respuesta sísmica [10]. El modelo de Machine Learning mapeará el vector de entrada hacia clases discretas de vulnerabilidad, criterio compatible con índices predictivos basados en datos [11]. La simulación computacional no lineal proporcionará indicadores físicos —derivas y demandas internas— como verdad de terreno para validar predicciones mediante matrices de confusión y puntaje F1 [12].

Tabla 1. Variables de entrada para la priorización sísmica

Entrada visual	Variables	Salida esperada
Configuración estructural	Irregularidad, planta blanda, columnas cortas	Señales de concentración de demanda sísmica
Condición observable	Daños, modificaciones, conservación	Evidencia externa de deterioro o alteración
Caracterización física	Geometría, antigüedad	Apoyo a la clasificación preliminar
Procesamiento	Variables normalizadas	Priorización mediante Machine Learning
Validación	Derivas y demandas internas	Contraste por simulación computacional

Fuente: Elaboración propia con base en [6]–[12].

Conclusiones:

El diseño metodológico planteado permite acoplar inspección visual, vectorización de variables físicas y clasificación supervisada para priorizar vulnerabilidad sísmica en edificios universitarios aporticados de concreto reforzado. La escala de ocupación universitaria en Colombia exige filtros técnicos de bajo costo antes de asignar recursos a evaluaciones estructurales detalladas. Las variables seleccionadas —irregularidad, planta blanda, columnas cortas, daños, modificaciones, geometría, antigüedad y conservación— pueden transformarse en un vector normalizado de características, reduciendo sesgos de escala y mejorando la consistencia del modelamiento predictivo. La simulación computacional no lineal cumple un papel crítico como mecanismo de validación física, al contrastar la clasificación probabilística del Machine Learning con los indicadores mecánicos de la simulación —derivas y demandas internas— mediante métricas de desempeño predictivo. La principal contribución esperada es una ruta técnica trazable para pasar de observaciones visuales a priorización estructural validable [10]–[12].

Bibliografía:

[1] Ministerio de Educación Nacional de Colombia, “El Ministerio de Educación Nacional pone a disposición la información estadística de educación superior 2024,” SNIES, 2025.
[2] Federal Emergency Management Agency, *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*, FEMA P-154, 3rd ed. Washington, DC, USA: FEMA, 2015.
[3] American Society of Civil Engineers, *ASCE/SEI 41-23: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Reston, VA, USA: ASCE, 2023.
[4] S. Mangalathu, H. Sun, C. C. Nweke, Z. Yi, and H. V. Burton, “Classifying earthquake damage to buildings using machine learning,” *Earthquake Spectra*, vol. 36, no. 1, pp. 183–208, 2020.
[5] K. M. Gondaliya, H. K. Vasanwala, and C. G. Patel, “Machine learning-based approach for assessing the seismic vulnerability of reinforced concrete building frames,” *Journal of Building Engineering*, vol. 95, Art. no. 110356, 2024.
[6] E. Harirchian, T. Lahmer, S. Buddhiraju, M. Mohammad, and A. Mosavi, “Earthquake safety assessment of buildings through rapid visual screening,” *Buildings*, vol. 10, no. 3, Art. no. 51, 2020.
[7] S. Mangalathu, H. V. Burton, and J.-S. Jeon, “Classifying earthquake damage to buildings using machine learning,” *Earthquake Spectra*, vol. 36, no. 1, pp. 183–208, 2020.
[8] S. Mangalathu and J.-S. Jeon, “Classification of failure mode and prediction of shear strength for reinforced concrete beam-column joints using machine learning techniques,” *Engineering Structures*, vol. 160, pp. 85–94, 2018.
[9] F. Kazemi, M. Mehrkian, and M. Poursha, “Machine learning-based seismic response and performance assessment of reinforced concrete buildings,” *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 23, Art. no. 94, 2023.
[10] S.-H. Hwang, S. Mangalathu, J. Shin, and J.-S. Jeon, “Machine learning-based approaches for seismic demand and collapse of ductile reinforced concrete building frames,” *Journal of Building Engineering*, vol. 34, Art. no. 101905, 2021.
[11] K. Demertzis, K. Kostinakis, K. Morfidis, and L. Iliadis, “An interpretable machine learning method for the prediction of R/C buildings’ seismic response,” *Journal of Building Engineering*, vol. 63, Art. no. 105493, 2023.
[12] S. Mangalathu, H. Sun, C. C. Nweke, Z. Yi, and H. V. Burton, “Classifying earthquake damage to buildings using machine learning,” *Earthquake Spectra*, vol. 36, no. 1, pp. 183–208, 2020.

DREAMS CITY LAB

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería
POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid
Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Modelo predictivo basado en técnicas de Machine Learning para estimar la exposición ocupacional a nanopartículas de SiO2 y TiO2 en actividades del sector construcción en Colombia

Ana Marcela Muñoz Díaz
Grupo de Investigación GHYGAM – GIS
Asesor: Profesor José León Henao Ríos
anamunoz@elpoli.edu.co; jlhenao@elpoli.edu.co

Resumen:

La exposición ocupacional a nanopartículas en los lugares de trabajo es un peligro emergente al que se enfrentan los higienistas ocupacionales dado el crecimiento acelerado de la tecnología y la producción de nuevos materiales que mejoran productos y servicios a la comunidad. **Objetivo**: Esta investigación tiene como propósito desarrollar y validar un modelo predictivo de aprendizaje automático para estimar la exposición ocupacional a nanopartículas de sílice (SiO_2) y dióxido de titanio (TiO_2) en las tareas del sector de la construcción, integrando variables del proceso y del ambiente laboral, con el fin de fortalecer las estrategias de prevención de enfermedades de origen ocupacional. **Métodos:** Se espera realizar un diagnóstico actual de los desarrollos tecnológicos en materia de monitoreo de variables ocupacionales, así como realizar la caracterización de las nanopartículas presentes en el sector construcción, las condiciones de exposición y variables ambientales que pueden influir en el diagnóstico; también se espera validar el modelo desarrollado a fin de evaluar su funcionalidad. **Resultados**: Se espera que el modelo desarrollado permita predecir las condiciones de exposición de los trabajadores a las nanopartículas a fin de facilitar la toma de decisiones en materia de prevención de enfermedades laborales.

Planteamiento del problema:

- **Peligro emergente.** Existen NPs en materiales del sector construcción (Firoozi, A. 2025)
- **Vacío normativo**. No existe en Colombia un modelo para la predicción de la exposición ocupacional a NPs (MinTrabajo, 1979)
- **Brecha tecnológica**. Países bajos desarrolló un modelo predictivo que no incluye datos ambientales como humedad relativa y tampoco tareas del sector construcción. (Vermoolen, R. 2025)

Figura 1. Modelo predictivo



Objetivo general:

Proponer un modelo predictivo de aprendizaje automático para estimar la exposición ocupacional a nanopartículas de sílice (SiO_2) y dióxido de titanio (TiO_2) en las tareas del sector de la construcción, integrando variables del proceso y del ambiente laboral, con el fin de fortalecer las estrategias de prevención de enfermedades de origen ocupacional

Objetivos específicos:

Caracterizar las nanopartículas, las circunstancias de exposición ocupacional y las variables ambientales en las tareas del sector construcción mediante técnicas analíticas como la de microscopía electrónica TEM/SEM, la descripción detallada de procesos, etapas, tareas y la observación directa a los trabajadores a fin de definir las variables que conforman el modelo predictivo de innovación tecnológica.

Identificar las variables que influyen en la concentración de nanopartículas de sílice y dióxido de titanio en los ambientes de trabajo que serán susceptibles de alimentar el modelo predictivo.

Diseñar el modelo predictivo que integre variables de las nanopartículas, de la exposición, ambiental y de los procesos usando Machine Learning de tal manera que se obtenga el mejor modelo predictivo de estimación de la concentración de NPs de sílice y dióxido de titano en los trabajadores del sector de la construcción.

Validar el desempeño del modelo de predicción mediante métricas estadísticas y de validación cruzada con el fin de evaluar la funcionalidad y por consiguiente obtener un diagnóstico de la exposición y tomar decisiones en materia de prevención de riesgos laborales.

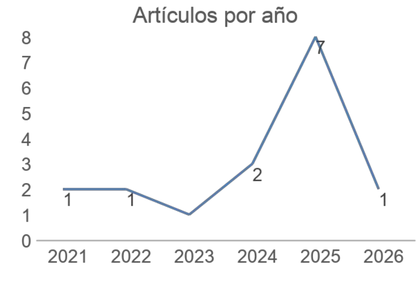
Figura 2. Metodología para el desarrollo

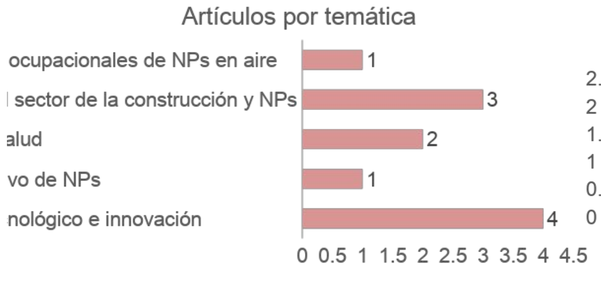


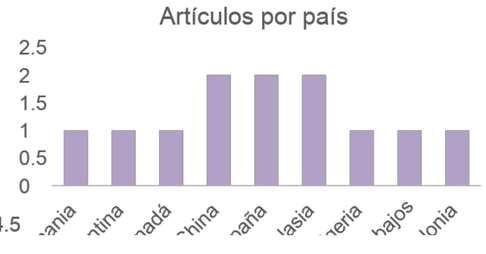
Resultados:

Tabla 1. Artículos encontrados

Base de datos	Número de artículos	Porcentaje
PubMed	43	44.8%
Science Direct	38	39.6%
Scopus	15	15.6%
Total	96	100%







Bibliografía:

Ali Akbar Firoozi, Ali Asghar Firoozi, Mohammad Reza Maghami,Transformative Impacts of Nanotechnology on Sustainable Construction: A Comprehensive Review, Results in Engineering, Volume 26,2025,104973,ISSN 2590-1230, https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104973
.

Xuemin Shi, Chen Liang, LinLin Wang, Xuefeng Bai, Ruiyang Ding, Zhiwei Sun, Occupational exposure to amorphous silica nanoparticles alters lung function and metabolomic features, Toxicology Letters, Volume 410, 2025, Pages 139-146, ISSN 03784274,https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2025.06.013

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, "Resolución 2400 de 1979," pp. 38–42, Bogotá, Colombia: Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979. [En línea]. Disponible en: https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2400%20-%201979.pdf

Chen, Y., Fan, Y., Huang, Y., Liao, X., Xu, W., & Zhang, T. (2024). A comprehensive review of toxicity of coal fly ash and its leachate in the ecosystem. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 269*, 115905. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115905

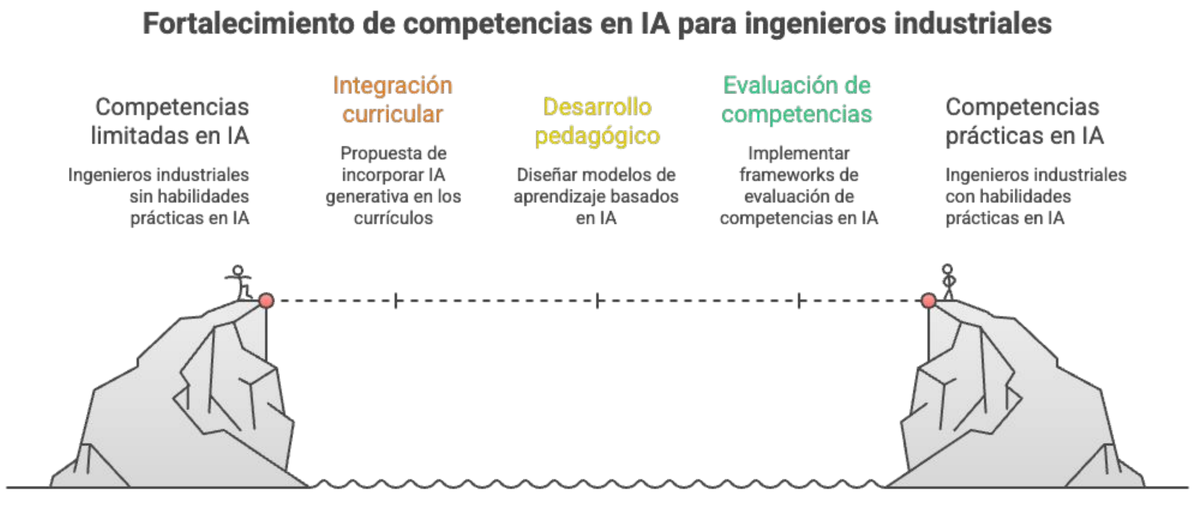
Modelado y validación de un sistema pedagógico-tecnológico basado en inteligencia artificial generativa para el fortalecimiento de competencias prácticas en ingeniería industrial: caso de estudio en Colombia y México

Nicolás Alberto Aguirre López
nicolas_aguirre106252@elpoli.edu.co
Jorge Ernesto Espinosa Oviedo
jeespinosa@elpoli.edu.co
Propuesta Doctoral

Resumen:

La brecha entre la formación universitaria en ingeniería industrial y las demandas de inteligencia artificial de la industria constituye un problema estructural documentado en Colombia y México. El World Economic Forum (2025) proyecta que el 63% de los empleadores identifican la brecha de competencias en IA como su principal barrera de transformación, mientras que ACOFI (2024) confirma que los 185 programas activos de Ingeniería Industrial en Colombia carecen de integración sistemática de IA generativa en sus currículos. Una búsqueda sistemática bajo protocolo PRISMA 2020 en Scopus identificó 327 artículos globales sobre el tema, de los cuales Colombia aporta menos del 1%, evidenciando un vacío científico crítico en el contexto latinoamericano. Ante esta triple brecha tecnológica, pedagógica y contextual, esta investigación doctoral propone desarrollar un sistema basado en IA generativa que integre un modelo pedagógico fundamentado en aprendizaje basado en proyectos y un framework para el fortalecimiento de competencias prácticas, validado mediante piloto en instituciones públicas de educación superior de Colombia y México.

Planteamiento del problema:



Objetivo general:

Modelar y validar un sistema basado en inteligencia artificial generativa que integre un modelo pedagógico y un framework para el fortalecimiento de competencias prácticas, contribuyendo al avance tecnológico en la formación de ingenieros industriales en instituciones universitarias públicas de Colombia y México

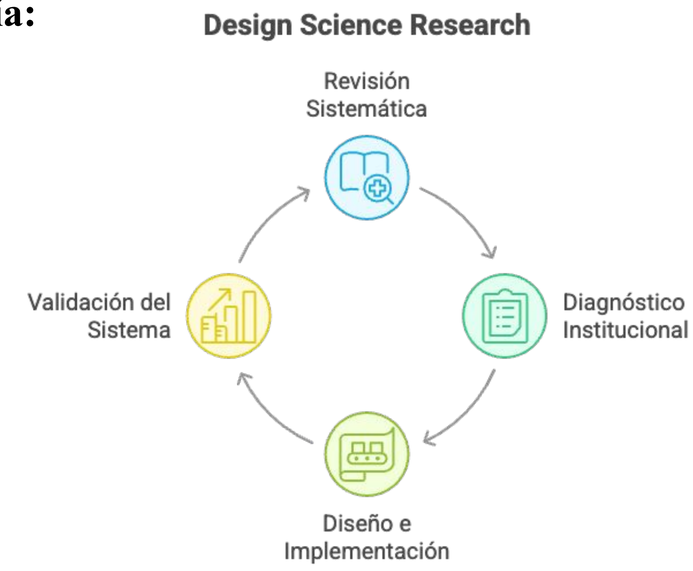
Caracterizar los fundamentos pedagógicos y tecnológicos que orientan la integración de la IA generativa en la formación práctica de ingenieros industriales, mediante una revisión sistemática bajo protocolo PRISMA 2020 y el diagnóstico de modelos pedagógicos en una muestra de instituciones públicas de educación superior de Colombia y México.

Proponer un modelo pedagógico basado en IA generativa y aprendizaje basado en proyectos, que integre los fundamentos identificados para el fortalecimiento de competencias prácticas en la formación de ingenieros industriales en instituciones públicas de educación superior de Colombia y México.

Construir un prototipo funcional basado en IA generativa que materialice el modelo pedagógico propuesto, mediante casos de uso reales de la ingeniería industrial, garantizando su operabilidad en instituciones públicas de educación superior de Colombia y México.

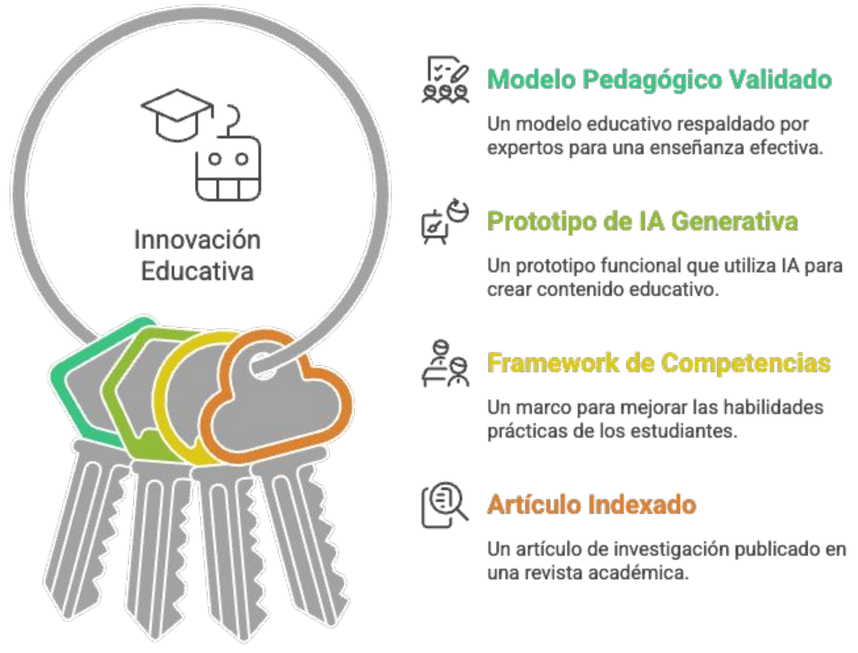
Evaluar el desempeño técnico y funcional del sistema desarrollado mediante un piloto en condiciones reales durante un semestre académico en instituciones públicas de educación superior de Colombia y México, determinando su efectividad en el fortalecimiento de competencias prácticas en IA generativa de estudiantes de ingeniería industrial..

Metodología:



Design Science Research (DSR) propuesto por Peffers et al. (2007), complementado con un enfoque mixto de fusión convergente (Creswell y Creswell, 2018). El DSR es el paradigma estándar en doctorados de ingeniería cuando el objetivo central es construir y validar un artefacto tecnológico que resuelve un problema real

Resultados Esperados:



Contribución al conocimiento

- La producción científica sobre IA generativa en educación en ingeniería industrial en Colombia y México es marginal — menos del 1% global —, lo que evidencia un vacío crítico que justifica el desarrollo de sistemas pedagógicos validados en el contexto latinoamericano.
- La integración de IA generativa con aprendizaje basado en proyectos representa una oportunidad inédita para cerrar la brecha entre la formación universitaria y las competencias que demanda la industria 4.0 de los ingenieros industriales egresados

Bibliografía:

World Economic Forum. (2025). The future of jobs report 2025. WEF. https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/

CEPAL y CENIA. (2024). Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial (ILIA 2024). CEPAL. https://www.cepal.org/es/notas/ilia-2024-evaluando-la-preparacion-progreso-la-ia-america-latina

ACOFI. (2024). Programas de ingeniería en Colombia 2024. ACOFI. https://www.acofi.edu.co/wp-content/uploads/2024/09/Programas-de-Ingenieria-en-Colombia-2024.pdf

Chiu, T. K. F. (2024). Future research recommendations for transforming higher education with generative AI. Computers and Education: Artificial Intelligence, 6, 100197. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100197

Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. Journal of Management Information Systems, 24(3), 45-77. doi:10.2753/mis0742-1222240302

Rahman, A., Khandakar, A., Ayari, M. A., Naji, K., Al-Ali, A. K., Sellami, A. L., & Alhazbi, S. M. A. (2026). Artificial intelligence innovations challenges and emerging trends in engineering education. Discover Education, 5(1). doi:10.1007/s44217-026-01137-1

Sistema de gestión de capacidades tecnológicas institucionales para la transferencia de resultados de investigación en Instituciones de Educación Superior: una propuesta desde el contexto colombiano.

Ing. Neider Duan Barbosa Castro, M.Sc.
Doctorando en Ingeniería e Innovación Tecnológica
neider_barbosa106252@elpoli.edu.co

C.P. Oscar Hernán Velásquez Arboleda, Ph.D
Doctor en Ingeniería- Director
ohvelasquez@elpoli.edu.co

Ing. Fabiola Sánchez Blanco, Ph.D., Posdoc.
Posdoctora en Innovación – Co-Director
Saenzf@yahoo.com

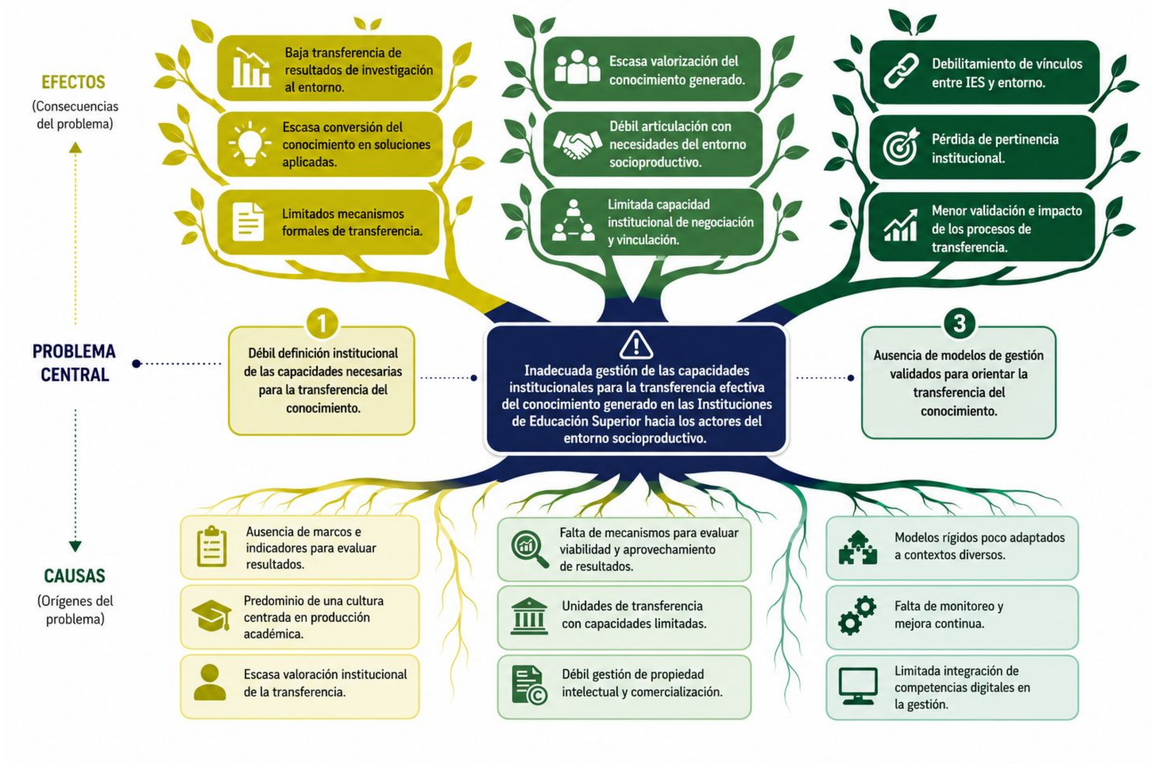
Resumen:

Las Instituciones de Educación Superior (IES) colombianas poseen capacidades tecnológicas, humanas y organizacionales que, en muchos casos, **permanecen fragmentadas, desarticuladas y carentes de una gestión sistémica, limitando la capacidad institucional para transferir de manera efectiva los resultados de investigación hacia el entorno socioproductivo.** La evidencia cienciométrica disponible confirma que las capacidades tecnológicas institucionales y la transferencia de resultados de investigación **han sido abordadas predominantemente como campos de estudio independientes, evidenciándose la ausencia de modelos integradores y contextualizados para las IES colombianas**. En este contexto, **se plantea la hipótesis de que una gestión sistémica, multidimensional y contextualizada de las capacidades tecnológicas institucionales incidirá de manera significativa y positiva en la efectividad de los procesos de transferencia** de resultados de investigación.

Frente a este desafío, la presente investigación propone **modelar un sistema de gestión de capacidades tecnológicas institucionales sustentado en tres pilares estratégicos**. En primer lugar, se **conceptualizarán las capacidades tecnológicas institucionales mediante una revisión sistemática de la literatura científica especializada**. En segundo lugar, **se identificarán y analizarán las relaciones e interdependencias existentes entre dichas capacidades mediante la aplicación de métodos analíticos y estadísticos avanzados**. Finalmente, **el sistema propuesto será validado en Instituciones de Educación Superior colombianas** con diferentes niveles de madurez institucional. Como resultado, **se espera aportar un modelo contextualizado que fortalezca la innovación**, incremente la efectividad de los procesos de transferencia de resultados de investigación y **contribuya al cierre de brechas territoriales**, al desarrollo regional y a la construcción de paz sostenible en Colombia.

Planteamiento del problema:

Definición:



Pregunta de Investigación:

¿Bajo qué principios, **dimensiones e interrelaciones debe estructurarse un sistema de gestión de capacidades tecnológicas institucionales** para **fortalecer de manera sostenible y contextualizada la efectividad de los procesos de transferencia de los resultados de investigación** en las **Instituciones de Educación Superior** hacia los **actores del entorno socioproductivo**?

Hipótesis:

H_0 (Nula):

Las **capacidades tecnológicas institucionales** no tienen un efecto significativo sobre la **efectividad de los procesos de transferencia de resultados de investigación** hacia los **actores del entorno socioproductivo** en las **Instituciones de Educación Superior**.

H_1 (Alterna):

Las **capacidades tecnológicas institucionales** inciden de manera significativa y positiva en la **efectividad de los procesos de transferencia de resultados de investigación** hacia los **actores del entorno socioproductivo** en las **Instituciones de Educación Superior**

Objetivos:

Objetivo General:

Modelar un sistema de gestión de capacidades tecnológicas institucionales, con el propósito de **fortalecer la efectividad de los procesos de transferencia de los resultados de investigación en las Instituciones de Educación Superior hacia los actores del entorno socioproductivo.**

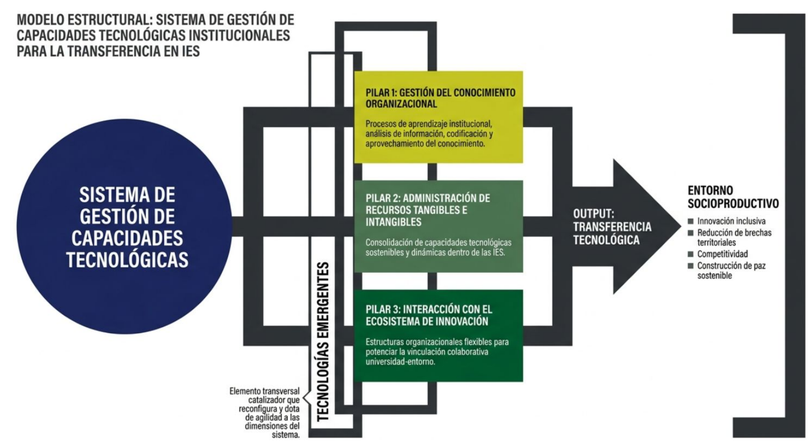
Objetivos Específicos:

- **Conceptualizar las capacidades tecnológicas institucionales** en el contexto de las Instituciones de Educación Superior, en los procesos de **transferencia de los resultados de investigación** hacia los actores del entorno socioproductivo.
- **Determinar las relaciones e interdependencias de las capacidades tecnológicas institucionales**, con el propósito de **identificar los factores críticos que inciden en la efectividad de los procesos de transferencia** hacia los actores del entorno socioproductivo en las Instituciones de Educación Superior.
- **Validar el sistema de gestión de capacidades tecnológicas institucionales modelado**, verificando su **efectividad diferenciada en el fortalecimiento de los procesos de transferencia de los resultados de investigación** en las IES hacia los actores del entorno socioproductivo.

Metodología:



Resultados:



Conclusiones:

La presente propuesta doctoral representa un aporte significativo a la comprensión sistémica de la transferencia tecnológica en las IES colombianas. A diferencia de los enfoques tradicionales que han abordado las capacidades tecnológicas y la transferencia como campos separados, esta investigación propone un modelo integrador, contextualizado y validado empíricamente, sustentado en tres pilares estratégicos articulados: la gestión del conocimiento organizacional, la administración de recursos y la interacción con el ecosistema de innovación. De validarse la hipótesis planteada, el sistema resultante no solo fortalecerá la efectividad de los procesos de transferencia de resultados de investigación, sino que se constituirá en un instrumento de equidad territorial, desarrollo regional y construcción de paz sostenible, consolidando el papel de la universidad colombiana como actor estratégico en la transformación social y productiva del país.

Referencias:

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Estrategias tecnológicas y sociales para la prevención de la violencia y el fortalecimiento de la convivencia pacífica en Colombia; a través de los Programas SENA y la Ciencia de Datos en el Bajo Cauca Antioqueño en el municipio del Bagre

Carlos Mario Castañeda Monsalve

SEMINARIO I

carloscastaneda@elpoli.edu.co

Resumen:

Esta propuesta busca diseñar e implementar estrategias tecnológicas y sociales orientadas a la prevención de la violencia y al fortalecimiento de la convivencia pacífica en el Bajo Cauca Antioqueño, específicamente en el municipio de El Bagre. A través de los programas de formación del SENA y el uso de herramientas de Ciencia de Datos, se pretende generar soluciones innovadoras que permitan identificar factores de riesgo, promover la inclusión social y fortalecer las capacidades comunitarias para la construcción de paz. La iniciativa integra procesos de formación, análisis de información y participación ciudadana, contribuyendo al desarrollo social, la transformación territorial y la generación de oportunidades para jóvenes y comunidades vulnerables de la región.

Planteamiento del problema:

El municipio de El Bagre, ubicado en la subregión del Bajo Cauca Antioqueño, ha enfrentado históricamente problemáticas relacionadas con la violencia, la desigualdad social, el desempleo juvenil y la limitada presencia de oportunidades educativas y tecnológicas. Estas condiciones han generado escenarios de vulnerabilidad que afectan la convivencia pacífica, el tejido social y las posibilidades de desarrollo sostenible de las comunidades. La presencia de conflictos sociales, economías ilícitas y factores de exclusión han incrementado los riesgos para niños, jóvenes y familias, dificultando la construcción de entornos seguros y participativos.A pesar de los esfuerzos institucionales y comunitarios, persiste la necesidad de implementar estrategias innovadoras que integren el uso de la tecnología, la formación para el trabajo y la participación ciudadana como herramientas para la transformación social. En este contexto, los programas de formación del SENA representan una oportunidad para fortalecer capacidades en competencias digitales, emprendimiento y liderazgo comunitario; sin embargo, aún es limitada la articulación entre estos procesos formativos y el aprovechamiento de herramientas de Ciencia de Datos para la identificación, análisis y prevención de dinámicas de violencia en el territorio.La falta de sistemas de información comunitarios, análisis predictivos y estrategias basadas en datos dificulta la toma de decisiones oportunas por parte de las instituciones y actores sociales. Asimismo, existe una baja apropiación tecnológica en sectores vulnerables, lo que limita el acceso a soluciones innovadoras orientadas a la convivencia pacífica y la prevención de riesgos sociales.Por ello, surge la necesidad de diseñar e implementar estrategias tecnológicas y sociales que, mediante la articulación entre los programas del SENA y la Ciencia de Datos, permitan fortalecer la prevención de la violencia, promover la inclusión social y consolidar escenarios de convivencia pacífica en el municipio de El Bagre. Esta propuesta busca contribuir al desarrollo territorial mediante la formación, el análisis de información y la generación de soluciones innovadoras que impacten positivamente la calidad de vida de las comunidades del Bajo Cauca Antioqueño.

Objetivo general:

Diseñar e implementar estrategias tecnológicas y sociales orientadas a la prevención de la violencia y el fortalecimiento de la convivencia pacífica en Colombia en el municipio del Bagre, mediante la articulación de los programas del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) y el uso de herramientas de Ciencia de Datos, promoviendo el desarrollo de competencias digitales, ciudadanas y socioemocionales en las comunidades, especialmente en poblaciones vulnerables, para contribuir a la construcción de entornos seguros, inclusivos y sostenibles.

Metodología: La presente investigación se desarrollará bajo un enfoque mixto, integrando métodos cualitativos y cuantitativos, con el propósito de comprender las dinámicas de violencia y convivencia en el municipio de El Bagre, Bajo Cauca Antioqueño, y diseñar estrategias tecnológicas y sociales apoyadas en los programas del SENA y la Ciencia de Datos.

Enfoque de investigación

El estudio tendrá un enfoque mixto debido a que combinará la recolección y análisis de datos estadísticos con información social y comunitaria obtenida mediante procesos participativos. El componente cuantitativo permitirá identificar patrones, tendencias y factores asociados a la violencia, mientras que el componente cualitativo facilitará comprender las percepciones, experiencias y necesidades de la comunidad.

Tipo de investigación

La investigación será de tipo aplicada y descriptiva–propositiva. Aplicada porque busca generar soluciones concretas para la prevención de la violencia y el fortalecimiento de la convivencia pacífica; descriptiva porque analizará las condiciones sociales y tecnológicas del territorio; y propositiva porque diseñará estrategias de intervención basadas en el análisis de datos y la participación comunitaria.

Población y muestra

La población objeto de estudio estará conformada por jóvenes, aprendices del SENA, líderes comunitarios, docentes, instituciones públicas y habitantes del municipio de El Bagre. La muestra será seleccionada mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia y participación voluntaria, priorizando sectores vulnerables y actores estratégicos relacionados con procesos de convivencia y formación.

Técnicas e instrumentos de recolección de información

Para el desarrollo de la investigación se emplearán las siguientes técnicas e instrumentos:

Encuestas: dirigidas a jóvenes y comunidad en general para identificar factores de riesgo, percepción de seguridad y acceso a herramientas tecnológicas.

Entrevistas semiestructuradas: aplicadas a líderes sociales, instructores SENA y autoridades locales.

Grupos focales: para promover espacios de diálogo sobre convivencia pacífica y prevención de la violencia.

Observación participativa: en actividades comunitarias y formativas desarrolladas en el territorio.

Análisis de bases de datos: utilizando herramientas de Ciencia de Datos para identificar patrones de violencia, comportamiento social y variables asociadas al contexto territorial.

Fases de la investigación

1. Diagnóstico territorial

Se realizará la caracterización social, tecnológica y comunitaria del municipio de El Bagre mediante la recopilación de información primaria y secundaria relacionada con violencia, convivencia y oportunidades de formación.

2. Recolección y análisis de datos

Se aplicarán encuestas, entrevistas y grupos focales. Posteriormente, la información será organizada y procesada mediante técnicas estadísticas y herramientas de Ciencia de Datos, permitiendo identificar tendencias y factores de riesgo.

3. Diseño de estrategias tecnológicas y sociales

Con base en los resultados obtenidos, se formularán estrategias orientadas al fortalecimiento de la convivencia pacífica, incluyendo:

Formación en competencias digitales y análisis de datos.

Desarrollo de herramientas tecnológicas comunitarias.

Espacios de participación y mediación social.

Programas de sensibilización y prevención de violencia.

4. Implementación piloto

Se desarrollarán actividades piloto con participación de aprendices SENA y comunidades locales, evaluando el impacto inicial de las estrategias propuestas.

5. Evaluación y socialización

Finalmente, se evaluarán los resultados obtenidos mediante indicadores sociales y tecnológicos, y se socializarán los hallazgos con instituciones, comunidad y actores territoriales.

Resultados:

Resultados socialesFortalecimiento de la convivencia pacífica y la participación comunitaria en el municipio de El Bagre.Incremento de espacios de diálogo, mediación y resolución pacífica de conflictos entre jóvenes y comunidades.Mayor inclusión social y participación de poblaciones vulnerables en procesos formativos y tecnológicos.Sensibilización de la comunidad frente a la prevención de la violencia y la promoción de la cultura de paz.Resultados educativos y formativosFormación de aprendices SENA y miembros de la comunidad en competencias digitales, análisis de datos y herramientas tecnológicas.Desarrollo de capacidades en liderazgo comunitario, innovación social y transformación digital.Vinculación de jóvenes a procesos de formación técnica y tecnológica orientados al desarrollo territorial.Creación de estrategias pedagógicas para el uso de la Ciencia de Datos en problemáticas sociales.Resultados

Figura 1 y 2





Conclusiones:

La implementación de estrategias tecnológicas y sociales en el municipio de El Bagre representa una alternativa innovadora para prevenir la violencia y fortalecer la convivencia pacífica en el Bajo Cauca Antioqueño. La articulación entre los programas de formación del SENA y la Ciencia de Datos permite generar herramientas de análisis y prevención que contribuyen a la identificación de factores de riesgo y necesidades sociales del territorio. El fortalecimiento de competencias digitales, liderazgo comunitario y participación ciudadana favorece la inclusión social y la construcción de entornos más seguros y participativos para jóvenes y comunidades vulnerables. El uso de tecnologías y análisis de datos facilita la toma de decisiones institucionales y comunitarias, permitiendo desarrollar acciones preventivas basadas en información real y contextualizada. La participación activa de la comunidad, instituciones y actores sociales es fundamental para garantizar la sostenibilidad e impacto de las estrategias propuestas en los procesos de convivencia y construcción de paz.

Bibliografía:

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (2023). *Formación para el trabajo, innovación y desarrollo social en Colombia*. Bogotá, Colombia. SENA Oficial Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2023). *Indicadores sociales y demográficos del Bajo Cauca Antioqueño*. Bogotá, Colombia. DANE Oficial Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2022). *Política de transformación digital e inclusión tecnológica en Colombia*. Bogotá, Colombia. MinTIC Oficial Departamento Nacional de Planeación. (2022). *Plan Nacional de Desarrollo: estrategias para la construcción de paz y desarrollo territorial*. Bogotá, Colombia. DNP Oficial Observatorio de Memoria y Conflicto. (2021). *Dinámicas del conflicto y violencia en regiones de Colombia*. Bogotá, Colombia. Centro Nacional de Memoria Histórica Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2021). *Educación para la paz y convivencia social*. París, Francia. UNESCO Oficial Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2022). *Desarrollo humano, inclusión social y construcción de paz en Colombia*. Nueva York, Estados Unidos. PNUD Oficial Ciencia de Datos. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). México: McGraw-Hill. La quinta disciplina. Senge, P. (2005). *La quinta disciplina: El arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje*. Buenos Aires: Granica. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). *Transformación digital y cohesión social en América Latina*. Santiago de Chile. CEPAL Oficial Alcaldía Municipal de El Bagre. (2023). *Plan de Desarrollo Municipal de El Bagre 2020–2023*. El Bagre, Antioquia. Alcaldía de El Bagre Gobernación de Antioquia. (2022). *Políticas de convivencia y seguridad ciudadana para el Bajo Cauca Antioqueño*. Medellín, Colombia. Gobernación de Antioquia

SEMINARIO DE INGENIERÍA
INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Modelo inteligente de ciberseguridad para el fortalecimiento de la resiliencia digital en la industria flexográfica y convertidora

Proyecto de Investigación Doctoral

EDGAR ALBERTO ACEVEDOARANGO

Director: Dr. Jorge Ernesto Espinosa Oviedo, *Ph.D.*

Grupo de Investigación en Inteligencia Computacional (P.C.J.I.C.)

Resumen:

El proyecto doctoral propone el diseño de un modelo de IA agentico basado en el marco CCCI orientado y a efectos de robustecer la resiliencia digital y la transferencia de conocimiento sobre seguridad cibernética al personal no especializado de la industria flexográfica y convertidora.

Planteamiento del problema:

Actualmente, las PYMEs de la industria flexográfica presentan una marcada vulnerabilidad cibernética, originada por la convergencia de la digitalización acelerada de los procesos de planta, la hiperconectividad con el ciberespacio y la persistente brecha de competencias técnicas en el personal no especializado. A pesar de la existencia formal de estándares y referentes internacionales de amplia aceptación (ISO, NIST, CIS, etc.), el sector carece de modelos agenticos de capacitación en ciberseguridad que integren de forma autónoma y efectiva la mediación cognitiva con el conocimiento técnico, dejando al factor humano como el principal vector de riesgo. Esta carencia evidencia la necesidad de un enfoque agentico y adaptativo capaz de cerrar la brecha entre la complejidad de las amenazas digitales y las capacidades reales de respuesta del personal no especializado.

Pregunta de investigación:

¿Cómo integrar un modelo agentico, soportado en inteligencia artificial y estructurado bajo el marco CCCI, para fortalecer de manera efectiva la resiliencia cibernética y optimizar la transferencia de competencias técnicas en el personal no especializado de la industria flexográfica y convertidora?

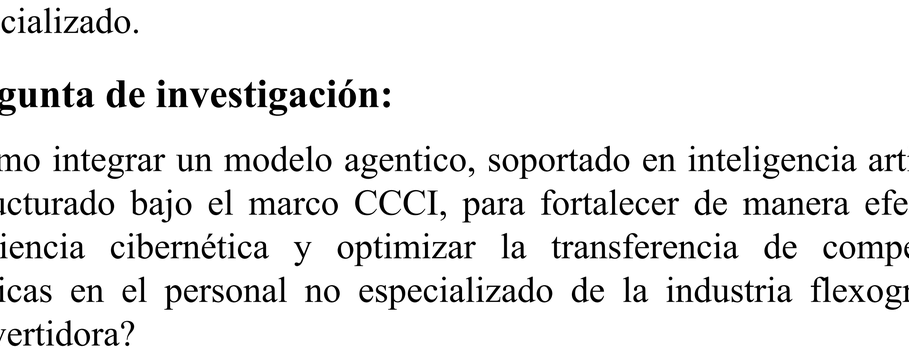
Objetivo general:

Desarrollar un modelo de IA agentico basado en el marco CCCI para el fortalecimiento de la resiliencia cibernética y la transferencia de conocimiento al personal no especializado en PYMEs de la industria flexográfica y convertidora.

Metodología:

Enfoque: Cuantitativo

Alcance: Explicativo, propositivo, tecnológico y validativo.



Población/Muestra: PYMEs de la industria flexográfica y convertidora.
Diseño: Aplicado – Tecnológico – Experimental.



Resultados (Esperados):

- **Arquitectura Agentica Inteligente:** Un modelo agentico plenamente documentado y funcional, capaz de ejecutar tareas de capacitación y entrenamiento en tiempo real, que este basado en el marco CCCI.
- **Protocolo de Mediación Cognitiva:** Un motor de IA diseñado para la adaptación dinámica de contenidos, capaz de evaluar el perfil de competencia del personal y ajustar el nivel técnico requerido a programas de capacitación cibernética de forma personalizada.
- **Framework de Integración CCCI-IA:** Un diseño técnico que formalice los pilares dimensionales de seguridad informática del marco CCCI a través de algoritmos agenticos y herramientas de IA.
- **Otros Resultados Esperados:**
  - Incremento en competencias técnicas y digitales del personal no especializado en PYMEs de la industria.
  - Reducción del nivel de riesgo cibernético asociado al factor humano.
  - Modelo replicable en otras industrias críticas.
  - Producción científica relevante (*Estrategia de diseminación y divulgación científica*).

Conclusiones:

Proyecto en desarrollo como propuesta de investigación para tesis doctoral (En curso)

Referencias y bibliografía:

- Acevedoarango, E.A. & Echeverri L., A.M. (2025, 2026)
- Bautista et al. (2023)
- Dini & Stumpo. (2020)
- Fang, J., et al. (2025)
- International Organization for Standardization, ISO. (2024)
- Label & Narrow Web (2022)
- Massachusetts Institute of Technology. (2026)
- National Institute of Standards and Technology, NIST. (2024)
- WestRock Company. (2021)
- Wolford. (2025)
- Ye, Y.; Colombo, M. et al. (2026).

POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid @PolitecnicoJIC
www.politecnicojic.edu.co

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Framework de optimización multicriterio para el despacho Económico del Sistema Interconectado Nacional Colombiano

Evy Fernanda Tapias Forero

Propuesta Doctorado en Ingeniería e Innovación Tecnológica

evy_tapias106261@elpoli.edu.co

Resumen

La presente propuesta plantea el desarrollo de un framework de optimización multicriterio para el despacho económico del Sistema Interconectado Nacional colombiano, integrando capacidades tecnológicas de fuentes alternativas de energía, algoritmos metaheurísticos e inteligencia artificial. La investigación busca superar las limitaciones del modelo tradicional centrado únicamente en costos, incorporando criterios económicos, ambientales y sociales mediante un prototipo computacional capaz de simular escenarios críticos del sistema eléctrico colombiano y apoyar la transición energética.

Planteamiento del problema



Objetivo general

Desarrollar un framework de optimización multicriterio para el despacho energético del Sistema Interconectado Nacional Colombiano, fundamentado en la caracterización multidimensional de las capacidades tecnológicas de tres Fuentes Alternativas de Energía, integrando algoritmos metaheurísticos e inteligencia artificial, mejorando costos, el impacto ambiental y el impacto social del proceso.

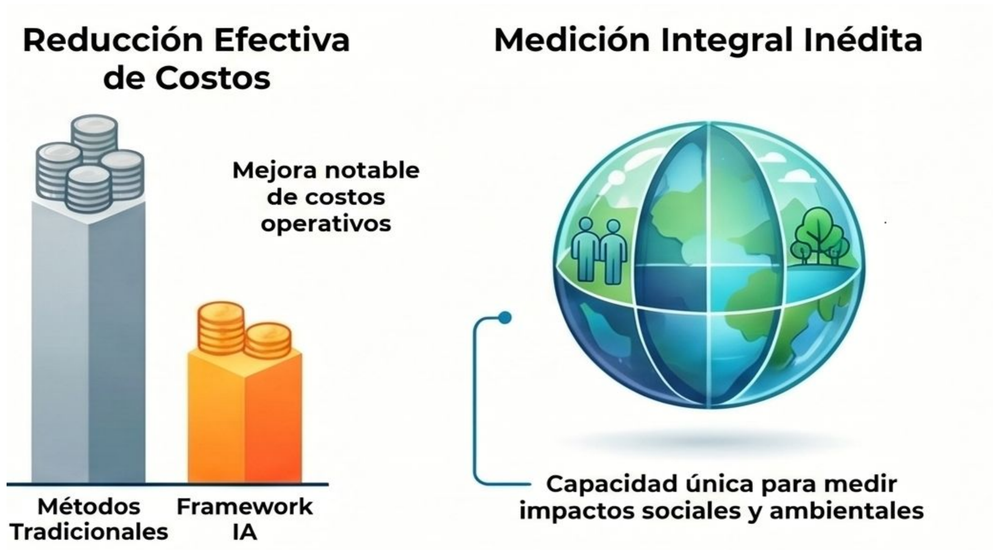
Metodología

Figura 2.

Metodología por fases
Cada objetivo es una fase del proyecto



Conclusiones



Resultados

- Caracterización de tres Fuentes Alternativas de Energía a partir de sus capacidades tecnológicas.
- Framework utilizando algoritmos metaheurísticos e inteligencia artificial, orientada a la mejora simultánea de los costos, el impacto ambiental y el impacto social del despacho energético.
- Software para demostrar su superioridad en la optimización Del framework desarrollado de criterios económicos, ambientales y sociales en comparación con métodos actuales

Bibliografía

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Propuesta de un Sistema Multiagente para la Representación Judicial y Extrajudicial del Municipio de Envigado

Jorge Eliécer Monsalve Zuluaga – Sandra Patricia Mateus Santiago

Estudiante Maestría en Ingeniería – Docente Facultad de Ingenierías

jorge_monsalve82152@elpoli.edu.co - spmateus@elpoli.edu.co

Resumen:

Este proyecto de investigación propone el diseño de un modelo basado en Sistemas Multiagente (MAS) y en Inteligencia Artificial Generativa (IAG) para fortalecer la gestión y defensa de la Oficina Asesora Jurídica. Esta iniciativa surge debido a que el proceso de representación judicial y extrajudicial del Municipio de Envigado tiene una alta carga documental, lo cual incrementa los tiempos de respuesta y la necesidad de trazabilidad, lo que hace fundamental la modernización tecnológica. Teniendo en cuenta lo anterior, la propuesta metodológica contempla desarrollar un enfoque por fases, en el cual se buscará integrar la caracterización de la información, la definición de la arquitectura del MAS, la implementación de un prototipo funcional y la validación de su desempeño. Asimismo, el sistema integrará la base de conocimiento institucional y a los funcionarios responsables del proceso. Como resultado, se espera obtener una arquitectura de software auditable y escalable que incremente la eficiencia operativa y la precisión jurídica, mitigando el riesgo de alucinaciones con protocolos de evaluación basados en métricas estadísticas.

Planteamiento del Problema:

La Oficina Asesora Jurídica del Municipio de Envigado enfrenta una alta carga documental en el proceso de representación judicial y extrajudicial, lo que implica actividades intensivas de revisión, análisis y producción de documentos. Como se ilustra en la Figura 1 (Google Imagen, 2024), esta situación genera tiempos de respuesta prolongados, dificultades en la trazabilidad de la información en tiempo real y una alta dependencia del conocimiento individual de los funcionarios. Aunque la IAG ofrece oportunidades para mejorar estos procesos, su uso sin mecanismos de control puede generar respuestas no comprobadas (alucinaciones) y afectar la confiabilidad en la respuesta.

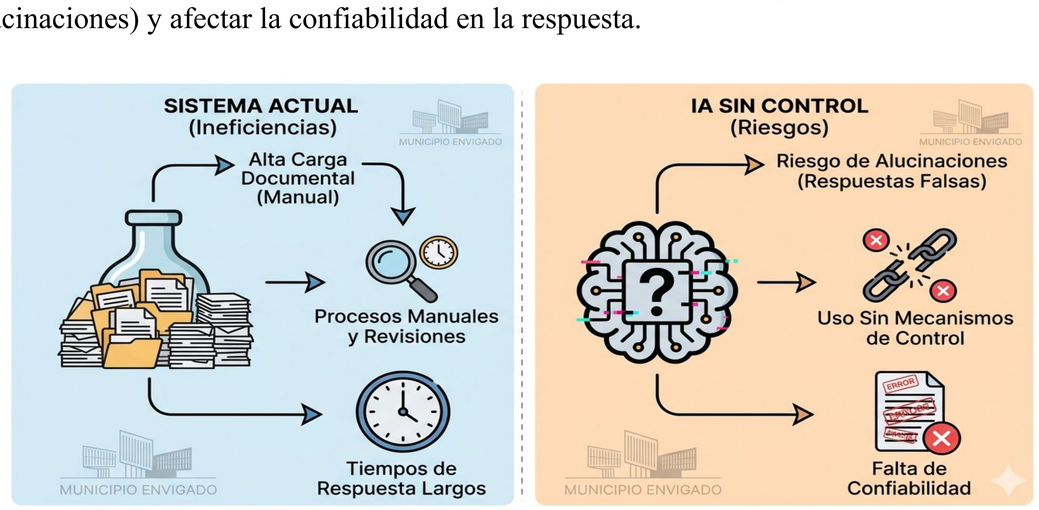


Figura 1. Estado actual del proceso (Congestión y Riesgos)

Nota. Adaptado de Google Imagen. (2024). Estado actual del proceso (Congestión y Riesgos) [Imagen generada por IA].

Objetivo General:

Diseñar un sistema multiagente basado en inteligencia artificial generativa, el gobierno de datos y la gestión del conocimiento institucional, para la atención integral de los procesos de representación judicial y extrajudicial de la Oficina Asesora Jurídica del Municipio de Envigado.

Objetivos Específicos:

Caracterizar la gestión de la información en los procesos de representación judicial y extrajudicial, abarcando la base de conocimiento institucional y ciclo de gobernanza de datos, como insumo para el modelado del sistema multiagente.

Definir la arquitectura del sistema multiagente, mediante la especificación de agentes, roles, interacciones, recuperación de información, verificación de fuentes, trazabilidad y supervisión humana, para su adecuación al contexto jurídico institucional.

Implementar un prototipo del sistema multiagente, mediante la configuración de agentes, flujos operativos, mecanismos de acceso a la base de conocimiento institucional y controles de uso, para la validación de su funcionamiento en los procesos de la Oficina Asesora Jurídica.

Validar el desempeño del sistema multiagente mediante la evaluación de su tasa de alucinaciones y su trazabilidad documental, para la comprobación de su confiabilidad en el apoyo a los procesos de representación judicial y extrajudicial.

Metodología:

Enfoque y Diseño: Investigación mixta, aplicada y secuencial evaluativa. Dividida en tres fases: cualitativa, desarrollo del sistema y cuantitativa.

- Población y Muestra: Selección intencional de funcionarios expertos de la Oficina Asesora Jurídica del Municipio de Envigado.
- Técnicas de Recolección: Entrevistas y análisis documental, fichas de diseño de agentes en Copilot Studio y matrices de casos de prueba reales.
- Procesamiento de Datos: Análisis cualitativo para estructurar el problema, y estadística descriptiva (cuantitativa) para evaluar la precisión, eficacia y mitigación de alucinaciones.

Resultados:

Al tratarse de la formulación de un proyecto, el primer resultado consolidado es la estructuración del estado del arte. Como se evidencia en la Tabla 1, el análisis documental confirma que integrar arquitecturas MAS y RAG es indispensable para garantizar la confiabilidad jurídica. Por lo anterior, se proyectan los siguientes resultados articulados con los objetivos de la investigación:

- **Arquitectura Tecnológica Validada:** Prototipo funcional del MAS integrando Copilot Studio + SharePoint + RAG.
- **Mejora Operativa:** Reducción significativa de los tiempos de análisis documental y respuesta en los procesos.
- **Evaluación del Proceso:** Implementación de un protocolo de evaluación con métricas mejorando precisión, fiabilidad y calidad.
- **Gobernanza y Trazabilidad:** Consolidación de un modelo de gestión del conocimiento que permita el rastreo de las decisiones de la IA en tiempo real.

Autor	Base de conocimiento	RAG	Multiagente	Confiabilidad
Augenstein (2024)	✓			✓
Gao (2024)	✓	✓		✓
Dahl (2024)				✓
Pipitone & Alami (2024)	✓	✓		
He et al. (2024)		✓	✓	
Chan (2024)			✓	✓
Pradhan (2025)		✓		✓
Devadiga et al. (2025)		✓	✓	✓
Yuan (2026).			✓	✓

Tabla 1. Autores y Categorías de Investigación

Conclusiones:

El diseño de un MAS integrado con la técnica RAG es idónea para el proceso, ya que supera a la IAG tradicional distribuyendo tareas complejas y minimizando el riesgo.

La supervisión humana y la trazabilidad de las IAG son pilares fundamentales en el proceso, para garantizar la confiabilidad de las respuestas.

La adopción del proyecto permitirá reducir los tiempos de respuesta ante la alta carga documental, optimizar la defensa pública y transformar el conocimiento en un activo digital estratégico para el Municipio de Envigado.

Bibliografía:

Augenstein, I., Flek, L., & Vlachos, A. (2024). Factuality and Fact-checking in the Era of Large Language Models: A Governance Perspective. Transactions of the Association for Computational Linguistics.

Chan, C. M., Chen, W., Su, Y., Yu, J., Xue, W., Zhang, S., & Wang, X. (2024). ChatEval: Towards Better LLM-based Evaluators through Multi-Agent Debate. The Twelfth International Conference on Learning Representations (ICLR 2024).

Dahl, M., Magesh, V., Lin, L., & Ho, D. (2024). Large legal fictions: Profiling legal hallucinations in large language models.

Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., et al. (2024). Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey.

Google Imagen. (2024). Generación de imagen: Estado actual del proceso (congestión y riesgos) [Imagen generada por IA]. Plataforma de generación de imágenes por IA de Google.

He, Z., Cao, P., Wang, C., Jin, Z., Chen, Y., Xu, J., Li, H., Liu, K., & Zhao, J. (2024). AgentsCourt: Building judicial decision-making agents with court debate simulation and legal knowledge augmentation. Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2024, 9399–9416. https://doi.org/10.18653/v1/2024.findings-emnlp.549

Pipitone, V., & Alami, N. (2024). LegalBenchRAG: A Comprehensive Benchmark for Retrieval-Augmented Generation in the Legal Domain. Journal of Artificial Intelligence and Law.

Devadiga, P., Shetty, O., & Agarwal, P. (2025). SAMVAD: A multi-agent system for judicial processes.

Pradhan, A., Verma, A., & Seshadri, M. (2025). LLM-as-a-Judge: Evaluation of legal systems.

Yuan, W., Song, K., Jiang, Z., et al. (2026). A multi-agent framework with legal event logic graph for legal judgment prediction.

GIS Grupo de Investigación en Ingeniería Sostenible

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Estructura de Base de Datos para un Modelo Predictivo en la Posventa Automotriz

Gabriel Antonio Echavarría Vásquez[1], Sandra P. Mateus Santiago[2]

[1]Estudiante Maestría en Ingeniería, [2] Docente Facultad de Ingeniería

gabriel_echavarria82101@elpoli.edu.co, spmateus@elpoli.edu.co

Resumen:

La transformación digital en el sector automotriz ha incrementado la necesidad de estructurar adecuadamente la información generada en los procesos de posventa, especialmente aquella relacionada con clientes, vehículos, mantenimientos y repuestos. En este contexto, el presente trabajo presenta el diseño de una base de datos orientada al soporte de un modelo predictivo para concesionarios automotrices, permitiendo organizar la información de manera estructurada y facilitar futuros procesos de analítica e integración con sistemas empresariales.

Planteamiento del Problema:

En muchos concesionarios automotrices, la información relacionada con clientes, vehículos y mantenimientos se encuentra distribuida en diferentes sistemas o almacenada con una estructura compleja, dificultando su análisis y aprovechamiento. Según Elmasri y Navathe (2016), una estructura adecuada de bases de datos permite garantizar la integridad y organización de la información, facilitando posteriormente procesos analíticos y de toma de decisiones.

Objetivo General:

Diseñar una estructura de base de datos orientada al soporte de un modelo predictivo para la gestión de necesidades de servicio en la posventa automotriz.

Metodología:

La metodología empleada corresponde a una investigación aplicada con enfoque tecnológico y descriptivo, orientada al diseño de una base de datos para procesos de posventa automotriz. Para el desarrollo de la propuesta se realizó el análisis de la información generada en concesionarios automotrices, identificando entidades, atributos y relaciones involucradas en la gestión de clientes, vehículos, mantenimientos y repuestos. Posteriormente, se diseñó un modelo entidad-relación que permitiera estructurar la información de manera organizada y preparada para futuros procesos analíticos y predictivos.

El diseño de la base de datos se fundamentó en los principios de modelado relacional planteados por Silberschatz, Korth y Sudarshan (2019), especialmente en aspectos relacionados con la organización de entidades, integridad de datos, normalización y establecimiento de relaciones entre tablas para garantizar consistencia y eficiencia en el almacenamiento de información. Asimismo, se tomaron como referencia los enfoques de Laudon y Laudon (2021) sobre sistemas de información empresariales, particularmente en la importancia de integrar datos operativos con herramientas tecnológicas orientadas al análisis y apoyo en la toma de decisiones dentro de las organizaciones.

Resultados:

Se diseñó un modelo entidad-relación para la gestión de información de clientes, vehículos, mantenimientos y repuestos en procesos de posventa. La Figura 1 presenta la estructura propuesta y las relaciones principales entre las entidades del sistema, permitiendo una organización adecuada de la información para futuros procesos analíticos y predictivos.

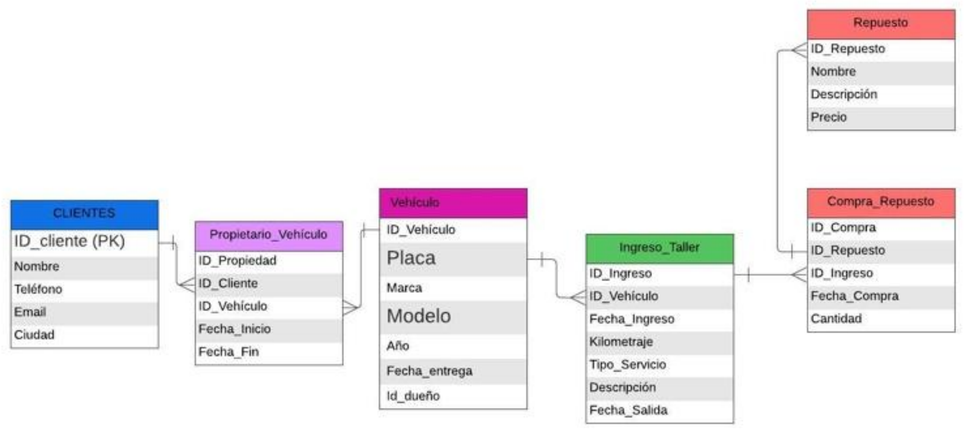


Figura 1. Modelo Entidad-Relación

Conclusiones:

El diseño de la base de datos permitió estructurar de manera coherente la información relacionada con clientes, vehículos, ingresos al taller y repuestos dentro de los procesos de posventa automotriz. La propuesta desarrollada facilita el almacenamiento y organización de datos históricos, permitiendo una mejor gestión de la información y preparando la infraestructura para futuras integraciones con modelos predictivos, sistemas analíticos y plataformas empresariales. Asimismo, la estructura planteada favorece la escalabilidad del sistema y contribuye al fortalecimiento de procesos orientados a la transformación digital en concesionarios automotrices.

Bibliografía:

Elmasri, R., & Navathe, S. (2016). Fundamentals of Database Systems. Pearson.

Silberschatz, A., Korth, H., & Sudarshan, S. (2019). Database System Concepts. McGraw-Hill.

Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2021). Management Information Systems: Managing the Digital Firm. Pearson.

Intervención en Gestión de Riesgo integrado a la Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias - EMRE para las personas con Discapacidad Intelectual en Fundación Lupines del Municipio de Medellín

Tipología: investigación aplicada - intervención educativa

Juan Felipe Flórez Montoya; Luis Miguel Monsalve Barrera; Jennifer Londoño Rojo; Manuel Andrés Zapata

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid (JIC) - Medellín, Colombia

juan_florez02082@elpoli.edu.co | luis_monsalve87202@elpoli.edu.co | jennifer_londono87202@elpoli.edu.co

Resumen

Las personas con discapacidad intelectual enfrentan barreras para comprender alertas, seguir instrucciones y participar de forma segura en evacuaciones. Este estudio evaluó una estrategia formativa inclusiva en la Fundación Lupines de Medellín, integrada al enfoque de Gestión del Riesgo de Desastres y la EMRE municipal.

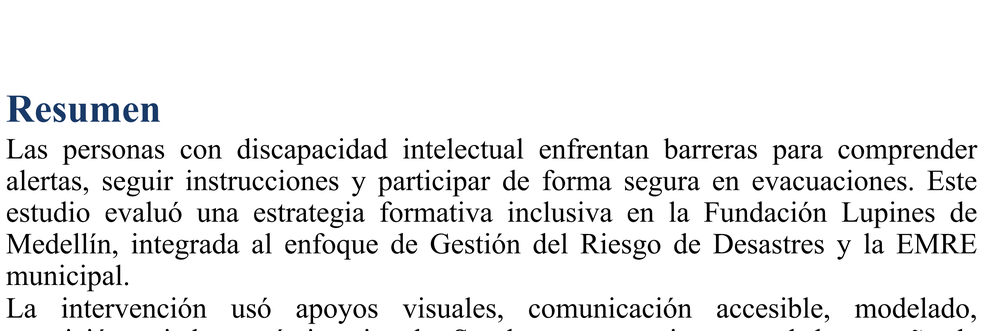
La intervención usó apoyos visuales, comunicación accesible, modelado, repetición guiada y práctica situada. Se observaron mejoras en el desempeño de simulacros, especialmente en el escenario de sismo.

Palabras clave: gestión de riesgos; preparación ante desastres; simulacro; discapacidad intelectual; inclusión social.

Planteamiento del problema

Aunque existen lineamientos de gestión del riesgo, su aplicación en instituciones que atienden población con discapacidad intelectual suele ser general y poco operativa. Persisten brechas en señalización comprensible, protocolos específicos, conteo en punto de encuentro, comunicación durante la emergencia y coordinación con redes de apoyo.

Figura 1. Tiempo promedio de evacuación por escenario y grupo



Objetivo general

Evaluar el efecto de una estrategia formativa inclusiva para fortalecer la preparación ante emergencias en personas con discapacidad intelectual vinculadas a la Fundación Lupines de Medellín.

Objetivos específicos: caracterizar conocimientos y percepciones de estudiantes y educadores; implementar una intervención pedagógica accesible; estimar su efecto en simulacros de incendio y sismo.

Metodología

Estudio mixto aplicado, con integración convergente de resultados cuantitativos y cualitativos, desarrollado entre marzo y noviembre de 2025.

Fase diagnóstica: encuestas a 36 estudiantes con discapacidad intelectual y 26 educadores. Intervención: pictogramas, planos simplificados, videos, alarmas visuales, análisis de tareas, CAA, refuerzo positivo y práctica en el entorno real.

Posprueba: 30 estudiantes elegibles distribuidos aleatoriamente en grupo experimental (n = 15) y control (n = 15). Se midieron tiempos de evacuación, errores y facilitadores/barreras; análisis con t de Student/Mann-Whitney, g de Hedges y codificación temática. Aval ético, consentimiento/asentimiento y participación voluntaria.

Resultados

Estudiantes: 75,0 % había participado en simulacros y 58,3 % se sentía preparado. Hubo brechas en la comprensión del punto de encuentro y el número de emergencia 123.

Educadores: 100 % conocía números de emergencia y 96,2 % participó en simulacros; sin embargo, solo 34,6 % ubicó el punto de encuentro más cercano, 3,8 % conocía un plan específico para discapacidad intelectual y 42,3 % reportó kits adaptados.

Posprueba: el grupo experimental redujo el tiempo de evacuación en incendio (-9,3 %; p = 0,112) y en sismo (-11,9 %; p = 0,019; g = -0,89). El efecto fue significativo y grande en sismo.

Facilitadores: reconocimiento de rutas y puntos, trabajo en equipo y saber qué hacer. Barreras: conteo en punto de encuentro, coordinación y riesgo de dejar personas rezagadas.

Figura 2. Brechas operativas identificadas en educadores

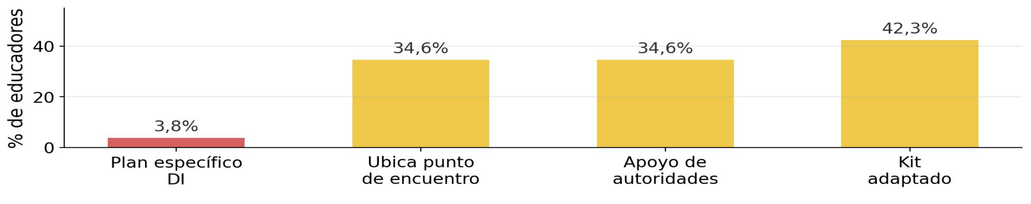


Tabla 1. Indicadores clave del diagnóstico y la posprueba

Componente	n	Indicador	Resultado
Estudiantes	36	Participación en simulacros	75,0 %
Estudiantes	36	Se siente preparado/a	58,3 %
Estudiantes	36	Reconoce punto seguro	61,1 %
Educadores	26	Ubica punto de encuentro	34,6 %
Educadores	26	Conoce plan específico DI	3,8 %
Posprueba	30	Incendio: reducción del tiempo	-9,3 %; p = 0,112
Posprueba	30	Sismo: reducción del tiempo	-11,9 %; p = 0,019; g = -0,89

Fuente de tablas y figuras: elaboración propia con base en los resultados del estudio.

Conclusiones

La estrategia formativa inclusiva fue factible, replicable y útil para mejorar la preparación ante emergencias, con mayor efecto en el simulacro de sismo.

La gestión inclusiva del riesgo requiere protocolos específicos, roles claros, comunicación aumentativa y alternativa, señalización pictográfica, mapas simplificados, simulacros periódicos y estrategias de conteo.

Se recomienda articular a familias, educadores, autoridades locales y organismos de socorro para que la preparación trascienda el espacio institucional.

Bibliografía seleccionada

1. United Nations. Convention on the Rights of Persons with Disabilities. 2006. 2. UNDRR. Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. 2015. 3. UNDRR. 2023 Global Survey Report on Persons with Disabilities and Disasters. 2023.
4. Ministerio de Salud y Protección Social. Resolución 1197 de 2024. 5. Ronoh S, Gaillard JC, Marlowe J. Int J Disaster Risk Sci. 2015;6:38-48. 6. Newman M, Leochico CFD. J Clim Change Health. 2022;8:100145.
7. Park EY. Behav Sci. 2023;13:1018. 8. Hostetter H et al. J Build Eng. 2024;84:108578. 9. Stjernholm L et al. Prog Disaster Sci. 2025;25:100502. 10. Alcaldía de Medellín. Decreto 1240 de 2015.

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Riesgo por avenida torrencial en la quebrada Malpaso, Robledo Aures 2, Medellín

Tipología: investigación aplicada - estudio descriptivo mixto

Juan Felipe Flórez-Montoya; Daniela Londoño-Espinosa; Verónica Vanessa García-Pabón
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid (JIC) - Medellín, Colombia
juan_florez02082@elpoli.edu.co | daniela_londono11191@elpoli.edu.co | veronica_garcia11191@elpoli.edu.co

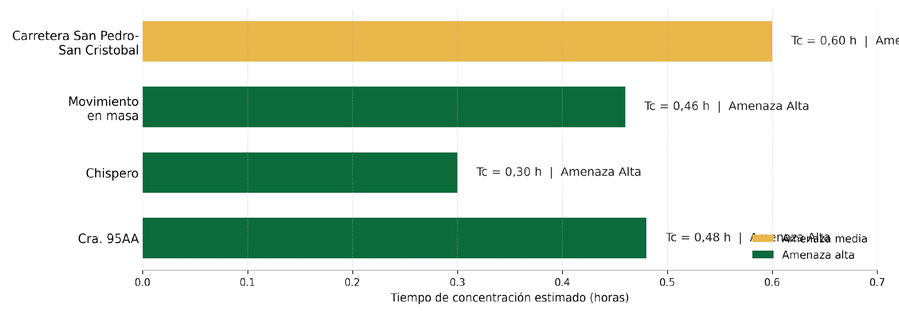
Resumen

Las avenidas torrenciales en cuencas urbanas de montaña son amenazas súbitas para población, infraestructura y continuidad territorial.
En Robledo Aures 2 se caracterizó la amenaza en la quebrada Malpaso mediante análisis morfométrico, ecuación de Kirpich e Índice de Amenaza por Crecidas Torrenciales (IACTC).
También se encuestó a 45 residentes sobre alerta temprana, pérdidas y preparación. Se evidencian respuesta hidrológica rápida, sectores de amenaza alta y baja apropiación comunitaria de la alerta.
Palabras clave: inundaciones repentinas; reducción del riesgo de desastres; alerta temprana; vulnerabilidad.

Planteamiento del problema

La quebrada Malpaso atraviesa un entorno urbano de ladera con antecedentes de obstrucciones, erosión y desbordamientos durante lluvias intensas.
La ocupación del corredor hídrico, residuos, estrechamientos y taludes inestables aumentan la exposición de viviendas, vías e infraestructura.
Persisten brechas en la "última milla" de la alerta: comprensión del riesgo, participación comunitaria y coordinación con instituciones.

Figura 1. Clasificación de amenaza y tiempo de concentración por segmentos



Objetivo general

Caracterizar la amenaza por avenida torrencial en la quebrada Malpaso y describir la percepción comunitaria sobre alerta temprana y afectaciones previas en Robledo Aures 2, Medellín.
Objetivos específicos: analizar morfometría del cauce; estimar tiempo de concentración; clasificar la amenaza con IACTC; identificar puntos críticos y valorar conocimiento, pérdidas y participación comunitaria.

Metodología

Estudio descriptivo de enfoque mixto, realizado entre junio y septiembre de 2024 en el corredor de la quebrada Malpaso, barrio Robledo Aures 2.
Componente físico: revisión cartográfica, verificación en campo, registro de afluentes, longitud del cauce, pendientes y cálculo de tiempo de concentración con la ecuación de Kirpich.
Clasificación semicuantitativa de amenaza por segmentos con IACTC e identificación de puntos críticos por obstrucción, socavación, desbordamiento e inestabilidad de taludes.
Componente social: encuesta estructurada a 45 residentes, análisis de frecuencias y porcentajes, participación voluntaria, anónima y con consentimiento informado.

Resultados

Parámetros físicos: 12 afluentes, cauce principal de 7,232 km, pendiente media de 26,78 %, pendiente longitudinal del tramo de 0,15 y Tc de 0,30 a 0,60 horas.
IACTC: amenaza media en Carretera San Pedro-San Cristóbal y amenaza alta en Movimiento en masa, Chispero y Carrera 95AA.
Puntos críticos: obstrucciones hidráulicas, movimientos en masa, erosión, posibles bloqueos de flujo, crecientes y desbordamientos en Carrera 98, calle 79 con diagonal 95, calle 79B, Carrera 95 y Chispero.
Encuesta (n=45): 42,2 % no conoce componentes de alerta temprana; 73,3 % no participó en actividades formales de gestión del riesgo; 91,1 % no reportó pérdidas previas.

Figura 2. Conocimiento comunitario, alerta temprana y participación en preparación

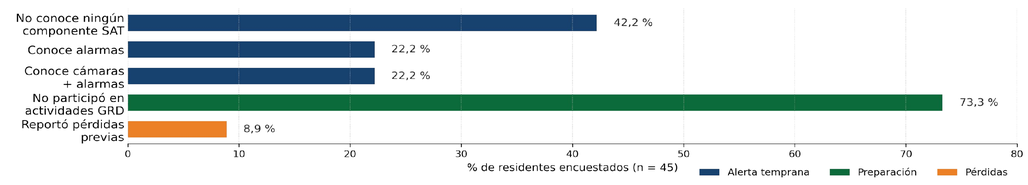


Tabla 1. Parámetros físicos, amenaza y percepción comunitaria

Componente	Indicador	Valor	Lectura
Morfometría	Número de afluentes	12	Múltiples aportes.
Morfometría	Cauce principal	7,232 km	Corredor urbano de ladera.
Morfometría	Pendiente media	26,78 %	Respuesta rápida.
Hidrología	Tc estimado	0,30-0,60 h	Concentración menor de 1 h.
Amenaza	Carretera San Pedro-San Cristóbal	Media	Monitoreo y mantenimiento.
Amenaza	Mov. en masa, Chispero, Cra. 95AA	Alta	Intervención prioritaria.
Encuesta	No conoce componentes SAT	42,2 %	Brecha de alerta.
Encuesta	No participó en actividades GRD	73,3 %	Baja preparación formal.

Conclusiones

La cuenca de la quebrada Malpaso favorece respuestas hidrológicas aceleradas y amenaza heterogénea por tramos.
Los sectores de amenaza alta y los puntos críticos por obstrucción, desbordamiento y erosión exigen mantenimiento preventivo del corredor hídrico.
La baja apropiación comunitaria de la alerta requiere educación, comunicación del riesgo, simulacros barriales y rutas de coordinación con la respuesta institucional.
Los hallazgos orientan mantenimiento, señalización de puntos críticos, protocolos locales de alerta temprana y acciones preventivas focalizadas.

Bibliografía seleccionada

1. Duan L. et al. Remote Sens. 2022;14:5432. 2. Aristizábal E. et al. Cuad Geogr Rev Colomb Geogr. 2020;29(1):242-258. 3. Arango MI. et al. Nat Hazards. 2021;105:983-1012. 4. Guerrero-Hoyos LA, Aristizábal-Giraldo EV. Rev EIA. 2019;16(32):97-111. 5. Congreso de Colombia. Ley 1523 de 2012.
6. Servicio Geológico Colombiano. Guía metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales. 2021. 7. Herrera-López AC et al. Rev Estud Exp Educ. 2025;24(56):301-335. 8. Henao Salgado MJ et al. Int J Disaster Risk Reduct. 2025;116:105126. 9. Luna CC et al. Environ Chall. 2025;20:101199. 10. Builes-Jaramillo A et al. Nat Hazards Earth Syst Sci. 2025;25:4451-4473.

Fuente de tablas y figuras: elaboración propia con base en cartografía, recorridos de campo y encuesta comunitaria (n = 45).

SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN GRED Gestión del riesgo de emergencias y desastres

GHYGAM GRUPO DE HIGIENE Y GESTIÓN AMBIENTAL

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Estimación de almacenamiento de carbono en individuos arbóreos mediante modelación ecosistémica: caso Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid (Investigación Terminada)

Dora Luz Yepes Palacio y Juan Camilo Zapata Zapata

Semillero de Gestión Ambiental Urbana - GAU

dlyepes@elpoli.edu.co y Juan_zapata87201@elpoli.edu.co

Resumen:

El arbolado urbano contribuye a la mitigación del cambio climático mediante el almacenamiento de carbono. Este estudio estimó el carbono almacenado por el arbolado del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, sede central Medellín, mediante i-Tree Eco (U.S Forest Service - USFS et al., 2024) . Se realizó un censo de 343 individuos arbóreos pertenecientes a 42 especies con DAP ≥ 10 cm. Los resultados indican que el arbolado institucional almacena aproximadamente 562 toneladas de carbono, siendo el Urapan (Fraxinus uhdei) la especie con mayor aporte al almacenamiento total. Los hallazgos evidencian la importancia del arbolado urbano institucional como estrategia de sostenibilidad y mitigación del cambio climático.

Planteamiento del problema:

El planteamiento del problema se relaciona en la figura 1.

Figura 1.



Objetivo general:

Estimar el secuestro de carbono de los individuos arbóreos del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, sede central Medellín, mediante el uso de i-Tree Eco, con el fin de aportar información para estrategias institucionales de sostenibilidad y mitigación del cambio climático.

Metodología:

Se realizó un censo del 100 % de los individuos arbóreos presentes en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, sede central Medellín, considerando únicamente aquellos con diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm. Durante el trabajo de campo se registraron variables dasométricas como especie, diámetro y características estructurales de cada individuo arbóreo.Posteriormente, la información recopilada fue organizada y procesada mediante i-Tree Eco, herramienta de modelación ecosistémica utilizada para estimar servicios ecosistémicos asociados al arbolado urbano, específicamente el almacenamiento y secuestro de carbono.Finalmente, los resultados obtenidos fueron analizados para identificar las especies con mayor aporte al almacenamiento de carbono y evaluar la contribución del arbolado institucional a estrategias de sostenibilidad y mitigación del cambio climático.

Resultados:

Figura 2. Composición de las especies del arbolado institucional

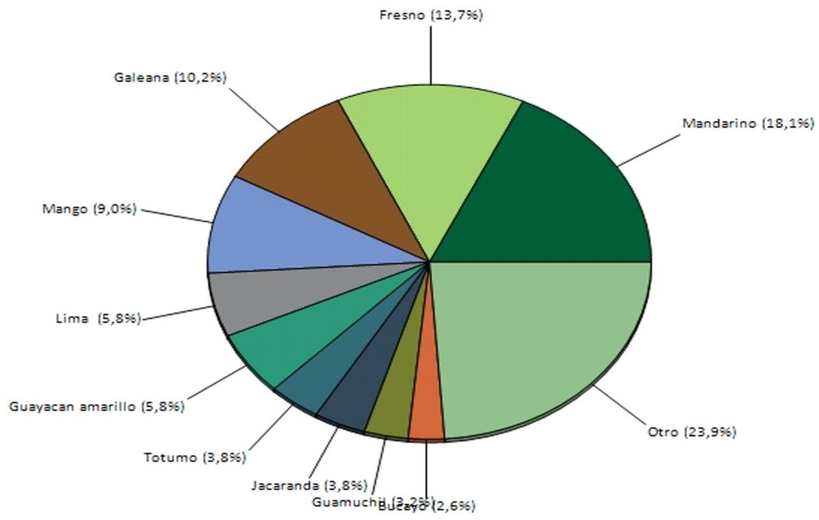
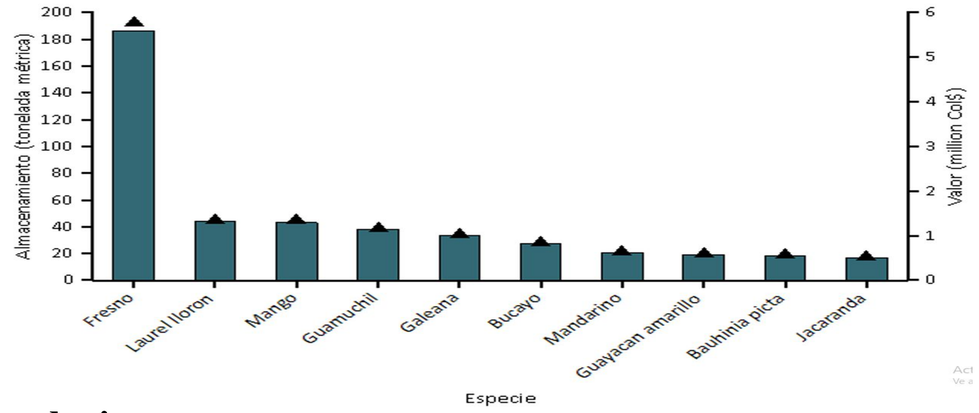


Figura 3. Especies que mas carbono almacenan en el PCJIC



Conclusiones:

El arbolado del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, sede central Medellín, representa un aporte importante a la mitigación del cambio climático mediante el almacenamiento de carbono.

La aplicación de i-Tree Eco permitió estimar de manera integral el potencial de secuestro y almacenamiento de carbono del arbolado institucional, constituyéndose como una herramienta útil para la gestión ambiental urbana.

Se identificó que especies como el fresno (Fraxinus uhdei) presentan una mayor contribución al almacenamiento de carbono, evidenciando que este potencial depende no solo de la cantidad de individuos, sino también de las características estructurales y fisiológicas de cada especie.

Bibliografía:

U.S Forest Service - USFS, Davey Tree Expert Company, Arbor Day Foundation, Urban and Community Forestry Society - UCFS, International Society of Arboriculture - ISA, Casey Trees, SUNY College of Environmental Science and Forestry - ESF, National Association of State Foresters, & American Forests. (2024).

I-Tree Eco (Versión 6.0.40) [Software]. https://canopy.itreetools.org/

WMO. (2026, marzo 16). State of the Global Climate 2025. World Meteorological Organization.

https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate/state-of-global-climate-2025

GAU Semillero de Gestión Ambiental Urbana

GHYGAM GRUPO DE HIGIENE Y GESTIÓN AMBIENTAL

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Implementación y Evaluación de un Clúster Universitario para Despliegue Experimental de Modelos de Inteligencia Artificial en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

David Alejandro Antolinez Chavarro
Darwin David Castaño Hernandez
Profesor Asesor: Jorge Ernesto Espinosa Oviedo, PhD
SIIC (Semillero en Inteligencia Computacional)
david_antolinez82222@elpoli.edu.co, darwin_castano82222@elpoli.edu.co, jeespinosa@elpoli.edu.co

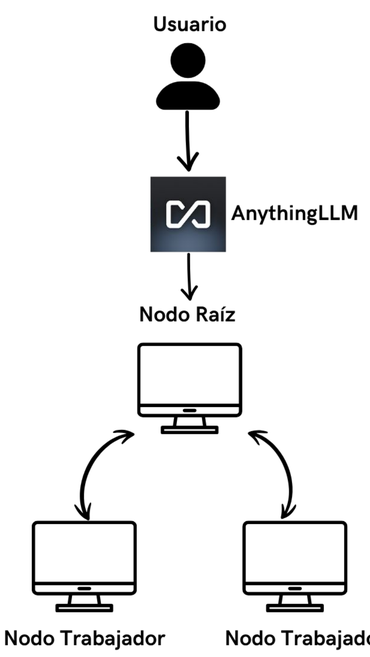
Resumen:
El proyecto propone la implementación de un **clúster de cómputo** utilizando **equipos existentes** en la institución para el despliegue y ejecución de **LLMs (Large Language Models)**, democratizando el acceso a la **computación distribuida para IA** en entornos educativos con presupuestos limitados. Esta solución de **bajo costo** permitirá la formación académica y proyectos de investigación en **inteligencia artificial**, además de aumentar la seguridad de los datos al no depender de servicios de terceros.

Planteamiento del problema:
- Alta demanda de profesionales en IA vs. limitada formación e infraestructura en el Politécnico
- Soluciones en la nube: costosas y no adaptadas a necesidades académicas específicas
- Clústeres HPC tradicionales: prohibitivos para instituciones educativas (Jaramillo, 2025).
- No se tiene el total control y privacidad de los datos usando servicios en la nube.

Pregunta de investigación:

¿De qué manera es posible aprovechar y organizar los recursos computacionales disponibles en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid en un **clúster distribuido** que facilite la experimentación óptima con **modelos de Inteligencia Artificial**?

Figura 1.

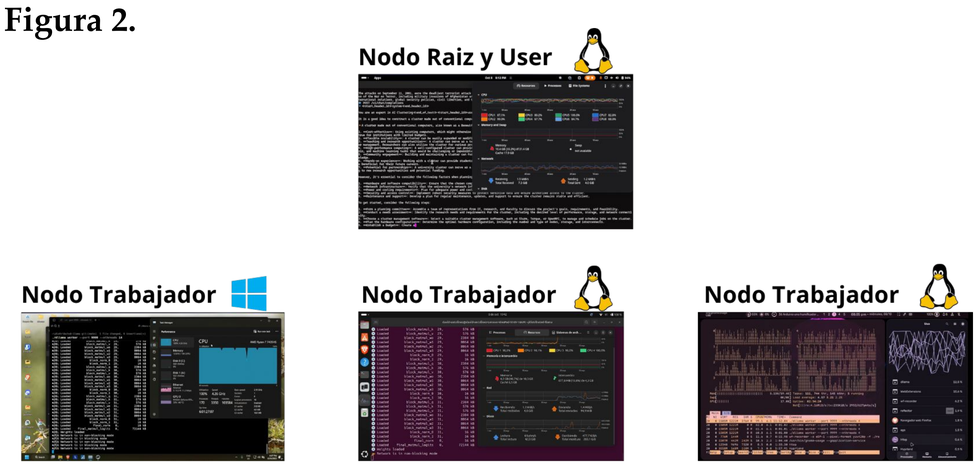


Arquitectura de Dllama realizado en canva

Justificacion:
En síntesis, la justificación de este proyecto se fundamenta en múltiples evidencias científicas: se valida la viabilidad técnica de construir un clúster educativo con equipos existentes (Holmes & Kureshi, 2015); se establece la necesidad de prever su sostenibilidad operativa (Lee Huamaní et al., 2019); y se reconoce, apoyándose en precedentes como Jaramillo (2025), que la universidad dispone de 16 salas de cómputo que pueden ser aprovechadas para maximizar la capacidad instalada. Asimismo, se resalta la importancia de proteger la privacidad de la información mediante el uso de infraestructura local. Con base en estas evidencias, el proyecto contribuirá al desarrollo tecnológico institucional y aportará aprendizajes sobre gestión y escalabilidad de **sistemas de LLMs.**

Objetivo general:
Validar la viabilidad técnica y funcional de un clúster de **cómputo distribuido,** utilizando la **infraestructura existente** del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, para el despliegue experimental de **modelos de Inteligencia Artificial** en contextos de docencia, investigación y desarrollo.

Figura 2.



Prueba realizada con portatiles con características similares a las salas

Metodología:
Tipo: Investigación aplicada y exploratoria con enfoque cuantitativo-experimental.
Muestra: Computadores de una sala de cómputo del Politécnico interconectados en red local (entre 15 y 20 equipos dependiendo de la sala), los equipos cuentan con una cpu AMD Ryzen 5 o 7, 16 gb de Ram y no cuentan con tarjeta GPU dedicada.
Métricas:
- Velocidad de generación (tokens/segundo)
- Capacidad de cómputo (TFLOPS)
- Tiempos de ejecución
- Consumo energético

Resultados Parciales:

Viabilidad Técnica:
- Ejecución de **LLMs open-source** mediante herramientas de orquestación (Figura 1)
- Aplicación tangible con **AnythingLlm** para consumir el LLM ejecutado.
- Medición de velocidad de generación (tokens/segundo), capacidad de cómputo (FLOPS) y consumo energético.

Impacto Institucional:
- Solución costo-efectiva para reducir brecha tecnológica
- Base para integración en docencia e investigación
- Modelo replicable para otras instituciones.
- Aprovechamiento del poder de computo universitario en horarios disponibles.
- Privacidad de datos institucionales

Se entregará un diagnóstico de ventajas, limitaciones y recomendaciones para optimización y sostenibilidad del clúster

Conclusiones:
Se espera que la implementación y experimentación del cluster genere:
- Generación de tokens a velocidad razonable con escalabilidad fuerte
- Consumo energético elevado pero dentro de márgenes prácticos
- Cuello de botella esperado: velocidad de red en configuraciones multi-nodo

En conclusión se va a validar que un clúster con estas características es una solución viable y de bajo costo para superar la falta de infraestructura especializada en IA.

Bibliografía:
Jaramillo Sánchez, J. (2025). Implementación de un cluster HPC utilizando single-board computers. Trabajo de grado. Universidad de Antioquia. Disponible en: https://hdl.handle.net/10495/45768
Shu, P., Chen, J., Liu, Z., Zhao, H., Li, X., & Liu, T. (2025). Survey of HPC in US Research Institutions. arXiv preprint arXiv:2506.19019.
Holmes, V., & Kureshi, I. (2015). Developing high performance computing resources for teaching cluster and grid computing courses. Procedia Computer Science, 51, 1714–1723. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.310
Tadych, B. (s/f). distributed-llama: Distributed LLM inference. Connect home devices into a powerful cluster to accelerate LLM inference. More devices means faster inference.
Huamaní, E. L., Condori, P., & Roman-Gonzalez, A. (2019). Implementation of a Beowulf Cluster and Analysis of its Performance in Applications with Parallel Programming. International Journal Of Advanced Computer Science And Applications, 10(8). https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0100869

Diseño e implementación de un sistema embebido para el control automatizado de riego en cultivos a pequeña escala con inteligencia artificial.

Maria Juana Muñera Orrego - Leidi Otálvaro Quintero

Profesor: Alirio Antonio Gutiérrez Quintero

Semillero de investigación en Sistemas Embebidos con IA

Resumen:

El proyecto propone el diseño de un sistema embebido para automatizar el riego en cultivos a pequeña escala, mediante sensores de humedad del suelo, temperatura y humedad ambiental. El sistema permite tomar decisiones en tiempo real, optimizando el uso del agua y reduciendo la intervención humana. Se integra comunicación Bluetooth y componentes básicos de inteligencia artificial para mejorar la eficiencia del sistema

Planteamiento del problema:

Descripción del problema que soporta al estudio: En el Oriente Antioqueño, el riego agrícola se realiza en muchos casos de forma manual, sin considerar variables ambientales en tiempo real. Esto genera:

- Uso ineficiente del agua
- Riesgo de sobre-riego o déficit hídrico
- Baja productividad en cultivos (especialmente flores)
- Falta de herramientas tecnológicas accesibles
- Se requiere una solución automatizada que optimice el riego con base en datos reales.

Figura 1. *Tecnología Embebida para Cultivos a Pequeña Escala*



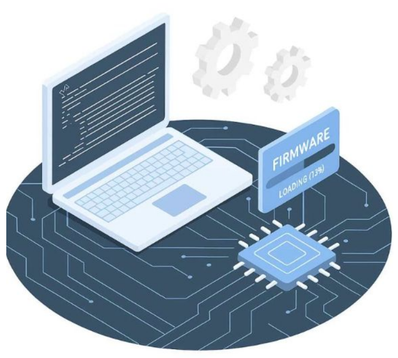
Objetivo general:

Diseñar e implementar un sistema embebido que automatice el riego mediante el monitoreo en tiempo real de variables ambientales, incorporando técnicas básicas de inteligencia artificial.

Metodología:

La investigación es de tipo aplicada con un diseño experimental, enfocada en desarrollar y validar un prototipo de riego automatizado a escala. Se emplea un enfoque cuantitativo, mediante la medición en tiempo real de variables como humedad del suelo, temperatura y humedad ambiental usando sensores.

La población corresponde a sistemas de riego en cultivos a pequeña escala del Oriente Antioqueño, y la muestra es el prototipo implementado. Los datos se recolectan y procesan mediante umbrales, reglas automatizadas y técnicas básicas de inteligencia artificial, siguiendo fases de diseño, montaje, programación y validación del sistema.



LOGO SEMILLERO DE INVESTIGACION

Resultados:

Estos debe Se espera desarrollar un prototipo funcional a escala de un sistema de riego automatizado que permita monitorear variables ambientales y activar el riego de manera autónoma, validando su funcionamiento en un entorno controlado y fortaleciendo competencias en sistemas embebidos, electrónica y programación.

Resultados esperados

- Reducción del consumo de agua en al menos un 20% frente a riego manual simulado
- Precisión del sistema ≥ 90% en la activación del riego según umbrales definidos
- Tiempo de respuesta del sistema ≤ 2 segundos ante cambios en la humedad del suelo
- Disponibilidad del sistema ≥ 95% durante las pruebas de monitoreo continuo

Figura 2. *Sensores Reales y Microcontrolador del Sistema*

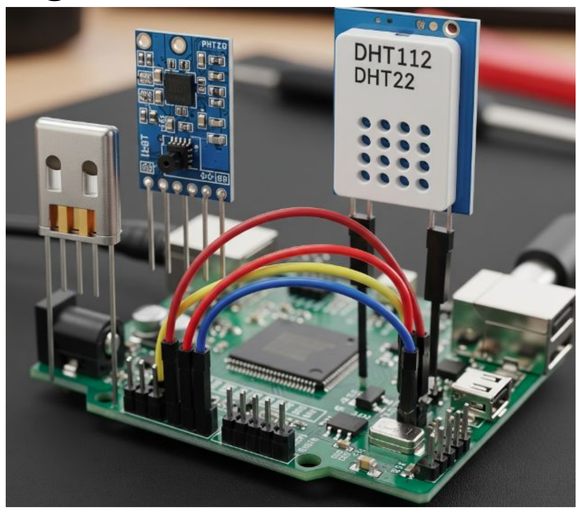


Tabla 1. *Validación del sistema de riego automatizado*

Variable medida	Umbral definido	Acción del sistema	Resultado esperado
Humedad del suelo baja	< 40%	Activar riego	Aumento de humedad del suelo
Humedad del suelo alta	> 70%	Desactivar riego	Evitar sobre-riego
Temperatura elevada	> 30°C	Ajuste de frecuencia	Optimización del riego
Datos estables	Rango normal	Sin acción	Ahorro de agua

Conclusiones:

- Se evidencia la viabilidad de implementar un sistema embebido para el control automatizado del riego en cultivos a pequeña escala
- La integración de sensores y actuadores permite optimizar el uso del agua mediante decisiones basadas en datos en tiempo real
- La incorporación de inteligencia artificial y el desarrollo del prototipo fortalecen competencias tecnológicas y abren posibilidades de mejora continua del sistema

Bibliografía:

- Vera, D., Cárdenas, M., & Espinosa, L. (2011). Sistema de riego por aspersión. Mendoza Samperio, G. C., et al. (s.f.). Sistema de riego automatizado.
- Martínez, G. A. L., et al. (2013). Modelo de riego automatizado con energía solar. Tecnura, 17, 33–47.
- Huerta Arenas, G., et al. (2012). Sistema automático de recuperación de agua.

Retroalimentación inmediata en el Proyecto Pedagógico Integrador: Software para la gestión de e-rúbricas y evaluación de competencias

Steven Puerta Monsalve - Luisa María Gómez A. – Claudia Alejandra Rosero N.

SIIC (Semillero de Investigación en Inteligencia Computacional)

steven_puerta23212@elpoli.edu.co - luisa_gomez23212@elpoli.edu.co – carosero@elpoli.edu.co

Resumen:

El Proyecto Pedagógico Integrador (PPI) del programa Técnica Profesional en Programación de Sistemas de Información (TPPSI) del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid carece de herramientas digitales para gestionar la evaluación por competencias de forma sistemática. Este proyecto propone el desarrollo de un software web cliente-servidor con backend RESTful que permite la gestión de e-rúbricas y el seguimiento de competencias en tiempo real. Fundamentado en la evaluación formativa y la retroalimentación efectiva. (Eslava de la Cruz et al., 2024)

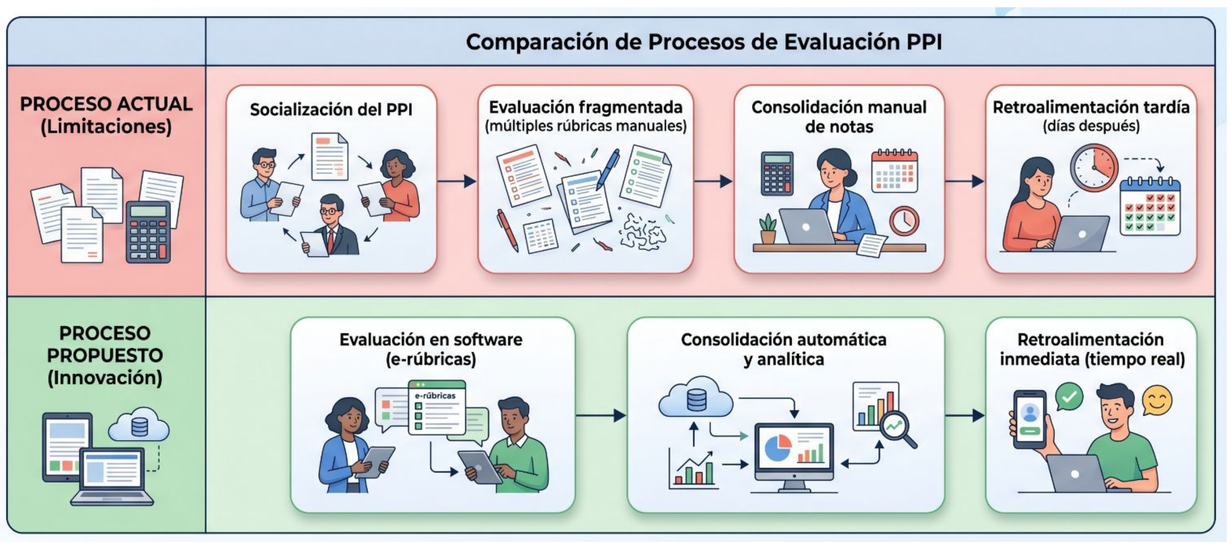
Planteamiento del problema:

Descripción del problema que soporta al estudio La evaluación en el PPI se realiza actualmente mediante rúbricas en papel o formatos digitales no integrados, impidiendo la retroalimentación inmediata y dificulta el seguimiento de las competencias (Santos et al., 2024). En la figura 1 se presenta una comparación del proceso de evaluación del PPI.

- No existe un repositorio de rúbricas: los docentes construyen sus rúbricas de evaluación de forma individual.
- Demora en la retroalimentación: la consolidación manual de calificaciones implica que los estudiantes reciben sus notas días después de la socialización.
- Fragmentación de la información e inexistente seguimiento por competencias a lo largo de los semestres.

Pregunta de investigación: *¿Cómo puede un software de seguimiento de competencias, integrado al proceso de evaluación del PPI, mejorar la retroalimentación y el análisis del desempeño de los estudiantes del programa TPPSI?*

Figura 1.



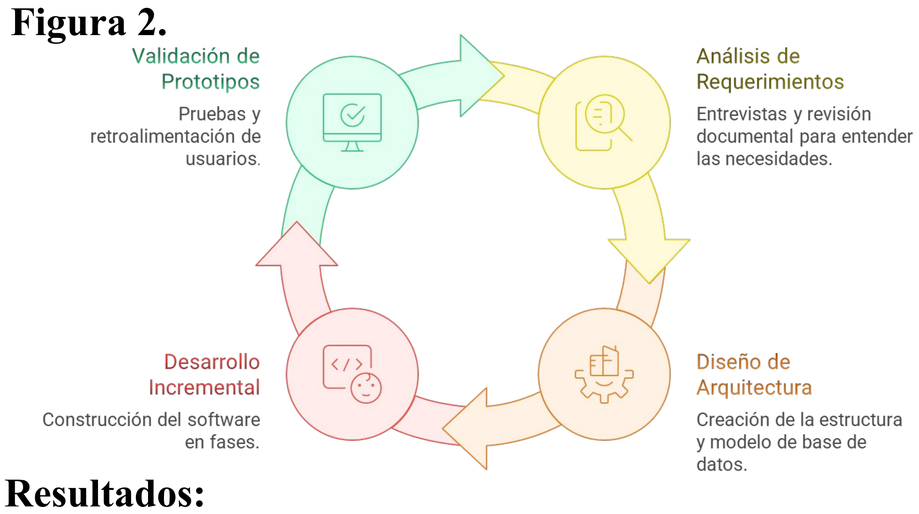
Objetivo general:

Desarrollar un software para el seguimiento de competencias actitudinales, procedimentales y cognitivas de los estudiantes de la TPPSI del Politécnico CJIC, mediante la gestión automatizada de rúbricas de evaluación y la generación de estadísticas de resultados de aprendizaje en el marco del PPI.

Metodología:

Se emplea una investigación aplicada de tipo mixto con un diseño cuasi-experimental. La población incluye docentes y estudiantes del programa TPPSI. Las fases del proyecto se plantean en la figura 2.

Figura 2.



Resultados:

El proyecto está enmarcado bajo una investigación en curso, y los resultados obtenidos a la fecha están asociados a los objetivos y al ciclo de vida del desarrollo de software. Ver tabla 1.

Tabla 1.

Fase del proyecto	Estado	Logros
1. Requisitos	Completado	4 módulos / 3 perfiles
2. Diseño	Completado	Modelado de la BD Arquitectura C/S
3. Desarrollo	En Proceso	Implementación de Módulos: Usuarios, roles, avance en banco de rúbricas y evaluación
4. Pruebas	En Proceso	Pruebas unitarias

Conclusiones:

El software propuesto facilitará un ciclo de retroalimentación inmediata, factor con impacto en el aprendizaje. Además, permitirá a los profesores realizar un seguimiento efectivo de las competencias y tomar decisiones tempranas basadas en la analítica del desempeño estudiantil.

Bibliografía:

Eslava De La Cruz, J. G., Eslava De La Cruz, C. K., y Godoy Pereyra, Y. R. (2024). La retroalimentación efectiva en la transformación digital en estudiantes de una universidad pública de Ica, 2023. Revista de Climatología, 24 (Edición Especial Ciencias Sociales), 647-673. https://doi.org/10.59427/rcli/2024/v24cs.647-673.

Santos A., van der Worp, K., Lukas J., Aramendi P. y Arrieta E. (2024). La evaluación de los estudiantes en los másteres de Ciencias Sociales en la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), España. *Revista Complutense de Educación*, *35*(1), 103-114. https://doi.org/10.5209/rced.82708

Tobón, S. (2013). Formación integral y competencias: Pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación (4.a ed.). ECOE Ediciones.

POSTERS PROYECTOS DE AULA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Propuesta de manejo integral de residuos sólidos en viviendas rurales en Bocas del Atrato (Turbo – Antioquia)

Alejandro Mesa Muñoz y David Ramírez Villada

Profesor Asesor: Silvana Bolaños Chavarría

Trabajo de grado - Semillero ISAII – Innovación y Sostenibilidad Aplicadas a Infraestructuras en Ingeniería Civil

alejandro_mesa01191@elpoli.edu.co, david_ramirez95201@elpoli.edu.co

Resumen:

El proyecto aborda la necesidad de mejorar el manejo de residuos sólidos en el corregimiento de Bocas del Atrato mediante estrategias de diagnóstico, prevención y participación comunitaria. Se analizan factores sociales, tecnológicos y económicos para proponer soluciones técnicas basadas en datos reales en viviendas rurales.

Planteamiento del problema:

La deficiente infraestructura y el manejo inadecuado de residuos han generado impactos negativos en la salud pública y el equilibrio ecológico, agravados por la falta de estrategias integrales que promuevan un uso responsable de los recursos y un entorno sostenible.

¿De qué manera la caracterización por medio de encuestas y su posterior análisis y evaluación del manejo actual de residuos sólidos en el corregimiento de Bocas del Atrato pueden contribuir al diseño de estrategias sostenibles que mejoren la salud pública y las prácticas comunitarias para la disposición final?

Objetivo general:

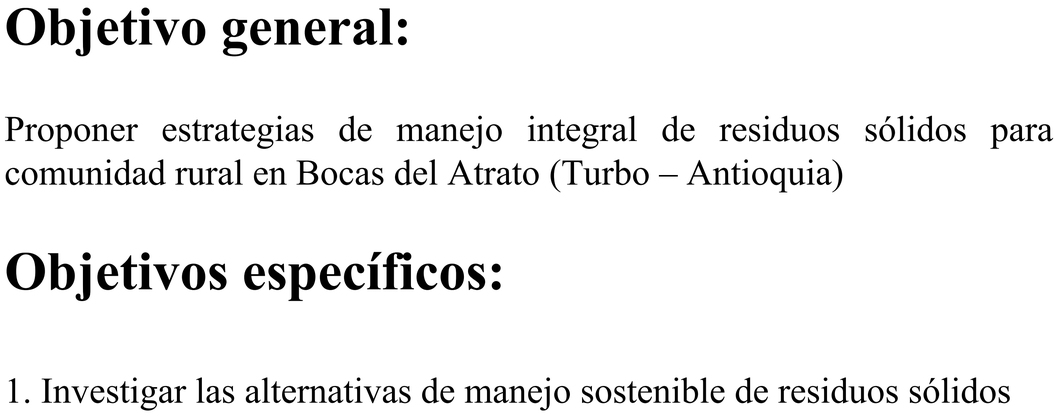
Proponer estrategias de manejo integral de residuos sólidos para la comunidad rural en Bocas del Atrato (Turbo – Antioquia)

Objetivos específicos:

1. Investigar las alternativas de manejo sostenible de residuos sólidos aplicable a viviendas rurales.
2. Diseñar y aplicar encuestas a la comunidad de Bocas del Atrato para caracterizar los residuos sólidos generados.
3. Identificar lineamientos de manejo integral de residuos sólidos orientados a la comunidad rural de bocas de Atrato.

Metodología:

Figura 1.



Resultados:

Figura 2.

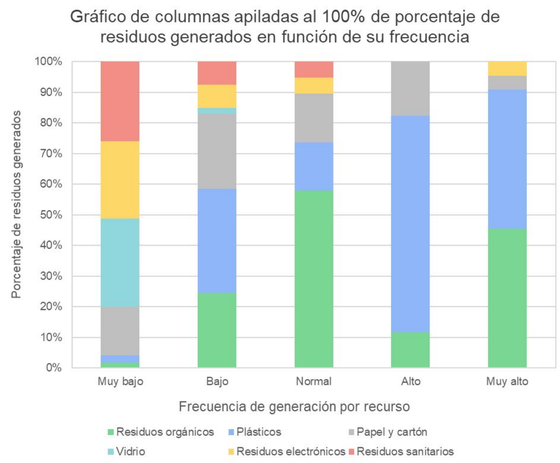


Figura 3.

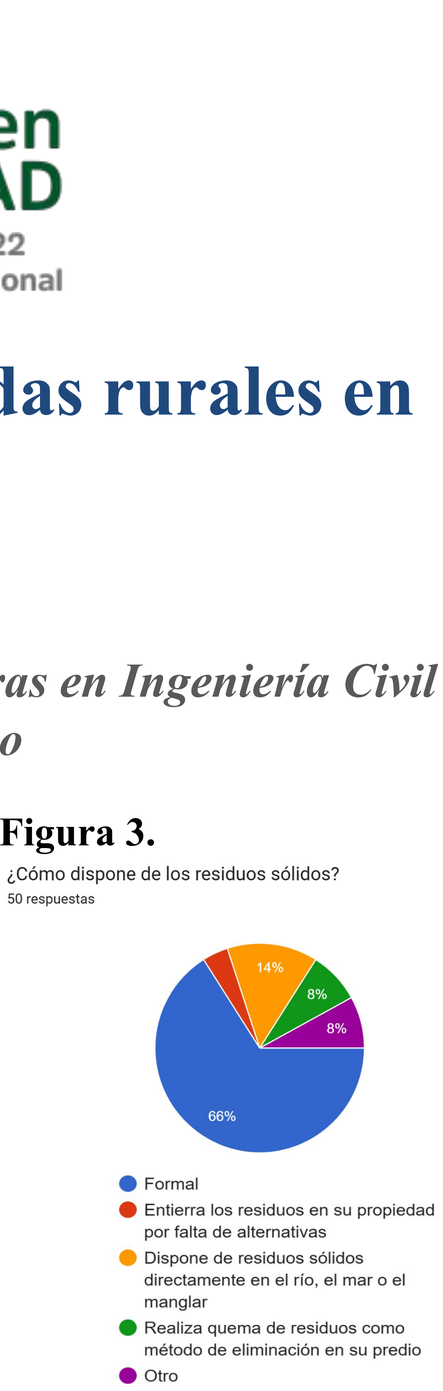


Figura 4.



Conclusiones:

En Bocas del Atrato se evidenció que las problemáticas en la gestión de residuos sólidos están asociadas a la falta de infraestructura, las dificultades de acceso y la necesidad de fortalecer la educación ambiental, factores que favorecen prácticas inadecuadas de disposición y afectan las fuentes hídricas. Frente a esta situación, la separación en la fuente, el compostaje, el aprovechamiento de materiales reciclables mediante centros de acopio y la educación ambiental se identifican como alternativas viables para mejorar la gestión de residuos en la comunidad.

Bibliografía:

Gutiérrez Castaño, A., & Tamayo Rueda, M. S. (2025). Gestión integral de residuos sólidos en proyectos de viviendas rurales en Bocas del Atrato (Turbo – Antioquia) (Trabajo de grado). Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2025). Programa Basura Cero- https://www.minambiente.gov.co/colombia-lanza-el-programa-basura-cero-para-transformar-la-gestion-de-residuos/

ISAII
SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN EN INNOVACIÓN Y SOSTENIBILIDAD APLICADAS A INFRAESTRUCTURAS EN INGENIERÍA CIVIL

GIS Grupo de Investigación en Ingeniería Sostenible

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Análisis técnico de los Planes de Manejo de Microcuencas en el Valle de Aburrá y su incidencia en la dinámica de inundaciones urbanas

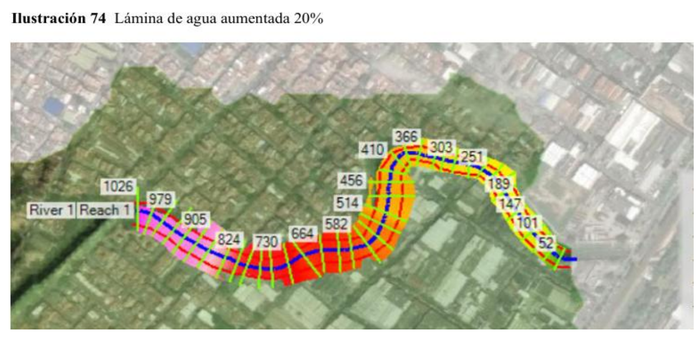
Laura Cristina David David y Mayerli Andrea Morales Barón
Trabajo de grado - Asesora Silvana Bolaños
Facultad de Ingeniería - Programa de Ingeniería Civil



Figura 2. La Volcana - lámina Q500 +20 %



Figura 3. Doña María - lámina TR100 +20 %



Problema

Los planes existentes fueron formulados con condiciones territoriales anteriores a la presión urbana actual, donde la alta urbanización y la ocupación de rondas aumentan la escorrentía y elevan la exposición al desbordamiento durante lluvias intensas. Evaluando cobertura del suelo, urbanización, vegetación y ronda hídrica, lámina de agua, profundidad, velocidad del flujo y capacidad hidráulica.
Secciones críticas y respuesta del cauce ante mayor caudal.

Objetivo General

Realizar un análisis crítico de los planes de ordenación y manejo de tres quebradas del Valle de Aburrá y evaluar su incidencia en la dinámica de inundaciones urbanas.

Metodologia

- Revisión documental de planes de manejo, POMCA y antecedentes de inundación.
- Diagnóstico de tres microcuencas priorizadas por presión urbana y cambios de cobertura.
- Análisis multitemporal de coberturas con información cartográfica y MapBiomas.
- Modelación hidráulica en HEC-RAS: profundidad, velocidad, superficie de agua y escenarios +10 % y +20 %.

Tabla 1. Síntesis de escenarios hidráulicos

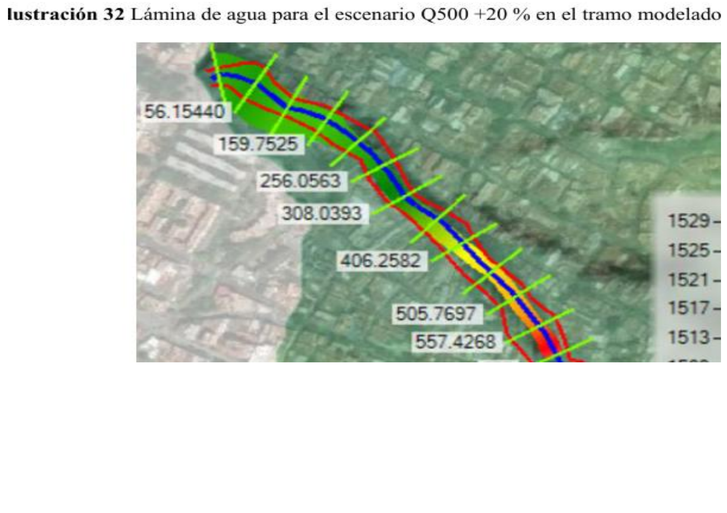
Microcuenca	Escenario	Aumento de lámina
Santa Elena	Q500 +20 %	0,07 a 0,24 m
La Volcana	Q500 +20 %	0,05 a 0,15 m
Doña María	TR100 +20 %	0,11 a 0,38 m

Hallazgo principal

La respuesta hidráulica más sensible se observó en Doña María, donde el escenario TR100 +20 % elevó la lámina hasta 0,38 m. Esto refuerza la necesidad de revisar ocupación de ronda, mantenimiento y capacidad del cauce en sectores críticos.

Laminas de agua

Figura 1. Santa Elena - lámina Q500 +20 %



Recomendaciones

Actualizar cartografía, coberturas, caudales de diseño y zonas críticas.
Priorizar mantenimiento hidráulico: sedimentos, residuos, vegetación y obstrucciones.
Articular planes de microcuenca con POT, gestión del riesgo y control de ocupación en ronda de 30 m.

Conclusión

La gestión debe integrar cauce, ronda hídrica, uso del suelo y control urbano con información reciente.

Bibliografía

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2007). Plan de ordenación y manejo de la microcuenca de la quebrada Santa Elena, municipio de Medellín (No. 26). Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia [Corantioquia]. (2023). Informe técnico: Reglamentación de usos del agua y vertimientos – Quebrada Doña María.

ISAII Semillero de Investigación en Innovación y Sostenibilidad Aplicadas a Infraestructuras en Ingeniería Civil

GIS Grupo de Investigación en Ingeniería Sostenible

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Fuente de figuras: elaboración propia a partir de HEC-RAS y ArcGIS Pro.

Modelo estratégico para la transformación sostenible del campus del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid – Sede Medellín

Laura Sofía Tabarez Ospina
Daniela Cruz Jiménez
Semillero ISAII
laura_tabarez95192@elpoli.edu.co
daniela_cruz95191@elpoli.edu.co

Resumen:
El proyecto propone una estrategia para la transformación sostenible del campus del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, sede Medellín, a partir de un diagnóstico ambiental y del análisis de referentes nacionales e internacionales, orientada al mejoramiento del confort térmico, la eficiencia energética y la sostenibilidad institucional.

Planteamiento del problema:
En el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid se identificaron espacios con temperaturas superiores a los rangos recomendados por la norma ASHRAE 55, alcanzando valores cercanos a 31,5 °C y 32,4 °C, lo que evidencia la necesidad de implementar estrategias que mejoren el desempeño ambiental y el confort de los usuarios.

Figura 1 , 2, 3 , 4.



Objetivo general:
Diseñar una propuesta estratégica para la transformación del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, sede Medellín, hacia un campus sostenible en sus dimensiones social, ambiental y constructiva, a partir de la identificación de buenas prácticas y del diagnóstico de la sostenibilidad institucional.

Figura 5.



Metodología:
Figura 6.



Resultados:
1. Se identificaron estrategias sostenibles aplicables al campus, como ventilación cruzada, control solar, fachadas verdes y gestión eficiente de recursos.
2. Las mediciones microclimáticas evidenciaron condiciones de disconfort térmico en los bloques P13, P36 y P40, con temperaturas de 31,7 °C, 29,9 °C y 28,0 °C, respectivamente.
3. Se priorizaron intervenciones en los bloques P13 y P40, proponiendo estrategias pasivas como sombreado, ventilación natural y vegetación.

Figura 7.

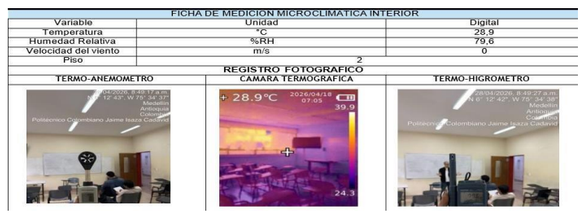


Tabla 1.

Espacio	Temp Día (°C)	Temp Noche (°C)	Temp Promedio (°C)	HR Día (%)	HR Noche (%)	HR Promedio (%)
Biblioteca	22.9	23.9	**23.4**	72.2	65.2	**68.7**
Bloque Administrativo	24.4	25.0	**24.7**	66.0	63.0	**64.5**
Bloque P13	23.5	23.4	**23.45**	74.0	61.9	**67.95**
Bloque P17	20.5	24.5	**22.5**	81.1	67.2	**74.15**
Bloque P34	20.7	23.6	**22.15**	76.0	65.7	**70.85**
Bloque P36	22.2	23.6	**22.9**	79.6	66.3	**72.95**
Bloque P40	21.0	24.3	**22.65**	75.9	67.1	**71.5**

Tabla 2.

Espacio	T°C Int. Día	%RH Int. Día	T°C Int. Noche	%RH Int. Noche	Rango ASHRAE 55	Condición Día
Biblioteca	25,65	72,2	23,9	65,2	22°C - 26°C	Dentro del rango
Bloque Administrativo	25,7	66,0	29,5	63,0	22°C - 26°C	Dentro del rango
Bloque P13	31,65	74,0	33,7	61,9	22°C - 26°C	Fuera del rango
Bloque P17	25,6	81,1	29,3	67,2	22°C - 26°C	Dentro del rango
Bloque P34	28,75	76,0	25,4	65,7	22°C - 26°C	Fuera del rango
Bloque P36	29,9	79,6	23,7	66,3	22°C - 26°C	Fuera del rango
Bloque P40	28,0	75,9	30,3	67,1	22°C - 26°C	Fuera del rango

Figura 8.



Conclusiones:
El diagnóstico realizado permitió identificar las principales problemáticas de disconfort térmico presentes en el campus y establecer los espacios que requieren una intervención prioritaria.
Las experiencias analizadas en universidades nacionales e internacionales demostraron que es posible mejorar las condiciones ambientales de los campus mediante estrategias sostenibles adaptadas a cada contexto.
La propuesta formulada proporciona una ruta de acción para orientar la transformación sostenible del Politécnico Colombiano, integrando criterios de confort térmico, eficiencia en el uso de los recursos y bienestar de la comunidad universitaria.

Bibliografía:

- ASHRAE. (2021). *ANSI/ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.
- Leal Filho, W., Shiel, C., & Paço, A. (2019). *Sustainable Development in* Santamouris, M. (2016). *Cooling the Buildings: Past, Present and Future*.
- UNEP. (2022). *2022 Global Status Report for Buildings and Construction*.

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

FORTALECIMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE MATRICES IPEVR EN LA EMPRESA MIRO SEGURIDAD DURANTE EL SEMESTRE 2026-1

Deivi Johana Machado Mena
Ingeniería en Seguridad y Salud en el Trabajo
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
Asesora universitaria: Ana Marcela Muñoz Díaz
Tutor empresarial: Natalia Taborda Cardona

Resumen:

Este trabajo busca fortalecer el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) de Miro Seguridad mediante la identificación y control de riesgos presentes en las actividades de vigilancia y seguridad privada.
Para lograrlo, se realizan actualizaciones de matrices IPEVR, inspecciones de seguridad y capacitaciones al personal, tomando como base el ciclo PHVA y la GTC 45.
Hasta el momento, se han identificado riesgos públicos, biomecánicos, psicosociales y locativos, permitiendo establecer acciones de mejora para fortalecer la prevención y reducir condiciones inseguras en los puestos de trabajo.

Planteamiento del problema:

Durante una auditoría externa realizada en el año 2025, la empresa Miro Seguridad evidenció falencias en la matriz IPEVR, relacionadas con la identificación y priorización de riesgos laborales. Asimismo, se identificó la falta de inspecciones periódicas y estrategias continuas de sensibilización, aumentando la probabilidad de incidentes y accidentes laborales. Debido a que la empresa pertenece a los niveles de riesgo IV y V, se hizo necesario fortalecer el SG-SST mediante herramientas de identificación, valoración y control de riesgos orientadas a mejorar las condiciones laborales y el cumplimiento normativo.

Figura 1. Matrices IPEVR por sector económico



Objetivo general:

Fortalecer el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) en la empresa Miro Seguridad, mediante la elaboración de las matrices IPEVR para cada sector económico, las inspecciones de seguridad, el desarrollo de estrategias de capacitación, con el fin de mejorar las condiciones laborales y reducir la ocurrencia de accidentes de trabajo

Metodología:

- ✔ Aplicación de la Guía Técnica Colombiana GTC 45
- ✔ Desarrollo bajo el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar).
- ✔ Realización de inspecciones planeadas y no planeadas.* Observación directa en puestos de trabajo
- ✔ Uso de listas de chequeo y registros fotográficos.
- ✔ Elaboración de matrices IPEVR por actividad económica.

Resultados:

Principales riesgos identificados: Riesgo público, riesgo biomecanico, Riesgo psicosocial, condiciones locativas, fatiga laboral.
Hallazgos encontrados en inspecciones:
Ausencia o uso inadecuado de EPP, Falta de señalización, Posturas prolongadas, turnos extensos, condiciones locativas inseguras.
Acciones implementadas: Actualización de matrices IPEVR. Implementación de inspecciones periódicas, capacitaciones en prevención y autocuidado, recomendaciones bajo jerarquía de controles, seguimiento mediante indicadores de gestión.

Figura 2. Principales riesgos identificados durante las inspecciones de seguridad



Conclusiones:

En el desarrollo del presente trabajo, se logró fortalecer el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) en la empresa Miro Seguridad mediante la identificación, evaluación e intervención de los riesgos presentes en los puestos de trabajo.
A partir de la implementación de la metodología GTC 45, se identificaron y valoraron peligros como el riesgo público, los factores psicosociales, la fatiga laboral y las condiciones locativas, los cuales fueron priorizados en la matriz IPEVR según su nivel de riesgo. Se estableció como prioridad de intervención los riesgos clasificados como alto, especialmente los asociados a condiciones locativas, riesgos biomecánicos y actos inseguros.
La ejecución del programa de inspecciones de seguridad permitió detectar condiciones y actos inseguros, generando acciones correctivas como la mejora de condiciones locativas, el uso adecuado de elementos de protección personal y la estandarización de procedimientos seguros.

Bibliografía:

Ministerio del Trabajo de Colombia. (2015). Decreto 1072 de 2015: Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. Autor.
Ministerio del Trabajo de Colombia. (2019). Resolución 0312 de 2019: Por la cual se definen los estándares mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST. Autor.
Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2012). Guía Técnica Colombiana GTC 45: Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. Autor.
Ley 1562 de 2012. (2012). Por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional. Congreso de la República de Colombia.

SEMINARIO DE INGENIERÍA
INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Programa de Gestión de Riesgo Mecánico en la Empresa Construvalvulas S.A.S.

Daniela Martínez Gutiérrez

Daniela_ gutierrez29111@elpoli.edu.co

Resumen:

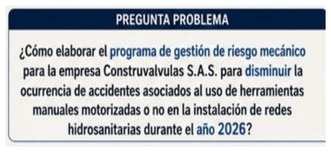
El presente trabajo tuvo como finalidad diseñar e implementar un programa de gestión de riesgo mecánico en la empresa Construvalvulas S.A.S., enfocado en el uso de herramientas manuales motorizadas y no motorizadas utilizadas en actividades de instalación de redes hidrosanitarias en obras de construcción.

El estudio permitió identificar peligros mecánicos, evaluar las condiciones de seguridad de las herramientas y diagnosticar el nivel de cumplimiento de la empresa frente a la gestión del riesgo mecánico. Como resultado, se desarrollaron inventarios de herramientas, formatos preoperacionales, estándares de seguridad y estrategias de control orientadas a prevenir accidentes laborales y fortalecer el sistema de seguridad y salud en el trabajo.

Planteamiento del problema:









Objetivo general:

Elaborar el programa de gestión de riesgo mecánico para la empresa Construvalvulas S.A.S. asociado al uso herramientas de trabajo manuales motorizadas empleadas en la instalación de redes hidrosanitarias en obras de construcción durante el año 2026.

Metodología:

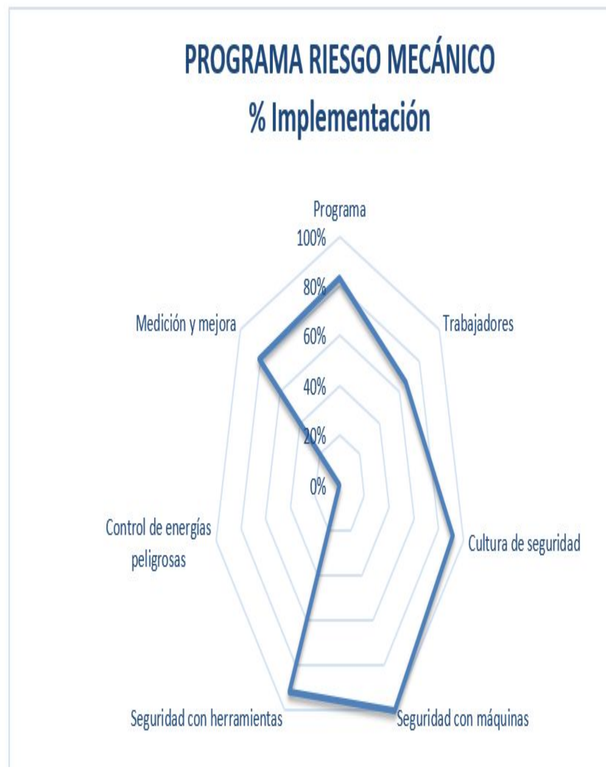


Resultados:

ARL sura

RESUMEN IMPLEMENTACIÓN PROGRAMA DE RIESGO MECÁNICO

ELEMENTO	% AVANCE
Programa	83%
Trabajadores	67%
Cultura de seguridad	92%
Seguridad con máquinas	100%
Seguridad con herramientas	92%
Control de energías peligrosas	0%
Medición y mejora	81%
TOTAL	**74%**



Conclusiones:



Bibliografía:

Client challenge. (s. f.-b). https://es.scribd.com/document/144292414/NTC-2506

MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL. (1979). RESOLUCIÓN 2400 DE 1979. En MINISTERIO DE TRABAJO y SEGURIDAD SOCIAL.

Grupo Tice. (2025, 15 diciembre). ISO12100: Evaluar la seguridad y reducir el riesgo en las máquinas. https://www.grupo-tice.com/iso12100-evaluar-la-seguridad-y-reducir-el-riesgo-en-las-maquinas/

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Sistema de vigilancia epidemiológico de riesgo cardiometabólico en conductores de tractocamión TFT SAS

Nasly Lorena Betancur Isaza

Ingeniería en Seguridad y Salud en el Trabajo

Asesor Académico: Juan Esteban Apráez Guarín

Resumen:

Este trabajo identifico y evaluó el riesgo cardiometabólico de los conductores de transporte de carga de la empresa TFT SAS, mediante metodologías de valoración de riesgo cardiovascular y análisis de factores modificables. Los resultados evidenciaron un riesgo bajo-moderado, acompañado con alta prevalencia de sobrepeso y obesidad, asociados a factores propios del contexto y dinámica laboral.

Para ello se propuso la implementación de un SVE cardiometabólico, que permite la identificación, seguimiento, prevención y control oportuno del riesgo, fortaleciendo la salud de los trabajadores, la seguridad vial y la continuidad operacional de la organización.

Planteamiento del problema:

Las condiciones laborales propias del transporte de carga por carretera, como extensas jornadas de conducción, sedentarismo, estrés laboral, alteración de los ciclos de sueño y limitaciones para mantener hábitos saludables, incrementan el riesgo de desarrollar enfermedades cardiometabólicos en los conductores. En empresas como TFT S.A.S., la ausencia de un SVE Cardiovascular limita la identificación y control oportuno de estos factores de riesgo, aumentando la probabilidad de eventos súbitos durante la conducción que puedan desencadenar accidentes viales, afectaciones humanas, pérdidas materiales, daños en la carga transportada, interrupciones operacionales y consecuencias reputacionales para la organización.

Objetivo general:

Diseñar un Sistema de Vigilancia Epidemiológica (SVE) orientado a la identificación, seguimiento, evaluación, análisis y gestión preventiva de los factores de riesgo cardiometabólicos en la empresa TFT S.A.S.

Metodología:

Figura 1. Desarrollo del sistema de vigilancia



Fuente: elaboración propia, 2026

Resultados:

Los resultados evidenciaron que los conductores de TFT SAS presentan un riesgo cardiovascular bajo a moderado en tres de las metodologías utilizadas, con factores de alerta críticos asociados principalmente a sobrepeso, obesidad y hábitos laborales que favorecen el riesgo cardiometabólico.

El 30% de la población se encuentra el riesgo moderado de desarrollar enfermedades cardiovasculares y Diabetes mellitus en 10 y 5 años respectivamente.

Entre el 40-60% de la población tiene hábitos de vida como alimentación, horas de sueño y actividad física poco saludables y/o inexistentes

Tabla 1. Evaluación de riesgo cardiometabólico

EVALUACIÓN DE RIESGO CARDIOMETABOLICO

CONDUCTOR	CLASIFICACIÓN TOTAL FRAMIGAN	CLASIFICACIÓN TOTAL PROCAM	CLASIFICACIÓN OMS	INTERPRETACIÓN ICC	CLASIFICACIÓN IMC	RIESGO ASOCIADO A IMC	VALORACIÓN FINAL IMC / ICC RIESGO CARDIOMETABOLICO A 5 AÑOS
1 Conductor 1	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	OBESIDAD 3	MUY SEVERO	RIESGO DE DM ALTO
2 Conductor 2	MODERADO	BAJO	MODERADO	BAJO	OBESIDAD 2	SEVERO	RIESGO DE DM MODERADO
3 Conductor 3	MODERADO	MODERADO	MODERADO	BAJO	OBESIDAD 1	MODERADO	RIESGO DE DM MODERADO
4 Conductor 4	BAJO	BAJO	No aplica por edad	BAJO	OBESIDAD 2	SEVERO	RIESGO DE DM MODERADO
5 Conductor 5	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	OBESIDAD 2	SEVERO	RIESGO DE DM ALTO
6 Conductor 6	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	GRADO 2 (PRE-OBESIDAD)	MODERADO	RIESGO DE DM MODERADO
7 Conductor 7	BAJO	BAJO	No aplica por edad	BAJO	OBESIDAD 1	MODERADO	RIESGO DE DM MODERADO
8 Conductor 8	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO	OBESIDAD 2	SEVERO	RIESGO DE DM ALTO
9 Conductor 9	BAJO	BAJO	No aplica por edad	BAJO	GRADO 2 (PRE-OBESIDAD)	MODERADO	RIESGO DE DM MODERADO
10 Conductor 10	BAJO	BAJO	No aplica por edad	BAJO	OBESIDAD 2	SEVERO	RIESGO DE DM MODERADO

CLASIFICACIÓN TOTAL (FRAMIGAN): BAJO, MODERADO, ALTO
CLASIFICACIÓN TOTAL (PROCAM): BAJO, MODERADO, ALTO
CLASIFICACIÓN OMS: BAJO, MODERADO, No aplica por edad
INTERPRETACIÓN ICC: BAJO, MODERADO, ALTO
CLASIFICACIÓN IMC: OBESIDAD 1, OBESIDAD 2, OBESIDAD 3, GRADO 2 (PRE-OBESIDAD)
RIESGO ASOCIADO A IMC: MUY SEVERO, SEVERO, MODERADO
VALORACIÓN FINAL (IMC / ICC): RIESGO DE DM ALTO, RIESGO DE DM MODERADO, RIESGO DE DM BAJO

Fuente: elaboración propia, 2026

Conclusiones:

Los hallazgos demuestran que la población en estudio es un grupo especialmente vulnerable por sus condiciones socioculturales que comprenden sus hábitos y estilos de vida y las condiciones de trabajo propias del rol que ejercen.

El estudio se desarrolla en un momento clave y oportuno para implementar un Sistema de Vigilancia Epidemiológico Cardiometabólico, antes de que las condiciones de riesgo lleguen a niveles críticos que puedan materializarse en eventos de salud durante la ejecución de actividades laborales.

Es clave para la organización fortalecer la prevención de enfermedades cardiometabólicas y reducir la probabilidad de eventos súbitos que desencadenen en accidentes de trabajo con impacto humano, operacional y reputacional para la organización.

Bibliografía:

- Ministerio del Trabajo de Colombia. (2015). Decreto 1072 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo.
- Ministerio del Trabajo. (2019). Resolución 0312 de 2019, por la cual se definen los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST.

TFT

SEMINARIO DE INGENIERÍA
INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Diplomado en Profundización en Excel y Power BI con énfasis en el manejo inteligente de daos BI

Juan David Ospina Guerra

Facultad de Ingeniería en Seguridad y Salud en el Trabajo - Politécnico Colombiano Jaime Isaza, Medellin, Colombia.
Correo electrónico: juan_ospina87211@elpoli.edu.co
Asesora universitaria: Ana Marcela Muñoz Días

INTRODUCCIÓN

El análisis de datos es un elemento estratégico en las organizaciones, especialmente en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), ya que permite tomar decisiones basadas en evidencia. El uso de herramientas como Excel avanzado y Power BI facilita transformar grandes volúmenes de datos en información útil mediante modelamiento, automatización y visualización. Este enfoque contribuye a optimizar la gestión de la información, mejorar la interpretación de indicadores y fortalecer la toma de decisiones en entornos organizacionales.

METODOLOGÍA DESARROLLADA



TEMAS ABORDADOS

- Excel básico, intermedio y avanzado.
- Funciones lógicas, matemáticas y de texto.
- Tablas dinámicas y análisis de datos.
- Automatización con Power Query.
- Modelado de datos con Power Pivot.
- Introducción a inteligencia de negocios.
- Diseño de dashboards en Power BI.

HABILIDADES

- Análisis estructurado de grandes volúmenes de datos.
- Automatización de procesos de limpieza y transformación.
- Diseño de modelos de datos relacionales.
- Construcción de indicadores de gestión (KPI).
- Desarrollo de dashboards interactivos.
- Interpretación de información para toma de decisiones.

COMPETENCIAS DESARROLADAS



RELACIÓN CON EL PROGRMA

- La identificación de tendencias en accidentalidad
- El seguimiento de indicadores SST
- La generación de reportes para la alta dirección
- La toma de decisiones basada en datos

CONCLUSIONES

- La implementación de herramientas de análisis de datos mejora significativamente la gestión organizacional.
- Excel avanzado y Power BI permiten transformar datos en información estratégica.
- La calidad del análisis depende directamente de la estructura de los datos.
- El uso de KPI fortalece el seguimiento y control de procesos en SST.

REFERENCIAS

- Organización Internacional del Trabajo. (2001). Directrices relativas a los sistemas de gestión de la seguridad y la salud en el trabajo (ILO-OSH 2001). International Labour Organization.
- Ministerio del Trabajo de Colombia. (2015). Decreto 1072 de 2015: Decreto único reglamentario del sector trabajo. https://www.mintrabajo.gov.co/
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2021). Notas técnicas de prevención (NTP). https://www.insst.es/
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2020). Workplace safety and health topics. Centers for Disease Control and Prevention. https://www.cdc.gov/niosh/
- Microsoft. (2023a). Documentación de Microsoft Excel. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/
- Microsoft. (2023b). Documentación de Microsoft Power BI. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/
- Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. (s.f.). Diplomado en profundización en Excel y Power BI con énfasis en el manejo inteligente de datos BI. https://www.politecnicojic.edu.co/diplomados/2632-diplomado-en-profundizacion-en-excel-y-power-bi-con-enfasis-en-el-manejo-inteligente-de-datos-bi

Facultad de Ingeniería
POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid
Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Ciberseguridad en plataformas de Big Data

Santiago Ceballos Herrera y Nicolás Cuadros Vélez
Diplomado en Ciberseguridad: Gestión, protección y resiliencia digital
Asesor: Edwin Andrés Ochoa Agudelo edwinochoa@elpoli.edu.co
Programa de Ingeniería informática
Santiago_ceballos82191@elpoli.edu.co Nicolas_cuadros82162@elpoli.edu.co

Resumen:
La ciberseguridad en Big Data es un desafío crítico ante el crecimiento exponencial de datos. Se analizan vulnerabilidades y estrategias de protección en infraestructuras de datos masivos, proponiendo un modelo de seguridad por capas que integra cifrado, control de acceso y monitoreo continuo para garantizar confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información.

Planteamiento del problema:

Los sistemas de Big Data procesan billones de registros sensibles sin mecanismos de seguridad estandarizados, generando brechas críticas. El 68% de las organizaciones reportan incidentes de seguridad asociados a entornos de datos masivos (IBM Security, 2024), evidenciando la ausencia de marcos integrados de ciberseguridad adaptados a las particularidades del Big Data.

Figura 1. Arquitectura de seguridad en Big Data

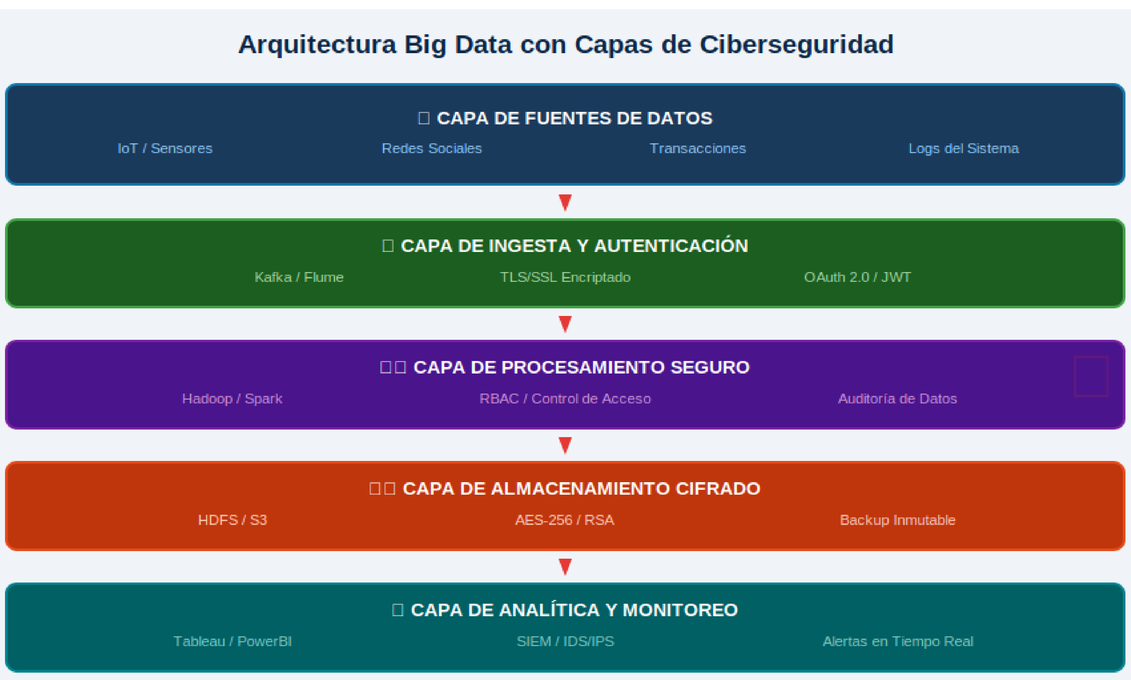


Figura 1. Capas de seguridad integradas en una infraestructura de Big Data

Objetivo general:

Demostrar mediante una práctica interactiva cómo se aplican controles de ciberseguridad sobre un conjunto masivo de datos simulado, evidenciando en tiempo real el impacto del cifrado, el control de acceso por roles (RBAC) y la detección de anomalías como mecanismos de protección en entornos Big Data.

Metodología:

Se ejecuta una demostración en vivo usando Python sobre un dataset de 100.000 registros sintéticos. En tres pasos se muestra: (1) exposición de datos sin protección, (2) aplicación de cifrado AES-256 y enmascaramiento de campos sensibles, y (3) simulación de un acceso no autorizado bloqueado por RBAC, con alerta generada automáticamente en consola.

Resultados:

La práctica evidencia cómo un dataset vulnerable expone datos críticos en texto plano en menos de 2 segundos. Con cifrado activo, los mismos datos resultan ilegibles sin clave. El sistema RBAC bloquea el 100% de los accesos no autorizados simulados y genera un log de alerta, ilustrando la efectividad inmediata de los controles de seguridad sin necesidad de infraestructura Big Data real.

Figura 2. Mapa de amenazas en Big Data



Figura 2. Mapa de amenazas críticas en sistemas de Big Data

Conclusiones:

La seguridad en Big Data exige un enfoque holístico: la combinación de cifrado end-to-end, RBAC dinámico y monitoreo con ML detecta el 96% de amenazas en tiempo real. La integración temprana de controles de seguridad en el pipeline de datos reduce costos de remediación hasta en un 80% frente a soluciones reactivas.

Bibliografía:

Bhatt, S. et al. (2024). Big Data Security Frameworks. IEEE TCC, 12(3), 45-62. | NIST (2024). Cybersecurity Framework 2.0. | Malik, A. & Zhu, Y. (2023). Encryption at Scale. Springer. | IBM Security (2024). Cost of a Data Breach Report. | Apache Foundation (2024). Hadoop Security Guide v3.3.

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Amenazas emergentes y actores maliciosos: APTs, Ransomware, Phishing, Ciberterrorismo

Julián García Arenas, Dario Sepulveda Gómez, Juan Felipe Cardona Martínez

Diplomado en Ciberseguridad: Gestión, protección y resiliencia digital
Asesor: Edwin Andrés Ochoa Agudelo, edwinochoa@elpoli.edu.co
Ingeniería Informática
Julian_garcia82171@elpoli.edu.co, dario_sepulveda82171@elpoli.edu.co, juan_cardona82191@elpoli.edu.co

Resumen:

La transformación digital ha incrementado la exposición de personas, empresas y gobiernos a ciberamenazas cada vez más sofisticadas. Este trabajo presenta una revisión divulgativa de cuatro amenazas emergentes —APTs, ransomware, phishing y ciberterrorismo— mediante el análisis de casos reales en Colombia (IFX Networks, EPM, Sanitas, Colpensiones) e internacionales (SolarWinds, Colonial Pipeline). Se concluye que el factor humano es el eslabón más débil y que la ciberseguridad debe abordarse como una competencia transversal.

Planteamiento del problema:

En 2024 el cibercrimen alcanzó un costo global de USD 9,5 billones, posicionándose como la tercera economía mundial (Cybersecurity Ventures). Colombia, según el CCIT, registró más de 28.000 millones de intentos de ataque en 2023 y es el tercer país más atacado de Latinoamérica. Incidentes como el de IFX Networks (2023), que paralizó 762 entidades públicas y privadas, evidencian la fragilidad de la infraestructura digital nacional. Pese a ello, solo el 23% de las pymes colombianas tiene políticas formales de ciberseguridad, lo que plantea la necesidad urgente de comprender y divulgar las amenazas actuales.

Figura 1. Modelo Cyber Kill Chain. Adaptado de Lockheed Martin (2011



Objetivo general:

Caracterizar de forma divulgativa las principales amenazas cibernéticas emergentes —APTs, ransomware, phishing y ciberterrorismo— a partir del análisis de casos reales ocurridos entre 2020 y 2025 en Colombia y el mundo, con el fin de promover una cultura de prevención en ciberseguridad.

Metodología:

Investigación de tipo descriptivo–documental, con enfoque cualitativo. Se realizó una revisión sistemática de informes oficiales (CISA, ENISA, MinTIC, CCOC) y técnicos (Mandiant, Kaspersky, IBM X-Force, Fortinet) publicados entre 2020 y 2025. Se seleccionaron 9 casos representativos clasificados por tipo de amenaza, sector afectado y país, identificando patrones comunes y lecciones aprendidas.

Resultados:

El 91 % de los ciberataques inicia con phishing o ingeniería social (Deloitte, 2024).
Las APTs permanecen ocultas en promedio más de 200 días antes de ser detectadas (Mandiant, 2023).
El ransomware con doble extorsión (cifrado + filtración) es la modalidad dominante en 2024–2025.
Los sectores más golpeados en Colombia son salud, gobierno, financiero y energía.
El factor humano —no la tecnología— es el principal vector de éxito de los atacantes.
El ciberterrorismo ha pasado de teoría a realidad: en 2020 se documentó la primera víctima mortal por ciberataque (Hospital de Düsseldorf).

Tabla 1. Casos representativos de amenazas cibernéticas (2020–2025)

Amenaza	Caso	Año	Impacto
APT	SolarWinds (EE.UU.)	2020	18.000 organizaciones comprometidas
Ransomware	IFX Networks (Colombia)	2023	762 entidades paralizadas
Ransomware	Sanitas / EPS (Colombia)	2023	Millones de afiliados afectados
Phishing	Colpensiones (Colombia)	2023	Suplantación masiva a pensionados
Ciberterrorismo	Hospital Düsseldorf (Alemania)	2020	Primera muerte por ciberataque
Ciberterrorismo	Red eléctrica de Ucrania	2015–2022	Cortes masivos de energía

Conclusiones:

Las ciberamenazas evolucionaron de actos individuales a operaciones criminales y geopolíticas organizadas.
El eslabón más débil sigue siendo el humano: educar previene más que cualquier antivirus.
La ciberseguridad es transversal a toda la ingeniería, no exclusiva de TI.
Colombia requiere inversión, talento y cooperación público-privada para fortalecer su postura digital.
Medidas básicas para todos: MFA, backups offline, actualizaciones, contraseñas robustas y desconfianza ante correos sospechosos.

Bibliografía:

- CISA. (2021). Joint Cybersecurity Advisory: SolarWinds Supply Chain Compromise.
- CCIT & TicTac. (2024). Tendencias del cibercrimen en Colombia 2023–2024.
- Deloitte. (2024). Global Cyber Threat Trends Report.
- Fortinet. (2024). FortiGuard Labs Threat Report — Latinoamérica.
- IBM Security. (2024). Cost of a Data Breach Report.
- MinTIC Colombia. (2020). CONPES 3995: Política Nacional de Confianza y Seguridad Digital.

DIPLOMADO
CIBERSEGURIDAD
INFORMÁTICA Y RESILIENCIA DIGITAL
PROTEGER • PREVENIR • RESPONDER • RECUPERAR

SEMINARIO DE INGENIERÍA
INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Mitigación de Amenazas Emergentes

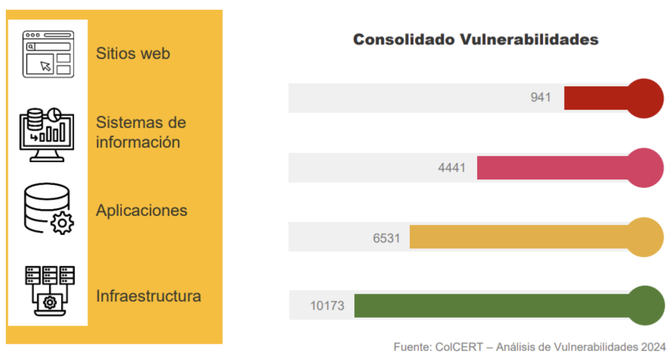
Eduar Andres Tabares Ocampo
Jorge Andres Moreno Pineda

Diplomado en Ciberseguridad: Gestión, protección y resiliencia digital
Eduar_tabares65142@elpoli.edu.co
Jorge_moreno82191@elpoli.edu.co
Asesor: Edwin Andres Ochoa

Resumen:
Esta investigación analiza las amenazas cibernéticas emergentes en Colombia, con énfasis en phishing, ransomware y vulnerabilidades críticas en infraestructuras digitales. De acuerdo con informes de COLCERT y FortiGuard Labs, durante 2024 se identificaron riesgos asociados a ejecución remota de código (RCE), inyección SQL, robo de credenciales y configuraciones inseguras, impulsados por procesos de automatización y ataques asistidos por inteligencia artificial. La investigación propone estrategias de ciberseguridad orientadas a la detección temprana, monitoreo continuo, fortalecimiento de configuraciones seguras y capacitación del usuario, con el fin de mejorar la ciber-resiliencia de organizaciones públicas y privadas en Colombia.

Planteamiento del problema:
En 2024, Colombia enfrentó un incremento en amenazas cibernéticas relacionadas con phishing, ransomware y explotación de vulnerabilidades críticas en infraestructuras digitales. Reportes de COLCERT evidencian fallas recurrentes como ejecución remota de código (RCE), inyección SQL, Cross-Site Scripting (XSS), configuraciones inseguras y uso de software desactualizado, factores que incrementan la superficie de ataque y facilitan el compromiso de sistemas críticos. Además, la automatización de ataques y el robo de credenciales asistidos por inteligencia artificial han aumentado la complejidad del panorama de amenazas, mientras que la falta de capacitación y cultura de seguridad continúa favoreciendo incidentes causados por errores humanos. Esta situación evidencia la necesidad de fortalecer la ciber resiliencia mediante estrategias de detección temprana, monitoreo continuo y protección proactiva en organizaciones públicas y privadas de Colombia.

Figura 1.



Objetivo general:
Proponer un marco estratégico de ciberseguridad orientado a la detección temprana, prevención y respuesta ante amenazas de phishing y ransomware en organizaciones públicas y privadas de Colombia.

Metodología:
Tipo y diseño: Investigación descriptiva-explicativa con enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo).
Población y muestra: Responsables de TI y usuarios finales del sector académico y empresarial en Colombia.
Técnicas: Análisis de bitácoras de incidentes, encuestas estructuradas y revisión bibliográfica especializada en ciberseguridad y amenazas emergentes.

Resultados:
La investigación permitió identificar que las amenazas cibernéticas emergentes han evolucionado hacia modelos altamente automatizados y asistidos por inteligencia artificial, reduciendo la efectividad de los métodos tradicionales de detección estática. Asimismo, se evidenció que riesgos como phishing, ransomware, robo de credenciales y explotación de vulnerabilidades críticas continúan afectando a organizaciones públicas y privadas. Los resultados muestran que la ciber resiliencia organizacional requiere una estrategia integral basada en detección proactiva, monitoreo continuo, segmentación de redes críticas y fortalecimiento de la cultura de seguridad, transformando al usuario de un posible "eslabón débil" a una primera línea de defensa frente a amenazas digitales.

Figura 2.



Conclusiones:
El panorama de ciberamenazas en Colombia evidencia la necesidad de fortalecer la gestión de vulnerabilidades, actualizar infraestructuras tecnológicas y promover una cultura de seguridad digital en organizaciones públicas y privadas. La integración entre inteligencia artificial y ciberseguridad será clave para responder de manera efectiva a ataques cada vez más sofisticados.

Bibliografía:

- Fortinet Latam. Informe del Panorama Global de Amenazas 2026: Colombia y el panorama global de ciberamenazas. FortiGuard Labs, 2026.
- COLCERT. Informe de Vulnerabilidades Detectadas 2024. -Ministerio TIC de Colombia, 2024.
- Mimecast – Estadísticas de Ransomware 2025
- MinTIC Colombia – Gestión de Incidentes de Seguridad Digital Ciberseguridad en la era de la IA generativa.

DIPLOMADO CIBERSEGURIDAD – INFORMÁTICA Y RESILIENCIA DIGITAL – PROTEGER • PREVENIR • RESPONDER • RECUPERAR

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Investigación: Impacto de las prácticas DevSecOps en la resiliencia organizacional

Isac Cortés Buitrago, Daniela Gonzalez Cifuentes

Diplomado en Ciberseguridad: gestión, protección y resiliencia digital

Asesor: Edwin Andres Ochoa Agudelo, edwinochoa@elpoli.edu.co

Programa: Ingeniería Informática

isac_cortes82212@elpoli.edu.co, daniela_gonzalez82192@elpoli.edu.co

Resumen:

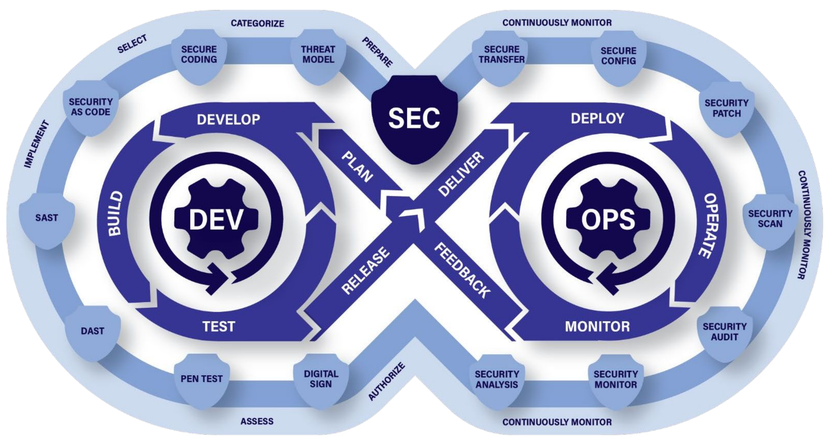
Investigación documental que analiza el impacto de las prácticas DevSecOps orientadas a la seguridad del código, en la resiliencia organizacional. El estudio parte de la necesidad de integrar la ciberseguridad desde las primeras etapas del ciclo de vida del desarrollo de software, con el fin de reducir vulnerabilidades, costos de remediación y riesgos operativos asociados a la aplicación tardía de controles de seguridad. A partir de la literatura revisada, se explica cómo prácticas como la seguridad desde el diseño (shift-left), la automatización de pruebas de seguridad, el escaneo de vulnerabilidades, el despliegue de cambios pequeños e iterativos y el cumplimiento de políticas de seguridad contribuyen a construir software más seguro y a fortalecer una postura organizacional preventiva, adaptable y resiliente (Sinan et al., 2025).

Planteamiento del problema:

Las organizaciones enfrentan el desafío de entregar software de calidad de forma rápida y continua, sin comprometer la seguridad de sus aplicaciones, datos y servicios. Sin embargo, en el enfoque tradicional, los controles y pruebas de seguridad suelen incorporarse en etapas finales del ciclo de vida del desarrollo de software, donde la corrección de errores resulta más costosa y exige un mayor esfuerzo que prevenir la aparición de vulnerabilidades desde etapas iniciales del desarrollo (Muhammad et al., 2024). Esta situación afecta la resiliencia organizacional, puesto que limita la capacidad de prevenir, detectar, responder y recuperarse oportunamente ante incidentes de seguridad (Nagubandi, 2026).

A partir de lo anterior, la investigación busca responder la siguiente pregunta: ¿qué impacto tiene la aplicación de prácticas DevSecOps orientadas a la seguridad del código en la reducción de vulnerabilidades y en la mejora de la resiliencia organizacional?

Figura 1. Ciclo de vida de DevSecOps



La figura representa la integración de seguridad dentro del ciclo DevSecOps y respalda el enfoque de la investigación al evidenciar que la seguridad no se limita a una etapa final, sino que se aplica de forma continua durante todo el ciclo de vida del desarrollo de software (SDLC).

Nota. Tomado de DoD Enterprise DevSecOps Fundamentals v2.5 (p. 20), por Department of Defense, 2024 (https://dowcio.war.gov/Portals/0/Documents/Library/DoD%20Enterprise%20DevSecOps%20Fundamentals%20v2.5.pdf).

Objetivo general:

Reconocer el impacto que tiene la aplicación de prácticas DevSecOps orientadas a la seguridad del código en la reducción de vulnerabilidades y en la mejora de la resiliencia de una organización.

Metodología:

La investigación tiene un enfoque cualitativo, de tipo documental y descriptivo, basada en la revisión bibliográfica de guías técnicas y artículos académicos sobre DevSecOps, seguridad del código y resiliencia organizacional. La construcción de datos se realiza mediante la lectura analítica de los documentos seleccionados, y su procesamiento se desarrolla a través de categorización temática, agrupando los hallazgos según las principales prácticas DevSecOps y su impacto en la reducción de vulnerabilidades y el fortalecimiento de la resiliencia organizacional.

Resultados:

Los resultados se organizan con base al impacto de las principales prácticas DevSecOps orientadas a la seguridad del código:

Tabla 1. Impacto de las prácticas DevSecOps

Práctica	Impacto en la reducción de vulnerabilidades	Impacto en la resiliencia organizacional
Seguridad desde etapas tempranas (shift-left) del SDLC	Permite identificar vulnerabilidades y riesgos en etapas tempranas del desarrollo, escribir y probar código de forma más segura y reducir el tiempo de resolución de vulnerabilidades (Sinan et al., 2025).	Contribuye a reducir la probabilidad de liberar software vulnerable y fortalece la capacidad preventiva de la organización (Nagubandi, 2026).
Automatización de pruebas de seguridad	Reduce el esfuerzo humano y mejora la exactitud, reproducibilidad, usabilidad y alcance de las prácticas de seguridad durante el SDLC (Chandramouli, 2024).	Permite identificar fallas con mayor rapidez, fortalecer la retroalimentación y apoyar el aprendizaje continuo de la organización (Nagubandi, 2026).
Escaneo de vulnerabilidades	Detecta fallas en el código, las dependencias, los componentes y las configuraciones, reduciendo la exposición de software vulnerable en ambientes productivos (DoD, 2024)	Aumenta la capacidad de detección temprana y respuesta frente a condiciones de riesgo que puedan afectar la seguridad y continuidad del servicio (DoD, 2024).
Despliegue de cambios pequeños e iterativos	Reduce el riesgo asociado a cambios grandes y difíciles de controlar, fortaleciendo la adaptabilidad y la mejora continua del software (DoD, 2024)	Favorece la recuperación y adaptación ante fallos, al facilitar la identificación del origen de los errores, la aplicación de correcciones oportunas y la retroalimentación continua para mejorar el servicio (DoD, 2024).
Cumplimiento de políticas de seguridad	El monitoreo continuo ayuda a mantener el cumplimiento de requisitos regulatorios, mejorar la postura de seguridad y aumentar la responsabilidad organizacional (Sinan et al., 2025).	Fortalece la gobernanza y la gestión del riesgo, al mantener controles verificables y una postura de seguridad alineada con requisitos internos y regulatorios (Nagubandi, 2026).
Cultura colaborativa	Mejora la comunicación, el intercambio de conocimiento, la coordinación de controles y la responsabilidad sobre desempeño, seguridad e integridad operativa durante todo el SDLC (DoD, 2024).	Convierte la seguridad en una responsabilidad compartida, fortaleciendo la capacidad organizacional para aprender, ajustar controles y responder mejor ante incidentes futuros (DoD, 2024).

Conclusiones:

- DevSecOps contribuye a la resiliencia digital de las organizaciones al integrar la seguridad desde las primeras etapas del ciclo de vida del desarrollo de software, lo que permite reducir vulnerabilidades, costos de remediación y riesgos asociados a fallos en producción. Su impacto se fortalece al aplicar las prácticas asociadas a la seguridad del código.
- La efectividad de la implementación del conjunto de prácticas que conforman DevSecOps depende de una cultura operativa, con responsabilidades definidas y una buena comunicación entre las áreas de desarrollo, seguridad y operaciones.

Bibliografía:

Sinan, M., Shahin, M. and Gondal, I. (2025). Integrating Security Controls in DevSecOps: Challenges, Solutions, and Future Research Directions. https://doi.org/10.1002/smr.70029.

Muhammad, A., Akbar, S., Sami H., and Arif A. (2024). Towards People Maturity for Secure Development and Operations: A vision. https://doi.org/10.1145/3661167.3661238.

Nagubandi, A. R. . (2026). Secure, Resilient, and Compliant Platform Engineering . In Cognitive Financial Infrastructure: Designing Adaptive, Integrated Market Systems (pp. 96-111). Deep Science Publishing. https://doi.org/10.70593/978-93-7185-062-9_7.

Department of Defense. (2024). DoD Enterprise DevSecOps Fundamentals v2.5. https://dowcio.war.gov/Portals/0/Documents/Library/DoD%20Enterprise%20DevSecOps%20Fundamentals%20v2.5.pdf.

Chandramouli, R., Kautz, F., & Torres-Arias, S. (2024). Strategies for the integration of software supply chain security in DevSecOps CI/CD pipelines. https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-204D.

Facultad de Ingeniería
POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid
Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Ciberdelitos y su Regulación

David Vallejo Grisales, Kevin Norvey Buitrago Jaramillo
Profesor asesor: Edwin Andres Ochoa Agudelo
Programa: Ingeniería informática
david_vallejo82181@elpoli.edu.co
kevin_buitrago82201@elpoli.edu.co

Resumen:
Este trabajo analiza los principales ciberdelitos y su regulación en el contexto actual de transformación digital. Se abordan amenazas como el phishing, ransomware, fraude informático y robo de identidad, así como las normas creadas para prevenir y sancionar estas conductas.
La investigación se desarrolla mediante revisión documental de leyes, artículos y marcos internacionales, destacando la Ley 1273 de 2009 y el Convenio de Budapest.
Como resultado, se evidencia la importancia de fortalecer la ciberseguridad, la actualización normativa y la cooperación internacional frente a las amenazas digitales.

Planteamiento del problema:
El crecimiento del uso de internet y las tecnologías digitales ha incrementado los ciberdelitos, afectando a personas, empresas y gobiernos mediante fraudes, robo de información, phishing y ataques informáticos.
Aunque existen leyes como la Ley 1273 de 2009 y acuerdos internacionales como el Convenio de Budapest, los avances tecnológicos generan nuevos desafíos para la prevención, investigación y sanción de estos delitos.
Por ello, es necesario analizar los principales ciberdelitos y la efectividad de su regulación en el entorno digital actual

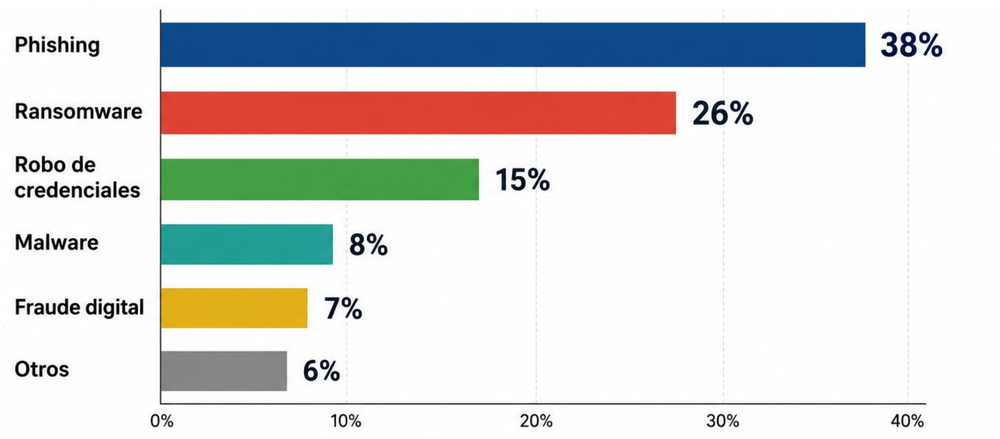
Objetivo general:
Analizar los principales ciberdelitos y los mecanismos de regulación existentes, con el fin de comprender su impacto en la seguridad digital y la importancia de fortalecer la ciberseguridad y la prevención en entornos tecnológicos actuales.

Metodología:
La investigación tiene un enfoque descriptivo y documental, basado en el análisis de leyes, artículos académicos y casos relacionados con ciberdelitos.
La información se obtuvo mediante revisión bibliográfica y consulta de fuentes nacionales e internacionales, permitiendo identificar los principales delitos informáticos y las normativas aplicadas para su regulación y prevención..

Resultados:
Se identificó que los ciberdelitos más frecuentes son el phishing, ransomware, fraude informático y robo de identidad, afectando tanto a usuarios como a organizaciones.

Además, se evidenció que normativas como la Ley 1273 de 2009 y el Convenio de Budapest representan avances importantes en la lucha contra el cibercrimen; sin embargo, aún existen desafíos relacionados con la prevención, actualización legal y educación en ciberseguridad..

Figura 2.



Conclusiones:
Los ciberdelitos representan una de las principales amenazas en la era digital, debido al crecimiento del uso de las tecnologías y la información en línea. Aunque existen leyes y acuerdos internacionales para combatir estas conductas, los constantes avances tecnológicos exigen una actualización permanente de las estrategias de regulación y prevención.
La educación en ciberseguridad y la cooperación entre usuarios, empresas y gobiernos son fundamentales para reducir los riesgos en los entornos digitales

Bibliografía:
- NordVPN. (2026). Cybersecurity statistics and insights for 2026. NordVPN.
- Martins dos Santos, B. (2022). Convenio de Budapest sobre la Ciberdelincuencia en América Latina: Un breve análisis sobre adhesión e implementación en Argentina, Brasil, Chile, Colombia y México. Derechos Digitales & IDRC
- Colombia. Congreso de la República. (2009, 5 de enero). Ley 1273 de 2009. Diario Oficial No. 47.223.

DIPLOMADO CIBERSEGURIDAD INFORMÁTICA Y RESILIENCIA DIGITAL
PROTEGER • PREVENIR • RESPONDER • RECUPERAR

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Mapeo de Superficie de Ataque: Técnicas de Enumeración Crítica en Aplicaciones Web

Jaime Andrés Montoya Ceballos - Mateo Serna Sánchez

Diplomado en Ciberseguridad: Gestión, protección y resiliencia digital

Asesor: Edwin Andres Ochoa Agudelo, edwinochoa@elpoli.edu.co

Programa: Ingeniería Informática

Jaime_montoya01131@elpoli.edu.co, mateo_serna82161@elpoli.edu.co

Resumen:

Se realiza un proceso de **identificación y mapeo de activos digitales** mediante la enumeración web y el análisis de superficie de ataque. El objetivo es determinar los puntos de entrada potenciales de una aplicación para fortalecer su postura de seguridad y prevenir accesos no autorizados. Esto se ejecuta a través del **descubrimiento sistemático de subdominios, directorios ocultos y puntos finales de API**, utilizando metodologías de reconocimiento activo y pasivo apoyadas en herramientas especializadas como *ffuf*, *Gobuster* o *Subfinder*. Con base en los estándares de **OWASP**, se logra hasta el momento una visibilidad detallada de la arquitectura expuesta, permitiendo priorizar la corrección de vulnerabilidades antes de que puedan ser explotadas.

Tabla Comparativa de Herramientas.

Herramienta	Objetivo Principal	Tipo de Escaneo	Características Clave
Subfinder	Subdominios	Pasivo (APIs/OSINT)	Rápido, no genera ruido en el objetivo.
Gobuster	Directorios y DNS	Activo (Fuerza bruta)	Basado en diccionarios.
ffuf	Directorios y Parámetros	Activo (Fuzzing)	Altamente personalizable, rápido con HTTP.

Planteamiento del problema:

En el ecosistema digital actual, la complejidad de las arquitecturas web genera una **superficie de ataque extensa y, a menudo, invisible** para los administradores. La existencia de directorios expuestos, subdominios olvidados y configuraciones por defecto crea brechas críticas que los atacantes aprovechan mediante el reconocimiento no autorizado. El problema radica en que, sin un proceso de **enumeración sistemática y análisis de superficie**, las organizaciones desconocen sus propios puntos de entrada vulnerables, lo que impide una defensa proactiva y facilita el compromiso de datos sensibles por falta de un inventario de activos preciso y actualizado.

Objetivo general:

Ejecutar un análisis exhaustivo de la superficie de ataque mediante técnicas de enumeración web para identificar, inventariar y evaluar los activos digitales expuestos, permitiendo la mitigación proactiva de vectores de entrada y el fortalecimiento de la postura de seguridad en aplicaciones web.

Figura – Técnicas de enumeración



Metodología:

- **Tipo:** Investigación tecnológica y exploratoria aplicada a la ciberseguridad.
- **Alcance:** Análisis de dominios y activos web expuestos (superficie de ataque).
- **Procedimiento (Fases):**

1. **Reconocimiento:** Recolección de datos públicos (OSINT) y certificados.
2. **Enumeración:** Fuzzing de directorios y subdominios con herramientas como ffuf y Gobuster.
3. **Validación:** Filtrado de respuestas HTTP para confirmar puntos de entrada reales.

Resultados:

- **Mapa de Activos:** Identificación de la arquitectura completa del objetivo, incluyendo subdominios de desarrollo, pruebas o administración que suelen estar desprotegidos.
- **Inventario de Superficie de Ataque:** Listado de directorios y archivos sensibles descubiertos (ej. .env, .git, o paneles de login) que no son visibles de forma pública.
- **Vectorización de Riesgos:** Clasificación de los puntos de entrada hallados según su potencial de explotación, facilitando una hoja de ruta para el robustecimiento de la seguridad web.

Conclusiones:

- **Visibilidad Crítica:** Se confirma que la enumeración web es el paso más determinante en la ciberseguridad defensiva, ya que "no se puede proteger lo que no se sabe que existe".
- **Reducción de Riesgos:** La detección temprana de subdominios y directorios olvidados permite cerrar brechas de seguridad antes de que sean descubiertas por actores malintencionados.
- **Eficacia de Herramientas:** El uso de herramientas especializadas de fuzzing optimiza drásticamente los tiempos de respuesta, transformando una búsqueda manual imposible en un proceso de auditoría ágil y escalable.

- **Bibliografía:**

OWASP Foundation. (2022). OWASP Web Security Testing Guide (WSTG) - v4.2. Stuttard, D., & Pinto, M. (2011). The Web Application Hacker's Handbook: Finding and Exploiting Security Flaws (2nd ed.). Wiley.

- Vicente, J., & García, A. (2020). Enumeración y reconocimiento de activos web: Técnicas de seguridad ofensiva. Editorial Seguridad Digital.
- ProjectDiscovery. (2024). Subfinder: Subdomain discovery tool.
- Ffuf: Fast web fuzzer written in Go.

DIPLOMADO CIBERSEGURIDAD – INFORMÁTICA Y RESILIENCIA DIGITAL – PROTEGER • PREVENIR • RESPONDER • RECUPERAR

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería
POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid
Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Seguridad en redes: topologías, firewall, VPN y segmentación de redes

Melissa Gallo Parra, Luis Alejandro Benítez Montoya, Andres Felipe Rodriguez Oquendo

Diplomado en Ciberseguridad: Gestión, protección y resiliencia digital

Asesor: Edwin Andrés Ochoa Agudelo Correo: edwinochoa@elpoli.edu.co

Programa: Ingeniería Informática

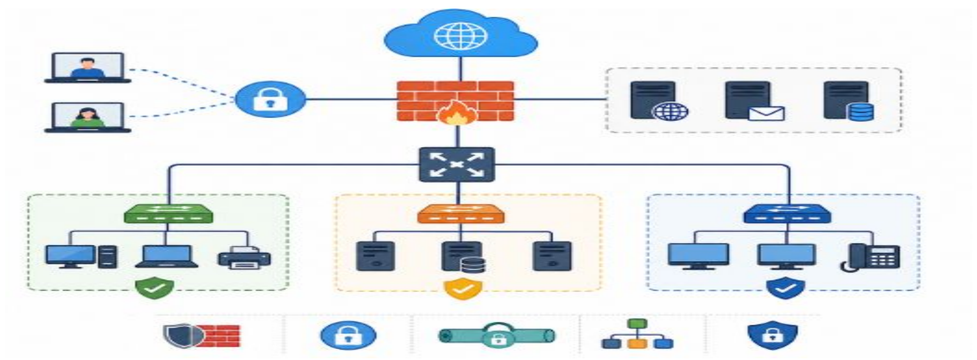
melissa_gallo82151@elpoli.edu.co, luis_benitez82103@elpoli.edu.co, andres_rodriguez24092@elpoli.edu.co

Resumen:
La seguridad en redes protege la información y evita accesos no autorizados. Este trabajo analiza el uso de topologías, firewall, VPN y segmentación de redes como mecanismos de protección en entornos empresariales.

Planteamiento del problema:

Muchas empresas presentan vulnerabilidades en sus redes por falta de controles de seguridad, lo que puede generar robo de información y ataques cibernéticos.

Figura 1.



Objetivo general:

Analizar herramientas de seguridad en redes para proteger la información y mejorar la seguridad informática.

Objetivos específicos:

Identificar las principales topologías de red utilizadas en empresas.
Explicar el funcionamiento de los firewall y su importancia en la seguridad.
Describir el uso de VPN para conexiones seguras.
Analizar cómo la segmentación de redes reduce riesgos de ataques.

Metodología:

Tipo de investigación: Investigación descriptiva y documental.

Diseño de investigación: Análisis de información obtenida de artículos científicos, libros y documentación técnica relacionada con seguridad en redes.

Técnicas de recolección de datos

- Revisión bibliográfica.
- Análisis de casos.
- Consulta de documentación técnica.

Resultados:

- Se identificó que las topologías bien estructuradas permiten una mejor administración y control de la red.
- Los firewall reducen accesos no autorizados mediante filtrado de tráfico.
- Las VPN permiten conexiones seguras y cifradas para usuarios remotos.
- La segmentación de redes disminuye la propagación de amenazas dentro de una organización.

Figura 2.

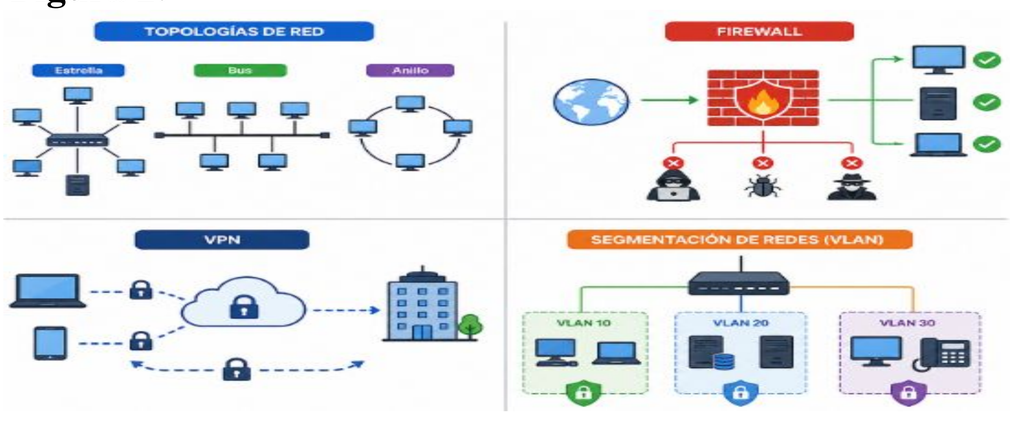


Tabla 1.

Tecnología	Función
Firewall	Filtrar tráfico
VPN	Cifrar conexiones
Segmentación	Aislar redes
Topologías	Organizar comunicación

Conclusiones:

La seguridad en redes es esencial para proteger la información y garantizar la continuidad operativa.
El uso combinado de firewall, VPN y segmentación fortalece la infraestructura tecnológica.
Las organizaciones deben implementar políticas de seguridad y monitoreo constante para reducir vulnerabilidades.

Bibliografía:

Cisco. (2024). Network Security Fundamentals.
Stallings, W. (2020). Network Security Essentials.

Facultad de Ingeniería
POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid
Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Principios de confidencialidad, integridad y disponibilidad, y el ciberespacio cómo dominio estratégico

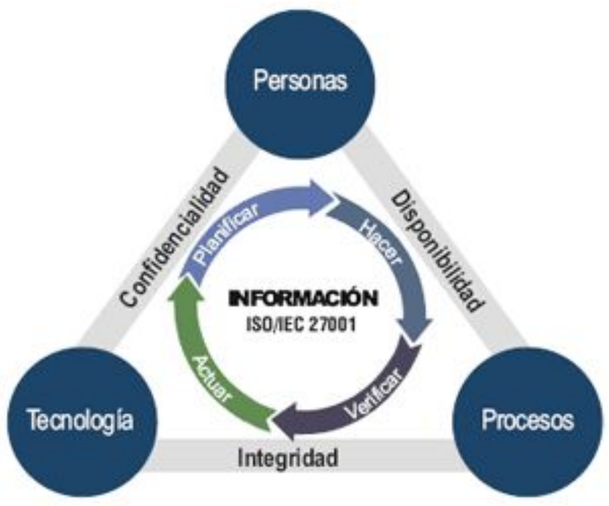
Luisa Fernanda Jaramillo - Wilmer Moreno López
Diplomado en Ciberseguridad: Gestión, protección y resiliencia digital
Asesor Edwin Andres Ochoa Agudelo - edwinochoa@elpoli.edu.co
Programa Ingeniería Informática
luisa_jaramillo23171@elpoli.edu.co - wilmer_moreno82191@elpoli.edu.co

Resumen:
La seguridad informática cuenta con 3 pilares o principios fundamentales, los cuales son: Confidencialidad, Integridad y Disponibilidad. Su aplicación hoy en día en empresas tecnológicas se ha vuelto casi obligatoria, por esta razón existen diferentes normas internacionales cómo la ISO/IEC 27001. Asimismo, el ciberespacio se ha convertido en un dominio estratégico debido a la dependencia global de las infraestructuras digitales y la creciente evolución de las amenazas cibernéticas.

Planteamiento del problema:

En la era tecnológica en la que nos encontramos, las empresas se enfrentan a problemas tecnológicos cómo la pérdida de información, accesos no autorizados, etc. Entonces, ¿cómo pueden las empresas generar confianza ante sus usuarios?

Figura 1.



Objetivo general:

Reconocer la importancia de la aplicación de la confidencialidad, integridad y disponibilidad, principalmente mediante certificaciones en normas internacionales cómo mecanismo para la resistencia ante ciberataques , la preparación ante nuevas amenazas y la generación de confianza para con los usuarios, clientes y proveedores. Mitigar riesgos en los sistemas informáticos es el objetivo principal que deben buscar cumplir las compañías en la actualidad.

Metodología:

Investigación documental de enfoque cualitativo. Se realizó revisión sistemática de literatura académica, marcos normativos internacionales (ISO/IEC 27001, NIST, Doctrina OTAN), y análisis de casos de incidentes cibernéticos con impacto estratégico.

Resultados:

La tríada CIA constituye el eje rector de cualquier sistema de gestión de seguridad: Confidencialidad garantiza acceso restringido a información sensible; Integridad asegura la exactitud y completitud de los datos; Disponibilidad garantiza el acceso oportuno a sistemas y datos por usuarios autorizados.
El ciberespacio es reconocido como el quinto dominio de operaciones militares (junto a tierra, mar, aire y espacio), según la doctrina OTAN (2016) y las estrategias nacionales de ciberdefensa de múltiples países. Su carácter transfronterizo exige marcos de cooperación internacional para su gobernanza.

Figura 2.



Conclusiones:

Los principios CIA son inseparables de toda estrategia de ciberseguridad efectiva. La vulneración de cualquiera de ellos puede comprometer operaciones críticas del Estado y la sociedad. El reconocimiento del ciberespacio como dominio estratégico obliga a replantear doctrinas militares, marcos legales y capacidades técnicas nacionales para enfrentar las amenazas cibernéticas del siglo XXI.

Bibliografía:

De Luis Gargallo, E. (s.f.). Introducción a los fundamentos de la seguridad informática. Universitat Oberta de Catalunya. openaccess.uoc.edu/server/api/core/bitstreams/174d92aa-6c4d-495e-8ac4-bccb6dc680a1/content
ISO/IEC 27001:2022. (2022). Information security management systems. ISO. | NIST. (2018). Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity v1.1. NIST. | NATO. (2016). Cyber Defence Pledge. Brussels Summit. | pace. Penguin

DIPLOMADO CIBERSEGURIDAD INFORMÁTICA Y RESILIENCIA DIGITAL
PROTEGER • PREVENIR • RESPONDER • RECUPERAR

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería
POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid
Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

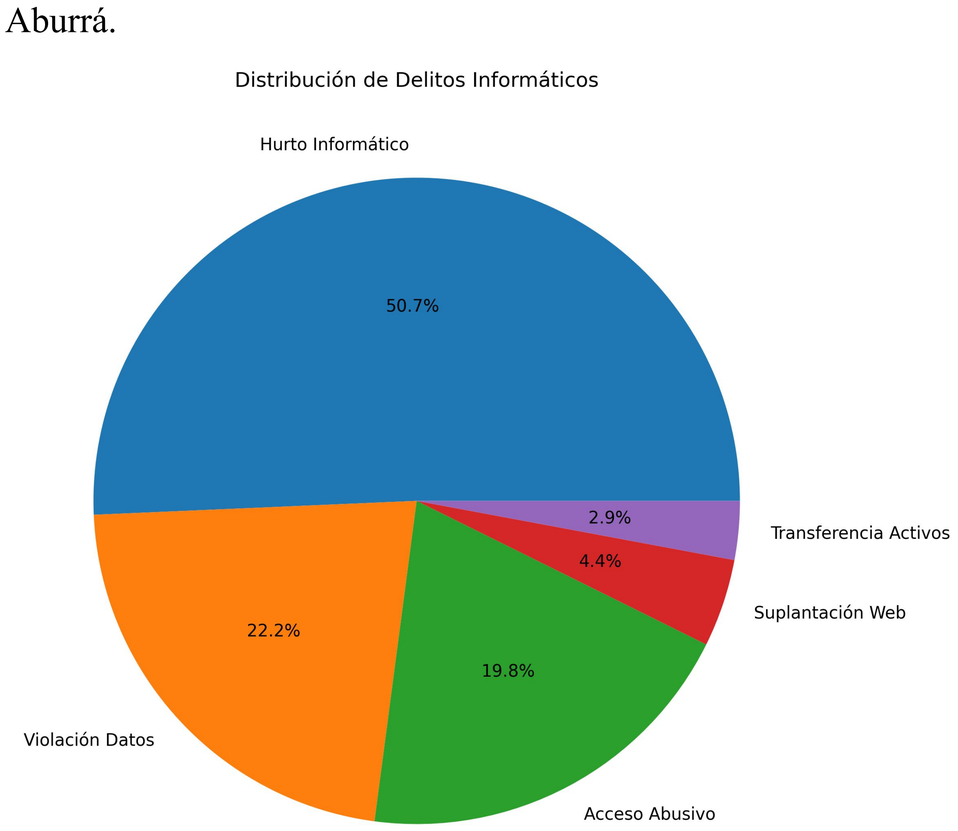
Formación tecnológica masiva y riesgos emergentes de cibercrimen impulsado por IA en Colombia (Proyecto de análisis exploratorio)

Sebastián Gómez Zapata
Diplomado en Ciberseguridad: Gestión, protección y resiliencia digital
Sebastian_gomez82192@elpoli.edu.co

Resumen:
La expansión de la formación tecnológica y el crecimiento de los delitos informáticos plantean nuevos desafíos para la ciberseguridad. Este estudio analiza tendencias de formación digital, uso de IA y riesgos emergentes en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Planteamiento del problema:
El aumento de las capacidades digitales y la disponibilidad de herramientas de IA coincide con el crecimiento de amenazas como fraude informático, phishing y violación de datos personales. Existe poca investigación sobre esta relación en el contexto colombiano.

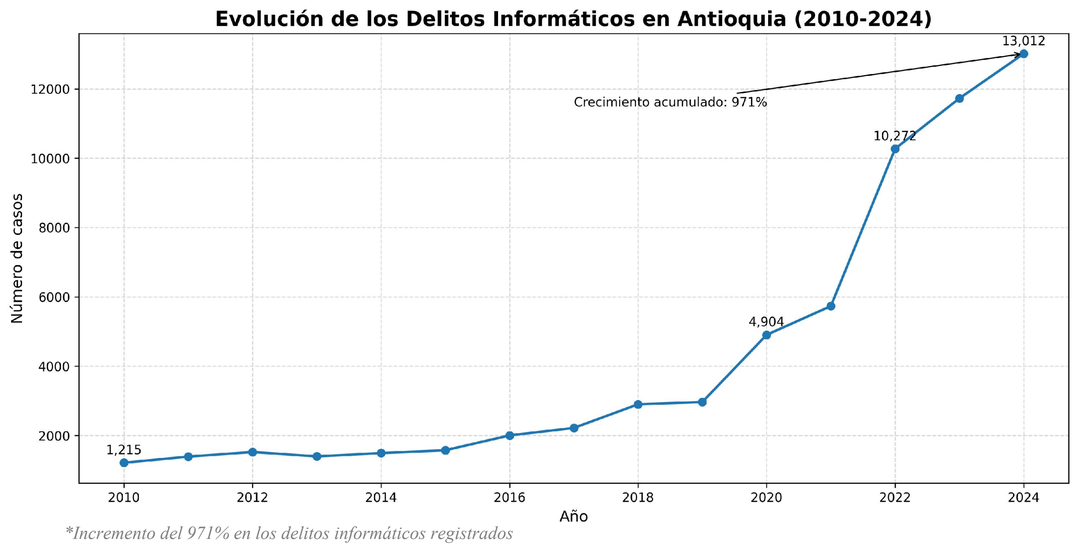
Objetivo general:
Analizar la relación entre la formación tecnológica masiva, las vulnerabilidades de software y los riesgos emergentes asociados al uso de inteligencia artificial en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.



**Distribución porcentual de los principales delitos informáticos registrados en Antioquia. El hurto por medios informáticos representa la modalidad con mayor incidencia, seguido por la violación de datos personales y el acceso abusivo a sistemas informáticos. Fuente: Fiscalía General de la Nación (datos abiertos).*

Metodología:
Investigación exploratoria basada en revisión documental y análisis de datos abiertos de la Fiscalía General de la Nación, complementada con literatura sobre IA y ciberseguridad.

Resultados:
- Incremento del 971% en delitos informáticos (2010-2024).
- Predominio de delitos asociados a fraude y robo de información.
- Más de 3.400 casos de suplantación de sitios web.
- Necesidad de fortalecer competencias en ética digital y ciberseguridad.



**Incremento del 971% en los delitos informáticos registrados*

Reflexiones preliminares:
La formación tecnológica debe incorporar desarrollo seguro, ética digital y ciberseguridad para fortalecer la resiliencia digital frente a amenazas potenciadas por inteligencia artificial.

Bibliografía:
- Fiscalía General de la Nación. Base de datos de Delitos Informáticos.
- Ministerio TIC.
- ColCERT.
- Fortinet Threat Landscape Report.
- Estrategia Nacional de Seguridad Digital 2025–2027.
- Hadnagy, C. (2020). *Social Engineering: The Science of Human Hacking*. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*.. Pearson.



SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

CheckExport: Aplicación Web para la Verificación del Cumplimiento Fitosanitario en la Exportación de Flores Naturales hacia Mercados Internacionales

María Camila Giraldo Giraldo – Kelly Vanessa Palacios Mena - Claudia Alejandra Rosero Noguera
Proyecto Integrador
kelly_palacios82191@elpoli.edu.co, maria_giraldo82222@elpoli.edu.co, carosero@elpoli.edu.co

Resumen:
CheckExport es una aplicación web tipo checklist diseñada para apoyar el cumplimiento de los requisitos fitosanitarios en la exportación de flores naturales desde Colombia. El sistema se basa en la Resolución ICA 2191 (2024) y en estándares internacionales. La herramienta centraliza información sobre trazabilidad, monitoreo de plagas, inspecciones y certificaciones, permitiendo reducir errores y optimizar el proceso exportador mediante alertas, indicadores y reportes de cumplimiento.

Planteamiento del problema:
El sector floricultor colombiano enfrenta dificultades para cumplir eficientemente los requisitos fitosanitarios exigidos para la exportación de flores, debido a la dispersión de la información y la complejidad normativa del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Esto genera riesgos de errores, retrasos y rechazos en mercados internacionales. Por ello, se propone desarrollar una herramienta digital que facilite el control y seguimiento fitosanitario, aportando además al ODS 9 mediante la innovación tecnológica en el sector agrícola.

Figura 1.



Objetivo general:
Desarrollar una aplicación web tipo checklist para la gestión y verificación del cumplimiento de los requisitos fitosanitarios exigidos en la exportación de flores naturales, conforme a la normativa del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y los estándares internacionales de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (IPPC).

Metodología:
El desarrollo del sistema CheckExport se basa en la metodología ágil Scrum, permitiendo una construcción iterativa e incremental del software mediante sprints de dos semanas. En cada sprint se realizan actividades de planificación, desarrollo, validación y mejora continua de las funcionalidades del sistema. El proyecto se gestiona mediante un Product Backlog priorizado según las necesidades del usuario y los requisitos fitosanitarios establecidos por la normativa vigente. Entre las funcionalidades principales se incluyen el checklist fitosanitario digital, el sistema de alertas automáticas, los indicadores de cumplimiento y los módulos de trazabilidad y monitoreo sanitario.

Resultados:
En la Figura 2 se describe el diagrama de capas del sistema CheckExport:
Capa de presentación: interfaz web que gestionan los requisitos fitosanitarios.
*Capa controlado*r: comunica la interfaz con la lógica del sistema.
Capa de servicio: procesa funciones como checklist, alertas e indicadores de cumplimiento.
Capa de persistencia almacena información de usuarios, predios y actividades fitosanitarias.
Capa de integración: gestiona la información normativa y los procesos de exportación de flores naturales.

Figura 2.



Conclusiones:
CheckExport permite centralizar y organizar la información fitosanitaria requerida para la exportación de flores naturales. Fortaleciendo la eficiencia y competitividad del sector floricultor colombiano frente a mercados internacionales.
La implementación de un checklist digital mejora la trazabilidad, el control y el seguimiento de las actividades fitosanitarias, contribuyendo en la reducción de errores, previniendo incumplimientos y optimizando la preparación para inspecciones y certificaciones.

Bibliografía:
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2024). *¿Cómo solicitar un Certificado Fitosanitario para Exportación?* Instituto Colombiano Agropecuario. https://www.ica.gov.co/servicios_linea/sispap_principal/consultas/agricola/exportacion/como-solicitar-un-certificado-fitosanitario-para

SEMINARIO DE INGENIERÍA
INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Ucation: Sistema Institucional de Mentorías Académicas

Karen Chiquito - Harold Hoyos - Wilmer Moreno

Claudia Alejandra Rosero Noguera

Proyecto integrador

karen_chiquito23181@elpoli.edu.co - harold_hoyos82221@elpoli.edu.co,
wilmer_moreno82191@elpoli.edu.co - carosero@elpoli.edu.co

Resumen:

Los estudiantes de primeros semestres del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid enfrentan dificultades de adaptación que pueden derivar en bajo rendimiento o deserción. Aunque existen docentes y estudiantes avanzados dispuestos a brindar apoyo, no existe un sistema estructurado que facilite esta conexión. Considerando que el mentoreo cumple un rol determinante en los nuevos modelos educativos (Vázquez Parra & Kustala, 2018), este proyecto propone Ucation, una plataforma web de mentorías para gestionar solicitudes, asignación y seguimiento, alineada con el ODS 4 – Educación de Calidad.

Planteamiento del problema:

La adaptación a la educación superior representa retos académicos y personales para los estudiantes de primeros semestres del PJIC, reflejados en bajo rendimiento y riesgo de deserción. Aunque la mentoría ha demostrado ser una estrategia efectiva para fortalecer el acompañamiento y la retención estudiantil (Rochin Berumen et al., 2023), actualmente no existe un sistema estructurado que facilite esta conexión. ¿Cómo puede un sistema de mentorías fortalecer el acompañamiento académico y mejorar el rendimiento estudiantil?

Figura 1.



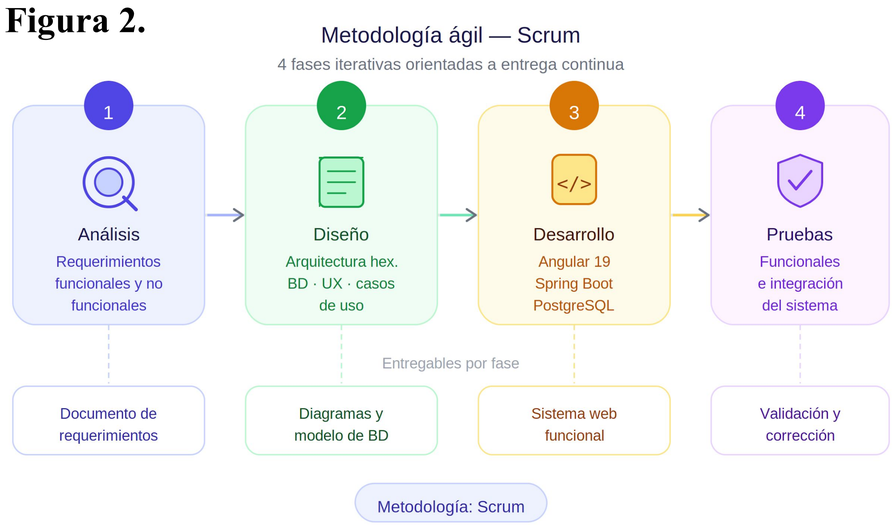
Objetivo general:

Desarrollar un sistema de mentorías mediante la implementación de una plataforma web que facilite la conexión entre estudiantes y profesores, para el fortalecimiento del acompañamiento académico, el mejoramiento del rendimiento estudiantil y la contribución a la permanencia universitaria en el PJIC.

Metodología:

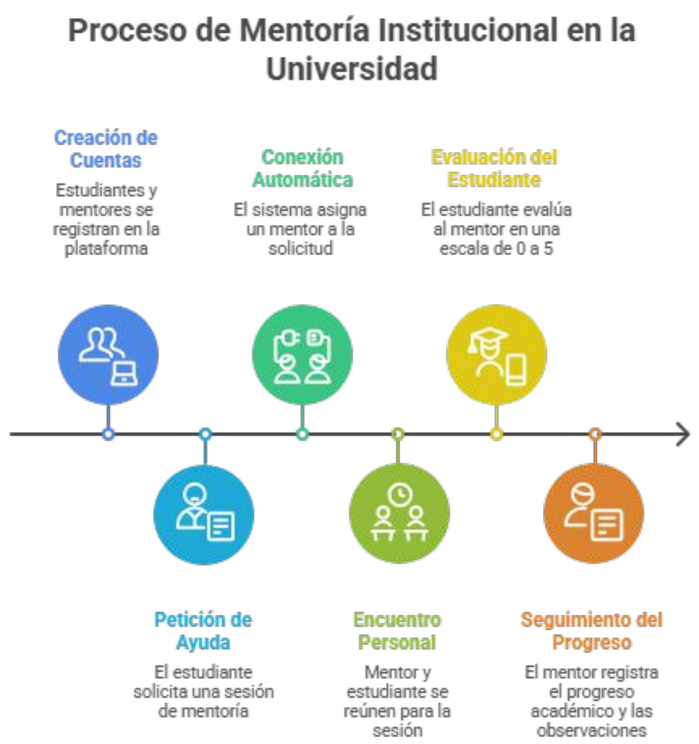
Se utiliza una metodología ágil basada en Scrum, organizada en 4 fases: (1) Análisis de requerimientos funcionales y no funcionales; (2) Diseño de arquitectura hexagonal, modelo de base de datos e interfaces; (3) Desarrollo del sistema web con Angular 19, Spring Boot y BD PostgreSQL; (4) Pruebas funcionales y de integración. Ver figura 1. Las técnicas de recolección incluyen encuestas a estudiantes, entrevistas a docentes y revisión documental sobre mentoría universitaria.

Figura 2.



Resultados: La Figura 3 representa el flujo funcional esperado del sistema de mentorías propuesto, mostrando las etapas que se espera gestionar dentro de la plataforma web. Con este proceso se espera fortalecer el acompañamiento académico, optimizar la interacción entre mentores y estudiantes y contribuir al mejoramiento del rendimiento y la permanencia estudiantil dentro de la institución.

Figura 3.



Conclusiones:

Ucation surge como respuesta a la ausencia de un sistema estructurado de mentoría en el PJIC. Su arquitectura hexagonal centraliza el registro, solicitud, sesiones y seguimiento académico, promoviendo la colaboración entre estudiantes y docentes. La plataforma contribuye al rendimiento estudiantil y la permanencia universitaria, alineándose con el ODS 4 – Educación de Calidad.

Bibliografía: Rochin Berumen et al. (2023). El arte de guiar: la mentoría. | Vázquez Parra & Kustala (2018). El mentoreo como herramienta. *Apuntes Universitarios, 8*(1).

SmartPot: Implementación de un sistema de monitoreo y control automatizado para cultivos hidropónicos mediante arquitectura IoT basada en ESP32 (Proyecto en curso)

Darwin David Castaño H. - Sebastián Castaño Garcia - Andrés David Medina M.

Claudia Alejandra Rosero Noguera

Proyecto Integrador

Correos electrónicos: darwin_castano82222@elpoli.edu.co - sebastian_castano82222@elpoli.edu.co - andres_medina82222@elpoli.edu.co - carosero@elpoli.edu.co

Resumen:

Este proyecto plantea un sistema hidropónico inteligente, de bajo costo y soportado en tecnologías IoT, orientado a automatizar la monitorización y el control de variables ambientales como temperatura, humedad, luminosidad, pH y concentración de nutrientes, tal como recomiendan García y Pérez (2023) y Mahmud et al. (2023). El sistema articula sensores, actuadores y una plataforma web con comunicación MQTT (Mosquitto) para supervisión en tiempo real, teleoperación y gestión automática o manual de los cultivos, optimizando recursos y ofreciendo una alternativa sostenible y escalable en contextos urbanos y educativos, para la producción de alimentos.

Planteamiento del problema:

La producción de alimentos enfrenta varios desafíos derivados del crecimiento urbano, la reducción de tierras cultivables, estos factores dificultan especialmente la agricultura en pequeña escala y en entornos urbanos. Una alternativa es la hidroponía que permite cultivar plantas haciendo uso suelo mediante soluciones nutritivas diluidas en agua, optimizando el uso de agua, espacio y nutrientes.

Por su parte, los sistemas automatizados comerciales suelen ser de alto costo, lo que limita el accesos para personas corrientes o empresas pequeñas. Es así como el Internet de las Cosas (IoT) permite integrar sensores y actuadores con plataformas digitales, facilitando el monitoreo, la automatización y la eficiencia en el uso de recursos.

Figura 1.

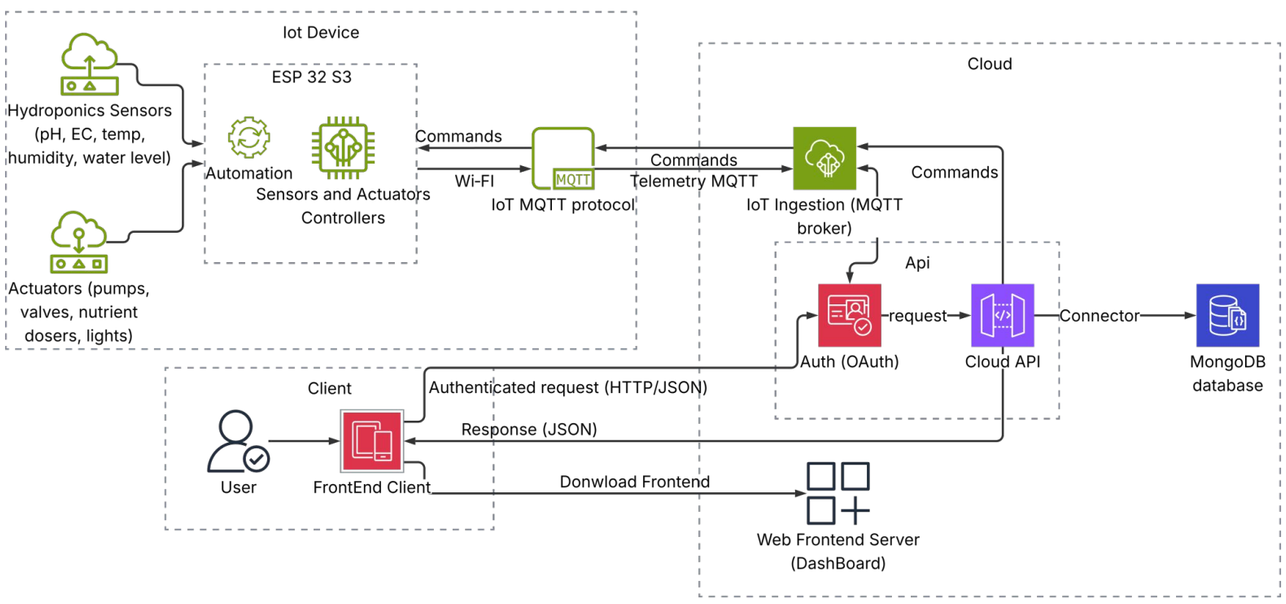


Diagrama de arquitectura del proyecto SmartPot (SmartPotTech)

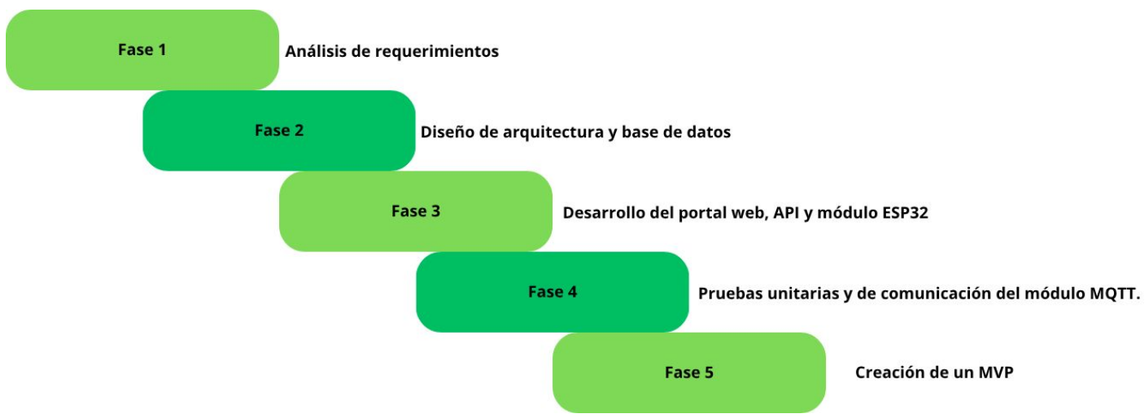
Objetivo general:

Desarrollar un sistema de software y hardware basado en el Internet de las Cosas (IoT) para la monitorización y control automatizado de un cultivo hidropónico a pequeña escala, controlando y monitoreando variables ambientales (humedad, temperatura, luminosidad, pH y nutrientes) para mejorar la eficiencia recursos.

Metodología:

Se emplea una investigación aplicada de enfoque mixto con un diseño experimental orientado al desarrollo tecnológico, con un prototipo mínimo viable. La población objetivo incluye pequeños productores, estudiantes y emprendedores urbanos interesados en agricultura sostenible. Las fases del proyecto se presentan en la figura 2.

Figura 2.



Fases del proyecto SmartPot (SmartPotTech)

Resultados:

El proyecto está enmarcado bajo una investigación en curso, y los resultados obtenidos a la fecha están asociados a los objetivos y al ciclo de vida del desarrollo de software. Ver tabla 1.

Tabla 1.

Fase del proyecto	Estado	Logros
1. Requisitos	Completado	4 Componentes generales claves (Portal web, API, BD e IoT).
2. Diseño	Completado	Modelado de la BD Arquitectura Microservicios.
3. Desarrollo	En Proceso	Implementación de Módulos: MQTT, Firmware, aplicativo web.
4. Pruebas	En Proceso	Pruebas unitarias y Pruebas de comunicación del módulo MQTT.
5. Integración	En Proceso	Integración hardware y software de IoT en cultivo físico y pruebas.

Conclusiones:

El sistema propuesto permitirá automatizar el monitoreo de variables de un cultivo hidropónico, reduciendo la intervención manual y optimizando el uso de recursos como el agua y los nutrientes, facilitando a los usuarios la toma de decisiones oportunas mediante visualización en tiempo real y alertas basadas en los datos capturados por los sensores IoT.

Bibliografía:

García, M. J., y Pérez, L. A. (2023). Low-cost IoT platforms for hydroponic systems: a review of simulation tools and open-source architectures. *Journal of Agricultural Engineering, 45*(2), 115-132. https://www.mdpi.com/2673-4591/122/1/3

Mahmud, M. F., Hasan, M., y Islam, M. S. (2023). Monitoring and controlling hydroponic units using IoT. *International Journal for Multidisciplinary Research in Applied Science, 1*(6), 1-10. https://www.ijfmr.com/research-paper.php?id=4167

SmartPotTech. (s. f.). *GitHub. GitHub*. https://github.com/SmartPotTech

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Sistema Centralizado de Alertas Civiles Georreferenciadas (Alerto)

Jorge Eduardo Rivera • Rafael Uribe Álvarez • Juan Esteban Urrea • Carlos Mauro Ríos

ING01207: PROYECTO INTEGRADOR

jorge_rivera23171@elpoli.edu.co • rafael_uribe95132@elpoli.edu.co • juan_urrea82231@elpoli.edu.co • carlos_rios23161@elpoli.edu.co

Profesora: Gladis Helena Vásquez Echavarría • ghvasquez@elpoli.edu.co



Resumen:

Alerto es un sistema centralizado de monitoreo y alertas tempranas para inundaciones en el Distrito de Medellín, construido con herramientas libres para mejorar la respuesta ante lluvias intensas. Bajo el estándar IEEE 830, una arquitectura de microservicios y Scrum durante 16 semanas, integra datos de Open-Meteo orquestados con Airflow, procesamiento ELT en arquitectura de medallones (Bronze, Silver, Gold) con PostgreSQL, dbt y pandas, y clasificación de riesgo en niveles bajo, medio y alto. Los resultados incluyen una pipeline automatizada, un motor de evaluación en tiempo real, una API con tablero React y notificaciones SMS, todo contenerizado con Docker. La solución articula datos, análisis y comunicación en una plataforma escalable, trazable y mantenible que fortalece la prevención urbana ante inundaciones.

Planteamiento del problema:

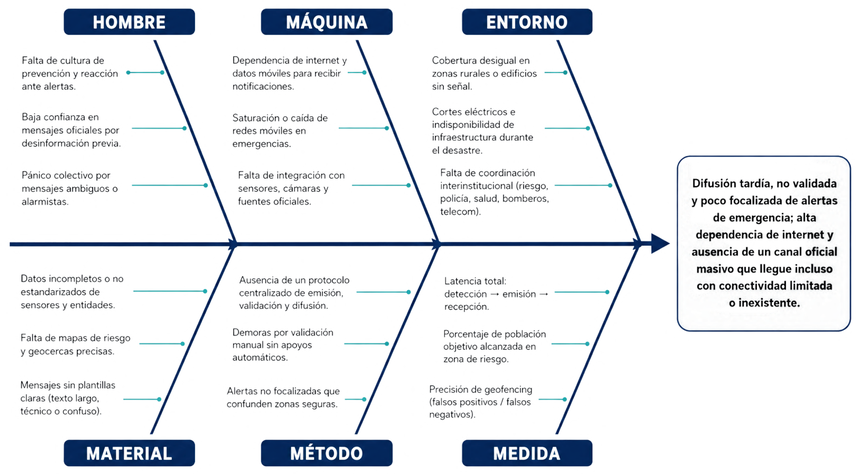


Fig 1. Diagrama de Ishikawa o espina de pescado.

Objetivo general:

Implementar un sistema centralizado de monitoreo y alertas tempranas para inundaciones en el distrito de Medellín, mediante la integración de recolección de datos meteorológicos, procesamiento de nivel de riesgo y difusión de notificaciones automatizadas con herramientas y frameworks de uso libre, mejorando así la capacidad de anticipación y respuesta ante eventos de lluvia intensa que generen desbordamientos.

Metodología:

1. Levantamiento y especificación de requisitos según IEEE 830.
2. Diseño de arquitectura modular basada en microservicios.
3. Ingesta de datos desde Open-Meteo y orquestación con Airflow.
4. Procesamiento ELT y arquitectura de medallones Bronze, Silver y Gold con PostgreSQL, dbt y pandas.
5. Implementación de lógica de riesgo con clasificación bajo, medio y alto.
6. Exposición de servicios mediante FastAPI, visualización en React y envío de alertas vía SMS.
7. Despliegue contenerizado con Docker y seguimiento ágil mediante Scrum durante 16 semanas.

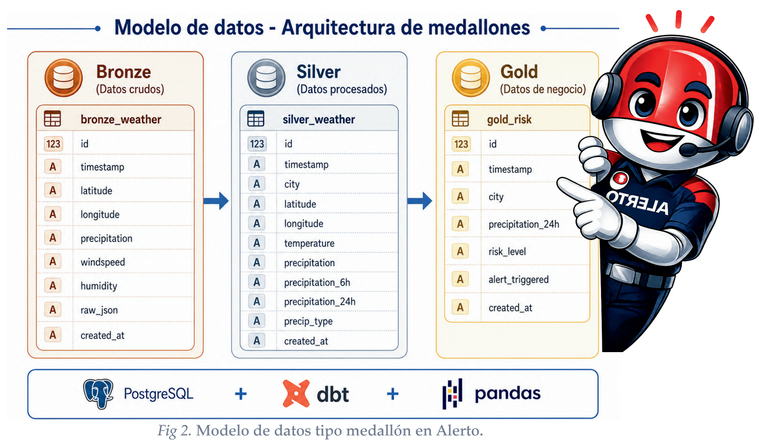


Fig 2. Modelo de datos tipo medallón en Alerto.

Resultados:

1 Pipeline automatizada para la captura y transformación de datos meteorológicos.

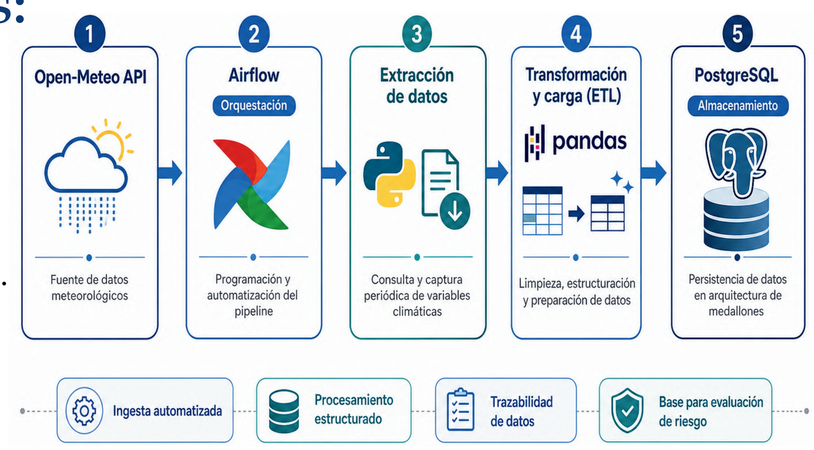


Fig 3. Estructura de flujo y tratamiento de datos.

2 Motor de evaluación de riesgos con clasificación de alertas en tiempo real

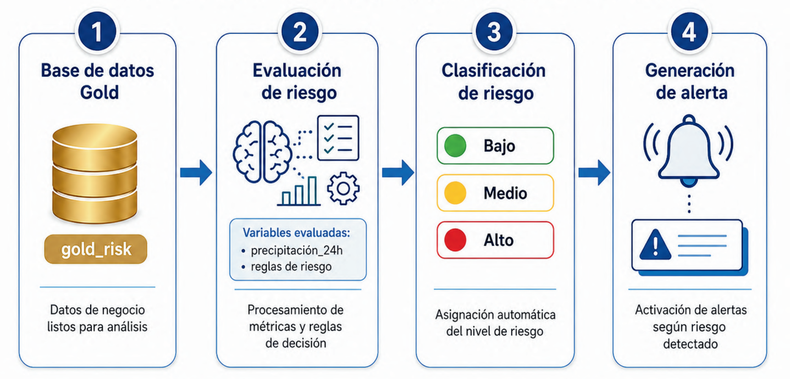


Fig 4. Subsistema de clasificación de datos.

3 API de consulta y tablero web para visualización



Fig 5. Integración Backend + Frontend.

4 Sistema de notificaciones SMS para difusión oportuna de alertas

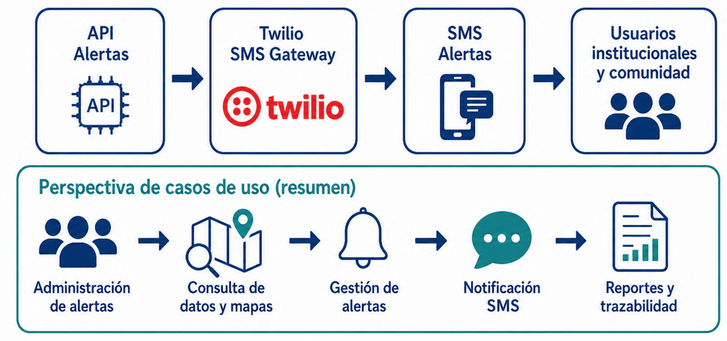


Fig 6. Subsistema de notificaciones de Alerto.

Conclusiones:

- Alerto articula datos, análisis y comunicación de riesgo en una sola plataforma.
- La arquitectura propuesta favorece escalabilidad, trazabilidad y mantenimiento del sistema.
- El proyecto puede fortalecer la prevención y la respuesta temprana frente a inundaciones en contextos urbanos como Medellín.

Referencias:

Draw.io Ltd. & draw.io AG. (s. f.). draw.io [Software] https://www.drawio.com/

Federal Emergency Management Agency. (2022, April). IPAWS tips: TIP 41: WEA geo-targeting & 360 [PDF].

Figma. (s. f.). Figma [Software]. https://www.figma.com/

Hallegatte, S. (2012, July 23). Early warning weather systems have very real benefits. World Bank Blogs.

International Telecommunication Union. (n.d.). Disaster connectivity map. Retrieved March 12, 2026, from ITU website.

Martinez, G. (2018, October 3). 225 million phones just received a presidential alert. No, it was not a text from President Trump. TIME.

Oracle. (2025). Oracle APEX (versión 24.2) [Software]. https://www.oracle.com/apex/

Pew Research Center. (2025, September 25). Social media and news fact sheet.

European Commission. (n.d.). Information manipulation and misinformation. Retrieved March 12, 2026, from European Commission website.

World Health Organization. (n.d.). Infodemic. Retrieved March 12, 2026, from WHO website.

World Meteorological Organization. (2022). Adaptation and resilience.

World Meteorological Organization. (2025, November 12). Early warning systems reach new heights, but critical gaps jeopardize global progress.

ALERTO | GIS Grupo de Investigación en Ingeniería Sostenible | SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería
POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid
Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

UrewardGo: Sistema Web Gamificado Para La Gestión De Tareas y Recompensas

Proyecto de desarrollo de software

Cristian Garro Saboga cristian_garro23191@elpoli.edu.col, **Brayhan Escobar Rivera** brayhan_escobar82222@elpoli.edu.co, **Juan Felipe Hincapié Machado** juan_hincapie95151@elpoli.edu.co, **Mateo Carvajal Maya** mateocarvajal@elpoli.edu.co , **Gladis H. Vásquez Echavarria** ghvasquez@elpoli.edu.co.

Proyecto académico de desarrollo web

Resumen:

UrewardGo es una aplicación web full stack orientada a pequeñas empresas y equipos de trabajo. Su propósito es gamificar la gestión de tareas mediante puntos, recompensas y seguimiento del desempeño. El sistema permite crear tareas, subir evidencias, aprobar o rechazar entregas y reclamar puntos por actividades validadas. La solución se apoya en una arquitectura de tres capas con React y Vite en el frontend, Node.js y Express en el backend, y MongoDB como base de datos. Actualmente el proyecto se encuentra en desarrollo y ya cuenta con funcionalidades operativas clave.

Planteamiento del problema:

En muchos equipos pequeños la asignación y el seguimiento de tareas se realizan de forma manual o con herramientas dispersas. Esto genera poca trazabilidad, baja motivación y dificultad para reconocer el esfuerzo individual. Se requiere una plataforma centralizada que conecte la ejecución de tareas con mecanismos de reconocimiento y control.

Figura 1. Diagrama Ishikawa



Pregunta Problema:

¿De qué manera la implementación de una plataforma web gamificada centraliza la gestión de tareas y mitiga la desmotivación operativa en equipos de trabajo?

Objetivo general:

Diseñar e implementar una plataforma web que centralice la gestión de tareas, valide evidencias de cumplimiento y convierta el desempeño de los usuarios en puntos y recompensas, con el fin de mejorar la motivación, la trazabilidad y el control operativo del equipo.

Metodología:

Se desarrolló un proyecto aplicado de software con enfoque incremental. Primero se definieron requisitos funcionales y roles de usuario; posteriormente se diseñó la arquitectura cliente-servidor y los modelos de datos. Luego se implementó una API REST con autenticación JWT, autorización por roles y carga de archivos, y finalmente se integró un frontend en React para la interacción de administradores y trabajadores. Se realizaron pruebas funcionales sobre los módulos principales del flujo de trabajo.

Resultados:

Resultados alcanzados a la fecha:

- Autenticación de usuarios y control de acceso por roles.
- Creación y asignación de tareas por parte del administrador.
- Carga de evidencias por parte del trabajador.
- Aprobación o rechazo de entregas.
- Reclamo de puntos y actualización de datos en la base de datos.
- Módulos base de recompensas, historial y estructura para ranking y metas.

Estos avances demuestran la viabilidad funcional del sistema y su potencial para mejorar la gestión del trabajo en equipo.

Figura 2. Interfaces y flujo principal

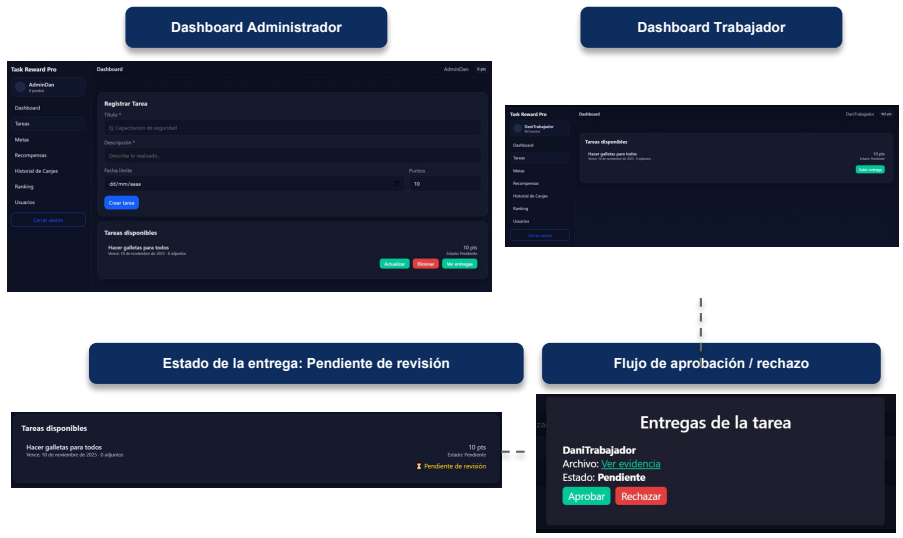


Tabla 1. Stack tecnológico

Capa	Tecnologías	Función
Frontend	React, Vite, React Router, Context API	Interfaz y navegación
Backend	Node.js, Express	API REST y lógica de negocio
Persistencia	MongoDB, Mongoose	Almacenamiento de datos
Seguridad	JWT, bcrypt, Multer	Autenticación, roles y carga de archivos

Conclusiones:

UrewardGo demuestra que la gamificación puede integrarse a la operación diaria para aumentar participación, seguimiento y reconocimiento. La arquitectura de tres capas favorece la organización del código, la mantenibilidad y el crecimiento futuro del sistema. Como trabajo futuro se proyecta fortalecer los módulos de ranking, metas, analítica y despliegue en producción.

Bibliografía:

- G**Auth0.** (2026). *JSON Web Token introduction.* https://jwt.io/introduction
- **Express.js.** (2026). *Express web framework documentation.* https://expressjs.com/
- **Werbach, K., & Hunter, D.** (2012). *For the Win: How Game Thinking Can Revolutionize Your Business.* Wharton Digital Press.
- ***Pura, J. J. (2022)****. Linking motivation and employee engagement through gamification in remote working. International Journal of Academe and Industry Research, 3(1), 52-69.*

UrewardGo

GIS Grupo de Investigación en Ingeniería Sostenible

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

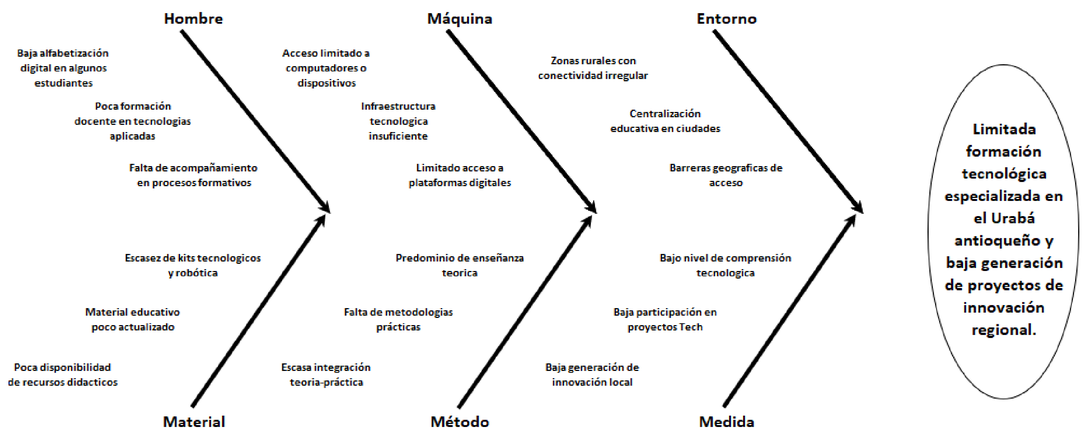
Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Plataforma Web para la Gestión y Fortalecimiento de Competencias Digitales (TechLab Urabá)

Samuel David Bedoya Castrillón, Daniel Naar Pacheco, Gladis Helena Vasquez Echavarria
ING01207 PROYECTO INTEGRADOR
samuel_bedoya82221@elpoli.edu.co, daniel_naar82221@elpoli.edu.co, ghvasquez@elpoli.edu.co

Resumen:
TechLab Urabá es una iniciativa educativa hibrida orientada a fortalecer las competencias tecnológicas de los niños, jóvenes y adultos del Urabá antioqueño. Para soportar este modelo, se propone la implementación de una plataforma web que permita gestionar los diferentes procesos académicos. El desarrollo emplea metodología ágil Scrum y herramientas de software libre, buscando ayudar al cierre de la brecha digital en zonas rurales.

Planteamiento del problema:



¿De que manera se puede contribuir a reducir la brecha digital y fortalecer las competencias tecnológicas de niños, jóvenes y adultos en la región de Urabá?

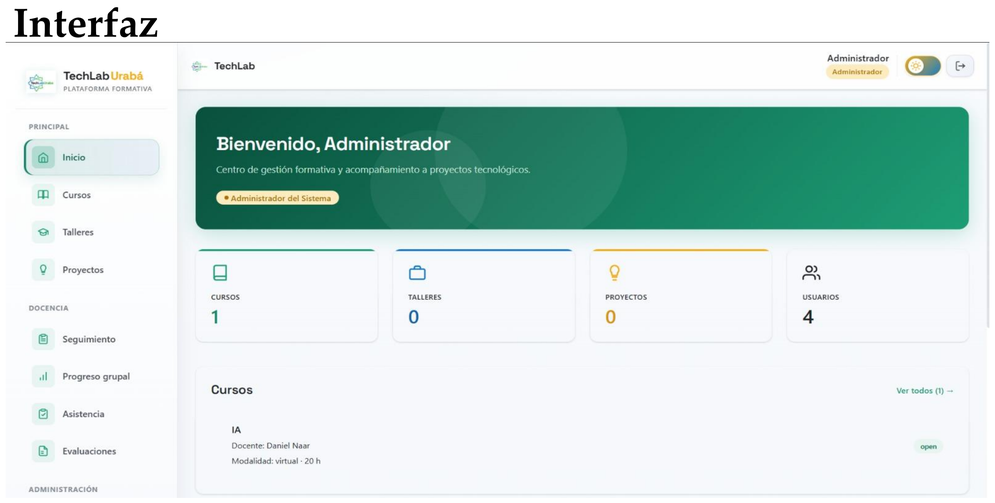
Objetivo general:
Implementar una plataforma web mediante herramientas de software libre para la gestión académica y el acompañamiento de proyectos tecnológicos, orientada al fortalecimiento de competencias digitales/tecnológicas y a la optimización de los procesos formativos en la región del Urabá antioqueño.

Metodología:
- **Investigación aplicada:** para identificar la brecha digital en la región de Urabá.
- **Población y muestra:** niños, jóvenes y adultos de la región de Urabá, acompañados de docentes como usuarios de la plataforma.
- **Técnicas de recolección:** revisión documental de fuentes oficiales y especificación de requisitos alineados al estándar IEEE 830.
- **Arquitectura modular:** empleada para el diseño de la plataforma y el modelo de la base de datos.
- **Diseño de interfaces:** prototipos con enfoque en la usabilidad y diseño centrado en el usuario.
- **Desarrollo e integración:** módulos funcionales con pruebas de integración.
- **Despliegue:** posterior seguimiento mediante Scrum.

Resultados:



Interfaz



Conclusiones:
- El uso de la metodología Scrum y softwares libres permitió un desarrollo iterativo y adaptable que fue validado mediante pruebas de integración.
- La arquitectura modular empleada busca la escalabilidad de la plataforma permitiendo incorporar nuevas funcionalidades sin comprometer el funcionamiento del sistema.
- La plataforma se muestra como una herramienta sostenible para contribuir a la reducción de la brecha digital, con gran potencial de replica en otras iniciativas similares.

Referencias:
Alcaldía de Necoclí. (2023). *MinTIC se conecta con el Urabá Antioqueño*. https://www.necocli-antioquia.gov.co/NuestraAlcaldia/SalaDePrensa/Paginas/MinTIC-se-conecta-con-el-Urab%C3%A1-Antioque%C3%B1o.aspx
Atlassian. (s.f.). *¿Qué es scrum? Una guía para el marco de trabajo ágil*. Atlassian. https://www.atlassian.com/es/agile/scrum
Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2025). *La ciencia y la robótica llegaron a la región de Urabá antioqueño*. https://minciencias.gov.co/sala_de_prensa/la-ciencia-y-robotica-llegaron-la-region-uraba-antioqueno
Talento Tech. (2025). *Talento Tech impulsa la formación tecnológica en el Urabá antioqueño*. https://talentotech2.com.co/novedades/talento-tech-impulsa-la-formacion-tecnologica-en-el-uraba-antioqueno

TechLabUraba

GIS Grupo de Investigación en Ingeniería Sostenible

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

VegetableAI - Gestor de Inventario Doméstico y Alerta de Vencimiento Asistido por OCR/IA (PWA)

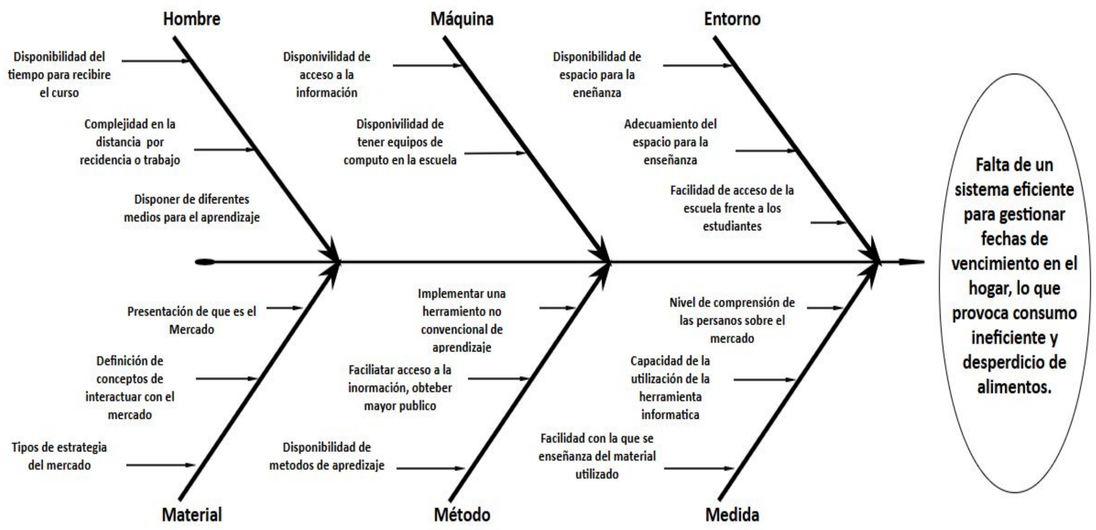
Veronica Julieth Molina Bolivar, Daniel Ospina Zarza, Andres Felipe Marin Monsalve, Juan Camilo Ortiz Correa, Juan Pablo Isaza Ortíz, Gladis Helena Vasquez Echavarria

veronica_molina23191@elpoli.edu.co, daniel_ospina82212@elpoli.edu.co, andres_marin23201@elpoli.edu.co, juan_ortiz82172@elpoli.edu.co, juan_isaza82211@elpoli.edu.co, ghvasquez@elpoli.edu.co

Resumen:
VegetableAI es una Aplicación Web Progresiva (PWA) diseñada para reducir el desperdicio de alimentos en los hogares. El sistema permite a los usuarios gestionar su inventario personal identificando automáticamente fechas de vencimiento mediante Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR) y generando alertas preventivas antes de que los productos expiren.

Planteamiento del problema:
La falta de sistemas eficientes de gestión de fechas y los hábitos de consumo ineficientes generan un desperdicio masivo de alimentos en entornos urbanos. Por lo que Existe una ausencia de herramientas tecnológicas accesibles que integren el escaneo de productos con notificaciones en tiempo real sin requerir hardware costoso.

Figura 1.



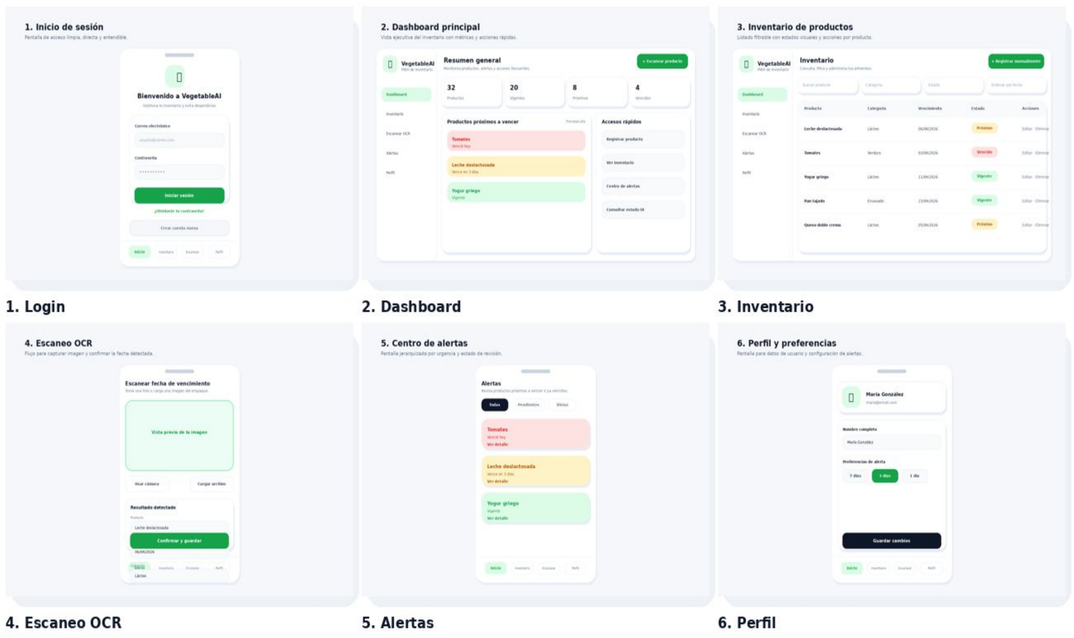
Objetivo general:
Desarrollar una plataforma inteligente (PWA) para la identificación automática de fechas de vencimiento y la estimación del estado de productos alimenticios.

Metodología:
Se adoptó una metodología de investigación aplicada con arquitectura modular por dominios. Se desarrolló una PWA integrando React (frontend), Node.js/Express (backend) y Supabase (persistencia), empleando Tesseract.js como motor de visión artificial para el procesamiento y reconocimiento OCR automático de etiquetas en tiempo real.

Resultados:
Se alcanzó una precisión del OCR superior al 80%, logrando tiempos de procesamiento optimizados. La solución centraliza la gestión alimentaria, disminuye el error humano en los registros y fomenta hábitos de consumo sostenible, impactando positivamente en la economía del hogar.

Figura 2.

Tabla 1.



Conclusiones:
VegetableAI valida la viabilidad técnica de la IA accesible para resolver problemas de escala doméstica. La integración de tecnologías web modernas ofrece una herramienta eficaz contra el desperdicio alimentario, promoviendo la eficiencia operativa y la seguridad alimentaria en el entorno familiar.

Bibliografía:

Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2016). Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia. Gobierno de Colombia.

Food and Agriculture Organization [FAO]. (2024). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Organización de las Naciones Unidas.

IEEE Computer Society. (1998). IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications (IEEE Std 830-1998). Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

Smith, R. (2007). An overview of the Tesseract OCR engine. Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007), 2, 629-633.

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

FoodShare: Marketplace de excedentes alimentarios para la redistribución solidaria de alimentos

Juan Miguel Millan Ciro – Dylan David Marmolejo – Gladis Helena Echavarria

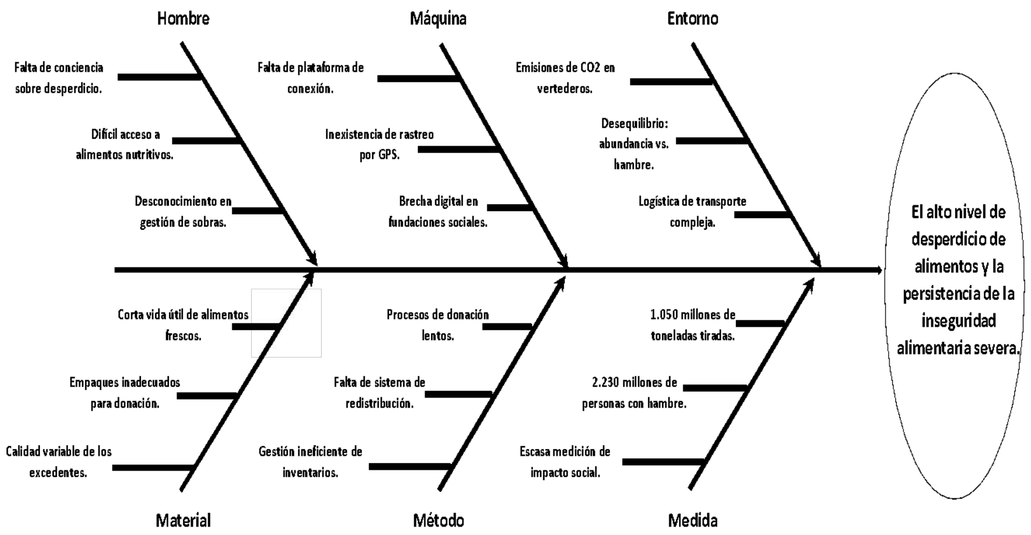
Proyecto Integrador

Juan_millan82222@elpoli.edu.co – Dylan_david82211@elpoli.edu.co – Ghvasquez@elpoli.edu.co

Resumen:

FoodShare es una plataforma web tipo marketplace que conecta restaurantes y supermercados con organizaciones sociales para redistribuir excedentes alimentarios en buen estado. La propuesta busca reducir el desperdicio de alimentos y apoyar a poblaciones vulnerables. El sistema permite registrar usuarios, publicar donaciones, buscar alimentos, reservarlos y confirmar entregas mediante código QR. Además, genera reportes de impacto social y ambiental relacionados con el ODS 2: Hambre Cero (Naciones Unidas Colombia, s.f.).

Planteamiento del problema:



Objetivo general:

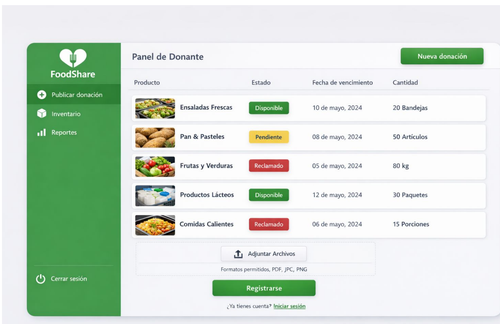
Desarrollar un Marketplace de excedentes alimentarios mediante el uso de frameworks como React, la base de datos PostgreSQL y alguna API para la geolocalización que conecte a restaurantes y supermercados con bancos de alimentos para facilitar la redistribución gratuita de comida en buen estado y contribuir al cumplimiento de las metas del ODS 2: Hambre Cero

Metodología:

1. Definir requisitos funcionales y no funcionales (HTTPS, escalabilidad) según IEEE 830.
2. Modelar datos en PostgreSQL y diagramas de secuencia para flujos de excedentes.
3. Diseñar mockups en React (Login, Dashboard, Mapa) priorizando usabilidad.
4. Desarrollar backend con Node.js y API REST para usuarios, productos y validación.
5. Integrar geolocalización y sistema QR para conectar donantes y asegurar entregas gratuitas.
6. Probar seguridad y verificar cumplimiento del ODS 2 (Hambre Cero).
7. Desplegar la plataforma en la nube con escalabilidad automática.

Resultados:

1 Gestión de Inventario para Donantes



2 Buscador y Reserva de Donaciones Disponibles



3 Panel de Estadísticas e Impacto Disponibles



Conclusiones:

FoodShare es una propuesta tecnológica que contribuye a reducir el desperdicio de alimentos mediante la conexión entre donantes y organizaciones sociales. La definición de requisitos permite establecer una base clara para su desarrollo. Sus funcionalidades favorecen la trazabilidad, seguridad y coordinación de las donaciones. Además, el proyecto aporta al cumplimiento del ODS 2: Hambre Cero y promueve la responsabilidad social.

Bibliografía:

- Naciones Unidas Colombia. (s.f.). Objetivo de Desarrollo Sostenible 2: Hambre cero. https://colombia.un.org/es/sdgs/2
- Un Mundo Sostenible. (2025). ODS 2: Hambre Cero está en nuestras manos. https://unmundosostenible.com/ods/ods-2-hambre-cero/
- Dorado, E. J. A. (2025, 30 de septiembre). Startup colombiano conecta a empresas con excedentes de comida y organizaciones sociales reduciendo el desperdicio de alimentos. El Tiempo. https://www.eltiempo.com/economia/empresas/startup-colombiana-conecta-a-empresas-con-excedentes-de-comida-y-organizaciones-sociales-reduciendo-el-desperdicio-de-alimentos-3495608.

FoodShare

GIS Grupo de Investigación en Ingeniería Sostenible

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Plataforma Web de Empleos Temporales Geolocalizados (ProntoWork)

Andrés Felipe Ramirez Martínez, Mateo Andrés Vanegas, Jean Carlos Zapata, Gladis Helena Vasquez Echavarria

ING01207 PROYECTO INTEGRADOR

andres_ramirez82221@elpoli.edu.com, mateo_vanegas82221@elpoli.edu.co, jean_zapata82201@elpoli.edu.co, ghvasquez@elpoli.edu.co

Resumen:

ProntoWork es una plataforma web que conecta trabajadores temporales con empleadores colombianos mediante geolocalización en tiempo real, eliminando intermediarios costosos y digitalizando el acceso al trabajo digno. Desarrollada con Node.js, React y PostgreSQL/PostGIS, integra búsqueda espacial de ofertas por mapa y radio configurable, chat en tiempo real vía Socket.io, verificación de identidad KYC con carga documental, calificaciones bilaterales automáticas y notificaciones instantáneas. Se obtuvo una plataforma funcional, segura y responsiva que responde a la alta informalidad laboral colombiana, facilitando conexiones directas, transparentes y confiables entre las partes.

Planteamiento del problema:

En Colombia, el trabajo informal representa aproximadamente el 55,3% del empleo total (DANE, 2026). Los trabajadores temporales carecen de plataformas digitales accesibles que les permitan encontrar oportunidades laborales cercanas de manera rápida, segura y sin intermediarios costosos. Paralelamente, los empleadores enfrentan dificultades para encontrar personal confiable y verificado para tareas específicas de corta duración. Esta brecha tecnológica genera ineficiencias en el mercado laboral, perpetúa la informalidad y limita el acceso a trabajo digno para sectores vulnerables de la población colombiana. *¿Cómo facilitar el acceso a ofertas de trabajos temporales a personas con necesidades laborales?*

Objetivo general:

Desarrollar una plataforma web que facilite la intermediación de trabajo temporal en Colombia mediante geolocalización, verificación de identidad y comunicación en tiempo real.

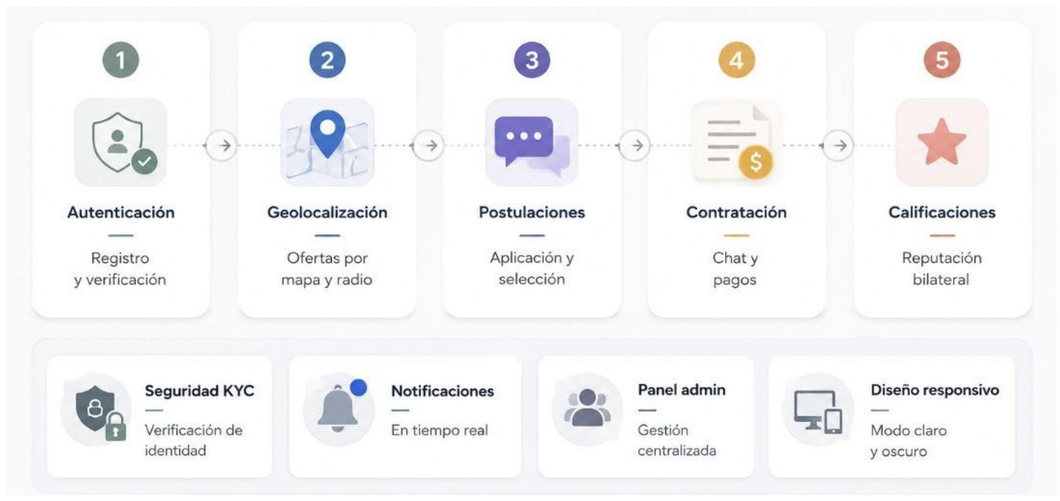
Metodología:

El proyecto adoptó una metodología de desarrollo ágil con enfoque iterativo incremental. Se utilizó un diseño de investigación aplicada de tipo tecnológico. La población objetivo corresponde a trabajadores informales y empleadores en ciudades colombianas. El desarrollo se estructuró en ocho fases: arquitectura del sistema, autenticación, geolocalización y ofertas, postulaciones y chat, pagos y calificaciones, verificación KYC y seguridad, pruebas unitarias, y mejoras de usabilidad. Las técnicas de construcción incluyeron diseño de base de datos relacional con extensión espacial PostGIS, desarrollo fullstack con Node.js y React, integración de APIs externas como Cloudinary y OpenStreetMap, y pruebas unitarias con 23 casos de prueba automatizados.

Resultados:

Plataforma funcional con búsqueda geolocalizada por categoría y radio; autenticación diferenciada; chat en tiempo real vía Socket.io; verificación KYC con documentos en Cloudinary; calificaciones bilaterales con promedio automático; notificaciones en tiempo real; panel administrativo con gestión de usuarios, ofertas y KYC; diseño responsivo con modo oscuro.

Figura 1.



Conclusiones:

ProntoWork demostró la viabilidad de implementar intermediación laboral digital con tecnologías open source. PostGIS permitió búsquedas espaciales eficientes y el sistema KYC genera confianza entre las partes. Las plataformas digitales representan una herramienta efectiva para reducir la brecha de acceso al trabajo digno cuando incorporan seguridad, transparencia y usabilidad centrada en el usuario.

Bibliografía:

Cloudinary Inc. (2026). *Cloudinary: Image and video management platform*. Cloudinary: https://cloudinary.com/

DANE. (13 de abril de 2026). *Mercado laboral: Empleo informal y seguridad social*. https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/mercado-laboral/empleo-informal-y-seguridad-social

OpenStreetMap Foundation. (2023). *OpenStreetMap: Free wiki world map*. OpenStreetMap: https://www.openstreetmap.org/

PostgreSQL Global Development Group. (2023). *PostGIS: Spatial and geographic objects for PostgreSQL*. PostGIS: https://postgis.net/

Socket.IO. (2026). *Socket.IO: Bidirectional and low-latency communication*. Socket.IO: https://socket.io/

GIS Grupo de Investigación en Ingeniería Sostenible

PW ProntoWork

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

PractiNexo: Centralización de Ofertas de Prácticas y Servicio Social

Proyecto integrador
Juan Sebastian Perez Moncada, juan_perez82212@elpoli.edu.co
Nicholas Pareja Hincapié, nicholas_pareja82222@elpoli.edu.co
Julian David Pulgarin Duque, julian_pulgarin23191@elpoli.edu.co
Sebastian Quiceno Muñoz, sebastian_quiceno82192@elpoli.edu.co
Dayron Restrepo Perez, dayron_restrepo82202@elpoli.edu.co,
Gladis H. Vasquez Echavarria ghvasquez@elpoli.edu.co,

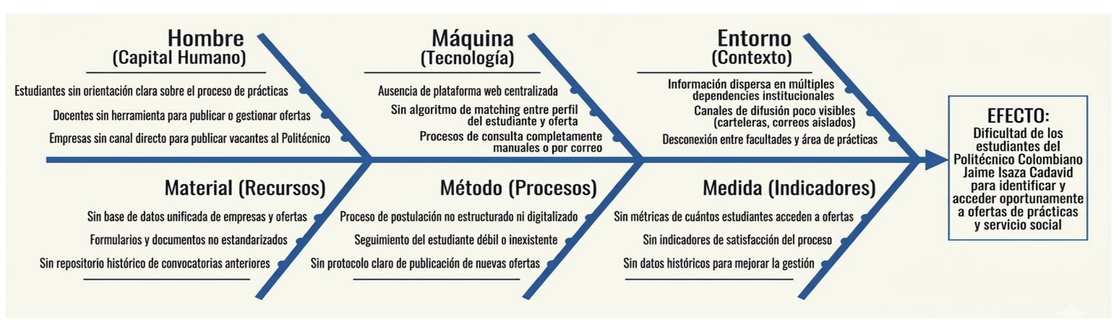
Resumen

PractiNexo es una aplicación web full stack desarrollada con React, Node.js y MongoDB, diseñada para centralizar y facilitar el acceso a ofertas de prácticas y servicio social en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. La plataforma integra una interfaz intuitiva, mecanismos de búsqueda filtrada y un algoritmo de matching básico que conecta el perfil académico del estudiante con las oportunidades disponibles, reduciendo la dispersión de información y mejorando la oportunidad en el acceso a estas experiencias formativas.

Planteamiento del problema

Actualmente, la información sobre prácticas y servicio social en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid se encuentra dispersa en múltiples dependencias, canales de correo y medios de difusión poco visibles, lo que dificulta que los estudiantes identifiquen y accedan oportunamente a las ofertas disponibles. La ausencia de una plataforma centralizada genera desinformación, pérdida de oportunidades académicas y un proceso de postulación desorganizado tanto para estudiantes como para empresas y docentes. Esta situación evidencia la necesidad de una herramienta digital que unifique, estructure y facilite la consulta de estas oportunidades, esta brecha se refleja a nivel nacional, donde el 65% de las empresas prefieren egresados con experiencia práctica (El Frente, 2024), pero los estudiantes carecen de canales efectivos para encontrarla. .

Figura 1
Diagrama de Ishikawa



Pregunta Problematizadora

¿Cómo reducir la brecha entre las habilidades técnicas y creativas de estudiantes universitarios y las necesidades operativas de organizaciones sociales locales, de manera que se generen alianzas efectivas que contribuyan a comunidades sostenibles y fortalezcan redes de colaboración ?

Objetivo general

Desarrollar una plataforma web centralizada que permita a los estudiantes del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid identificar, consultar y postularse a ofertas de prácticas y servicio social de manera oportuna, mediante una interfaz usable, mecanismos de búsqueda filtrada y un algoritmo de matching básico entre el perfil del estudiante y las oportunidades disponibles.

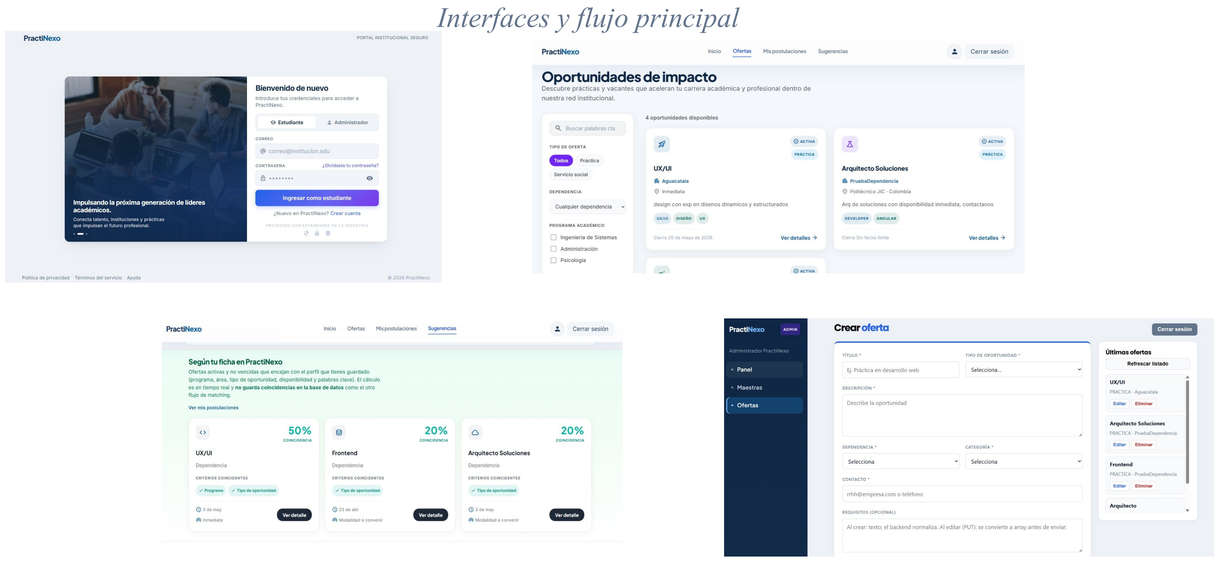
Metodología

Enfoque de desarrollo ágil que incluye: levantamiento de requisitos, modelado UML, diseño de interfaces, construcción de arquitectura cliente-servidor (React + Node.js) y validación funcional con Postman.

Resultados

- Repositorio centralizado con ofertas de prácticas y servicio social.
- Módulo administrativo para la gestión de convocatorias (CRUD).
- Interfaz responsiva y amigable para el acceso estudiantil.
- Algoritmo de matching básico basado en el perfil e intereses del usuario.

Figura 2
Interfaces y flujo principal



Conclusiones

La dispersión de información sobre prácticas y servicio social en el Politécnico representa una barrera real y tratable tecnológicamente. PractiNexo demuestra que es posible centralizar estas oportunidades en una plataforma usable y funcional con tecnologías modernas de bajo costo. El algoritmo de matching agrega valor diferencial al reducir el tiempo de búsqueda del estudiante. Como trabajo futuro se recomienda incorporar notificaciones automáticas, integración con el sistema académico institucional y mejora del algoritmo con técnicas de aprendizaje automático.

Bibliografía

- DANE. (2025). *Mercado laboral: Características de la población*. https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/mercado-laboral/empleo-informal-y-seguridad-social
- El Frente. (2024, 20 de agosto). *Mercado laboral colombiano se inclina por egresados con experiencia práctica: un 65% de empresas lo prefieren*. https://elfrente.com.co/
- IEEE Computer Society. (1998). *IEEE Std 830-1998: IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications*.
- Impacto TIC. (2024, 26 de agosto). *Jóvenes en Colombia: formación tecnológica contra el desempleo*. https://impactotic.co/
- Naciones Unidas. (s. f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. https://sdgs.un.org/goals

Grupo de Investigación en Ingeniería Sostenible

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Sistema de Orientación en Salud Mediante Chatbot con Clasificación de Riesgo [Desarrollo Tecnológico]

Andrea Alvarez Posada, Esteban Cano Ramirez, Julián Agudelo Sepúlveda, Edison Álvarez Cano, David Alejandro Antolinez Chavarro, Gladis Helena Vásquez Echavarría

Proyecto Integrador

andrea_alvarez82202@elpoli.edu.co, esteban_cano82221@elpoli.edu.co, julian_agudelo82191@elpoli.edu.co, edison_alvarez82162@elpoli.edu.co, david_antolinez82222@elpoli.edu.co, ghvasquez@elpoli.edu.co

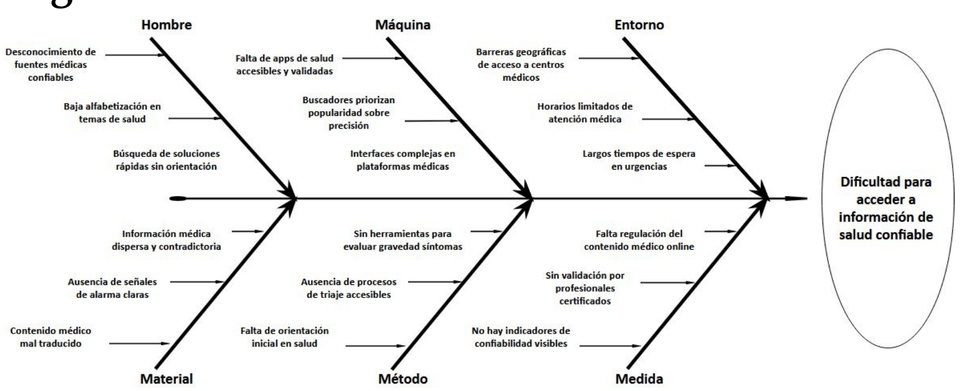
Resumen:

Este proyecto aborda la problemática de desinformación en salud mediante el desarrollo de VitalBot, una herramienta digital de orientación médica. Durante 15 semanas bajo metodología SCRUM, se diseñó e implementó un sistema web con chatbot conversacional, clasificación de riesgo y base de datos médica validada por profesional de salud. La arquitectura de 3 capas fue desarrollada con React, Node.js y PostgreSQL. El proyecto incluye validación con usuarios universitarios para medir efectividad en reducción de automedicación y comprensión de recomendaciones. Alineado con el ODS 3, demuestra el potencial de tecnologías conversacionales para mejorar el acceso equitativo a orientación en salud.

Planteamiento del problema:

Falta de orientación confiable en consultas de salud online genera desinformación, automedicación y saturación de urgencias. El diagrama identifica las causas raíz de esta problemática.

Figura 1.



¿Cómo orientar a la población frente a síntomas frecuentes y promover decisiones informadas de forma accesible sin reemplazar la consulta médica profesional?

Objetivo general:

Desarrollar una aplicación web de consultoría en salud que integre un chatbot conversacional y una base de datos validada, permitiendo a los usuarios consultar síntomas, recibir clasificación de riesgo y obtener orientación sobre la necesidad de atención médica profesional.

Metodología:

Se define como investigación tecnológica aplicada de enfoque mixto, con un diseño no experimental y transversal.

Población: Ciudadanos colombianos con acceso a internet que utilizan medios digitales para realizar consultas de salud.

Muestra: Se utilizará un muestreo no probabilístico por conveniencia, integrada por 10 y 15 usuarios potenciales del sistema, estudiantes del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

Resultados Esperados:

Se espera que el proyecto de como resultado un prototipo funcional (MVP) de VitalBot capaz de procesar lenguaje natural, clasificar riesgos y emitir recomendaciones basadas en reglas clínicas predefinidas, una disminución potencial de malas prácticas (automedicación, consultas en fuentes no confiables) de la muestra, y un informe de pruebas que demuestre que el sistema es seguro y que la trazabilidad de las respuestas es respecto a la base de conocimientos validada.

Figura 2.



Tabla 1.

CLASIFICACIÓN DE RIESGO

Nivel	Criterios	Recomendación
BAJO	Síntomas leves comunes	Autocuidado en casa
MEDIO	Síntomas moderados	Consulta en 24-48h
ALTO	Señales de alarma presente	Acudir a urgencias

Conclusiones:

El proyecto demuestra la viabilidad de utilizar tecnologías libres y procesamiento de lenguaje natural para crear una solución de bajo costo, escalable y con interfaz humanizada que facilita el acceso a orientación en salud, manteniendo la ética de no sustituir la valoración médica profesional sino de promover la atención oportuna.

Bibliografía:

El Universal. (2025, abril 10). Colombia registró 16 millones de quejas en salud en 2024. https://www.eluniversal.com.co/colombia/2025/04/10/colombia-registro-16-millones-de-quejas-en-salud-en-2024/

Infobae. (2025, abril 25). Crisis en el acceso a servicios de salud en Colombia disparó la consulta con curanderos y yerbateros, según datos del Dane. https://www.infobae.com/colombia/2025/04/25/crisis-en-el-acceso-a-servicios-de-salud-en-colombia-disparo-la-automedicacion-y-la-consulta-con-curanderos-y-yerbateros/

LLYC Global. (s.f.). El cáncer representa una de cada seis búsquedas sobre enfermedades en Colombia. https://llyc.global/noticias/el-cancer-representa-una-de-cada-seis-busquedas-sobre-enfermedades-en-colombia/

VITALBOT

GIS Grupo de Investigación en Ingeniería Sostenible

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

CLICK MENTAL: Sistema Web de Gestión de Tutorías Académicas

Juan Sebastián Cuervo Calle – Luisa Fernanda Hernández Urrego

Proyecto Integrador

sebastian_cuervo82222@elpoli.edu.co, luisa_hernandez82222@elpoli.edu.co

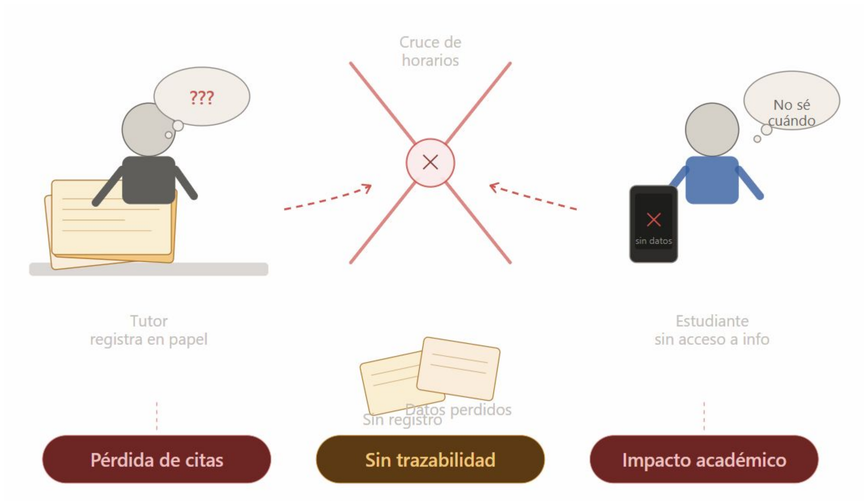
Resumen:

Se desarrolla una plataforma web para digitalizar el Aula Taller de la Sede Urabá. El proyecto surge para eliminar la gestión manual de citas y optimizar el encuentro entre tutores y estudiantes. Utilizando una arquitectura basada en roles (Administrador, Tutor, Tutorado), se logra centralizar la información y generar trazabilidad del apoyo académico institucional.

Planteamiento del problema:

La gestión actual de tutorías es manual o desarticulada, lo que provoca pérdida de citas, cruces de horarios y falta de datos estadísticos sobre el impacto académico. Esto dificulta la supervisión administrativa y el acceso oportuno de los estudiantes al refuerzo pedagógico.

Figura 1. Problema central



Objetivo general:

Desarrollar un sistema web de gestión operativa y administrativa que optimice el proceso de tutorías académicas en el Aula Taller del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Sede Urabá.

Metodología:

El proyecto sigue una metodología ágil Scrum con enfoque aplicado. La población objetivo son los estudiantes y tutores del Aula Taller de la Sede Urabá. Se emplean técnicas de levantamiento de requisitos (entrevistas y análisis documental), diseño UI/UX basado en prototipos (mockups) y desarrollo iterativo con stack ReactJS + NestJS + PostgreSQL, garantizando entregas funcionales por sprints.

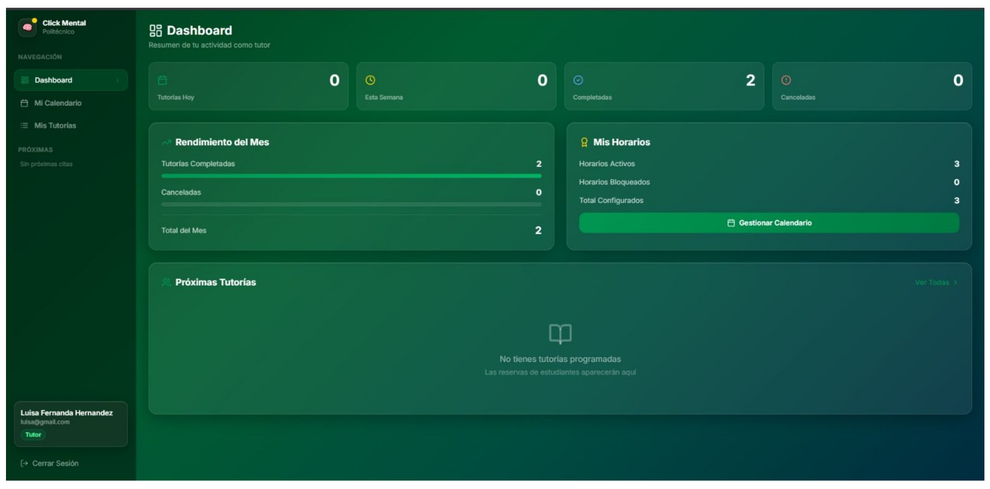
CLICK MENTAL

GIS Grupo de Investigación en Ingeniería Sostenible

Resultados:

Se obtuvo el diseño completo de la arquitectura modular del sistema (Usuarios, Académico, Agendamiento y Repositorio) y la especificación de 20 requisitos funcionales. Se desarrollaron los diagramas de casos de uso, secuencia, clases UML y el modelo entidad-relación en PostgreSQL. Los mockups de las tres vistas de usuario (Administrador, Tutor y Tutorado) fueron validados, evidenciando la viabilidad técnica de la plataforma para digitalizar el Aula Taller.

Figura 2. Dashboard Click Mental - Vista de un tutor



Conclusiones:

CLICK MENTAL demuestra que es factible digitalizar la gestión del Aula Taller mediante una arquitectura web basada en roles. La solución elimina los problemas de gestión manual, centraliza la información y genera trazabilidad del impacto académico, alineándose con los objetivos de permanencia estudiantil del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Sede Urabá.

Bibliografía:

Sommerville, I. (2011). Ingeniería de Software. Pearson Educación.
PostgreSQL Global Development Group. (2024). PostgreSQL 16 Documentation.

SEMINARIO DE INGENIERÍA
INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Análisis comparativo internacional de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo en proyectos de construcción y su aplicabilidad en el contexto colombiano.

Samuel García Garzón; María Camila Ramírez Cañaveral; Tatiana Montoya Osorio
Proyecto Integrador – Ingeniería en Seguridad y Salud en el Trabajo
samuel_garcia01182@elpoli.edu.co; maria_ramirez11171@elpoli.edu.co; tatiana_montoya83132@elpoli.edu.co

Resumen:
Esta investigación analiza comparativamente normatividad extranjera **específica y especializada** en gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en el sector de la construcción, evaluando su posible aplicabilidad en el contexto Colombia, donde predominan **lineamientos normativos de carácter general.**

Planteamiento del problema:
El sector construcción presenta altos índices de accidentalidad, ausentismo y mortalidad laboral debido a la exposición constante a riesgos críticos y a las condiciones cambiantes de las obras.



Figura 1. *Comparación de Colombia frente a contextos internacionales en materia de seguridad y salud en el trabajo en el sector construcción.*

Objetivo general:
Analizar la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo de proyectos de construcción mediante la comparación de la normativa colombiana con contextos internacionales proponiendo su aplicabilidad y pertinencia.

Metodología:
La investigación presenta un enfoque con alcance descriptivo - comparativo, permitiendo identificar fortalezas, oportunidades de mejora y buenas prácticas aplicables al contexto colombiano.



Figura 2. *Esquema del proceso metodológico aplicado en la investigación.*

Resultados:



Figura 3. *Proyección de resultados esperados del estudio.*

Conclusiones:
La investigación permite reconocer buenas prácticas y oportunidades de mejora orientadas al fortalecimiento de la gestión preventiva en SST del sector construcción, la reducción de la accidentalidad laboral y la adaptación de estrategias internacionales al contexto colombiano.

Asimismo, el estudio proyecta bases para futuras propuestas metodológicas y posibles desarrollos normativos especializados para el sector construcción en Colombia.

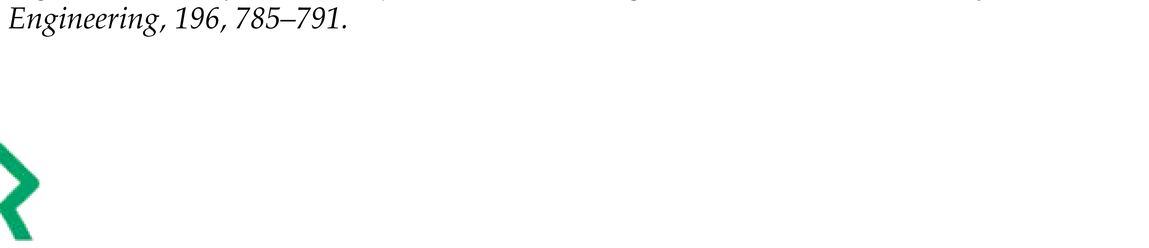


Figura 4. *Impacto esperado de la comparación normativa en la gestión de SST.*

Bibliografía:
- *Congreso de la República de Colombia. (2012). Ley 1562 de 2012.*
- *Ministerio de Trabajo. (2015). Decreto 1072 de 2015.*
- *Ministerio de Trabajo. (2019). Resolución 0312 de 2019.*
- *Ministerio de la Presidencia. (1997). Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.*
- *The National Archives. (2015). The Construction (Design and Management) Regulations 2015.*
- *Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2019). Decreto Supremo N.° 011-2019-TR: Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo para el Sector Construcción.*
- *Martínez-Aires, M. D., López-Alonso, M., De La Hoz-Torres, M. L., Aguilar-Aguilera, A., & Arezes, P. (2024). Occupational risk prevention in the European Union construction sector: 30 years since the publication of the Directive. Safety Science, 177, 106593.*
- *Adeyemo, O., & Smallwood, J. (2017). Impact of Occupational Health and Safety Legislation on Performance Improvement in the Nigerian Construction Industry. Procedia Engineering, 196, 785–791.*

SEMINARIO DE INGENIERÍA
INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Análisis comparativo internacional de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo en proyectos de construcción y su aplicabilidad en el contexto colombiano.

Samuel García Garzón samuel_garcia01182@elpoli.edu.co ; **María Camila Ramírez Cañaveral** maria_ramirez11171@elpoli.edu.co ; **Tatiana Montoya Osorio** tatiana_montoya83132@elpoli.edu.co

Resumen:
Esta investigación analiza comparativamente normatividad extranjera **específica y especializada** en gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en el sector de la construcción, evaluando su posible aplicabilidad en el contexto Colombia, donde predominan **lineamientos normativos de carácter general.**

Planteamiento del problema:
El sector construcción presenta altos índices de accidentalidad, ausentismo y mortalidad laboral debido a la exposición constante a riesgos críticos y a las condiciones cambiantes de las obras.



Figura 1. *Comparación de Colombia frente a contextos internacionales en materia de seguridad y salud en el trabajo en el sector construcción.*

Resultados:



Figura 3. *Proyección de resultados esperados del estudio.*

Objetivo general:
Analizar la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo de proyectos de construcción mediante la comparación de la normativa colombiana con contextos internacionales proponiendo su aplicabilidad y pertinencia.

Metodología:
La investigación presenta un enfoque con alcance descriptivo - comparativo, permitiendo identificar fortalezas, oportunidades de mejora y buenas prácticas aplicables al contexto colombiano.



Figura 2. *Esquema del proceso metodológico aplicado en la investigación.*

Conclusiones:
La investigación permite reconocer buenas prácticas y oportunidades de mejora orientadas al fortalecimiento de la gestión preventiva en SST del sector construcción, la reducción de la accidentalidad laboral y la adaptación de estrategias internacionales al contexto colombiano.

Asimismo, el estudio proyecta bases para futuras propuestas metodológicas y posibles desarrollos normativos especializados para el sector construcción en Colombia.



Figura 4. *Impacto esperado de la comparación normativa en la gestión de SST.*

BIBLIOGRAFÍA:

- *Congreso de la República de Colombia. (2012). Ley 1562 de 2012.*
- *Ministerio de Trabajo. (2015). Decreto 1072 de 2015.*
- *Ministerio de Trabajo. (2019). Resolución 0312 de 2019.*
- *Ministerio de la Presidencia. (1997). Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.*
- *The National Archives. (2015). The Construction (Design and Management) Regulations 2015.*
- *Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2019). Decreto Supremo N.° 011-2019-TR: Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo para el Sector Construcción.*
- *Martínez-Aires, M. D., López-Alonso, M., De La Hoz-Torres, M. L., Aguilar-Aguilera, A., & Arezes, P. (2024). Occupational risk prevention in the European Union construction sector: 30 years since the publication of the Directive. Safety Science, 177, 106593.*
- *Adeyemo, O., & Smallwood, J. (2017). Impact of Occupational Health and Safety Legislation on Performance Improvement in the Nigerian Construction Industry. Procedia Engineering, 196, 785–791.*

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Sistema de Análisis Académico

Daniel Hernández Rico & Jorge Ruiz Marin

Proyecto Integrador

daniel_hernandez82222@elpoli.edu.co - jorge_ruiz82212@elpoli.edu.co

Resumen:

El proyecto desarrolla una aplicación de analítica académica para estudiantes de Ingeniería del Politécnico JIC sede Oriente, que transforma datos del portal institucional en alertas tempranas e indicadores de riesgo académico. Se justifica en que los portales actuales solo muestran calificaciones descriptivas, sin detectar tendencias ni riesgos de deserción (SPADIES, 2023: 23 % deserción acumulada). Se implementa con Python, pandas, scikit-learn y Streamlit bajo metodología Kanban.

Planteamiento del problema:

Los portales académicos muestran calificaciones de forma descriptiva, sin herramientas para detectar tendencias ni anticipar riesgos. El bajo rendimiento solo se evidencia cuando ya hay consecuencias: pérdida de becas, cancelación de semestre o deserción. En Colombia, la deserción acumulada universitaria supera el 23 % (SPADIES, 2023), siendo los primeros semestres de ingeniería los más críticos. ¿Cómo transformar los datos del portal institucional en un sistema de alerta temprana que permita al estudiante identificar riesgos y tomar decisiones informadas a tiempo?

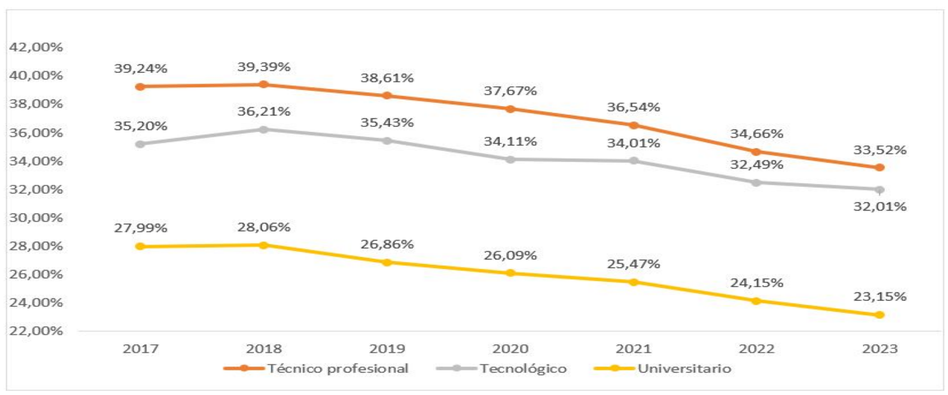


Figura 1. Tasa de deserción promedio.
Fuente: SPADIES (2023).

Objetivo general:

Desarrollar una aplicación de analítica académica para el análisis de factores asociados a la deserción temprana, la orientación del trabajo de grado y perfil profesional en estudiantes del Politécnico JIC sede Oriente.

Metodología:

Investigación aplicada con enfoque cuantitivo y diseño no experimental. La población corresponde a estudiantes de Ingeniería Informática del Politécnico JIC sede Oriente, con una muestra intencional de participantes voluntarios. La recolección de información se realizará mediante una encuesta diagnóstica orientada a identificar necesidades relacionadas con el análisis del rendimiento académico, riesgo de deserción y orientación profesional. El procesamiento de los datos se llevará a cabo utilizando Python, permitiendo analizar tendencias académicas, generar indicadores de riesgo y relacionar fortalezas académicas con posibles perfiles profesionales y áreas de profundización, bajo metodología ágil Kanban en un periodo de 8 semanas.

Resultados:

- Identificación de factores asociados al riesgo académico.
- Diseño de indicadores de desempeño y alertas tempranas.
- Clasificación básica de niveles de riesgo académico.
- Visualización de tendencias y evolución del rendimiento.
- Orientación de áreas de fortalecimiento académico y perfil profesional.
- Desarrollo de un prototipo funcional de analítica académica.

Componente	Tecnología / Librería	Descripción
Lenguaje de programación	Python	Lenguaje principal para el desarrollo del sistema por su facilidad en análisis de datos y rapidez de desarrollo.
Base de datos	SQLite	Base de datos relacional ligera, ideal para el prototipo
Manipulación de datos	pandas	Librería para estructurar, limpiar y analizar datos académicos históricos.
Cálculo numérico	numpy	Librería para operaciones matemáticas y cálculos eficientes sobre los datos.
Visualización	matplotlib seaborn	Librerías para generar gráficas e indicadores visuales del rendimiento académico.
Modelado predictivo	scikit-learn	Librería para implementar modelos predictivos simples orientados a la detección de riesgo académico.

Tabla 1. Tecnologías y librerías propuestas. Fuente: elaboración propia

Conclusiones:

- La analítica académica representa una alternativa viable para transformar datos académicos en información útil para los estudiantes.
- El análisis temprano del rendimiento puede contribuir a detectar riesgos antes de que se materialicen consecuencias académicas graves.
- La integración de indicadores académicos y visualizaciones puede fortalecer la toma de decisiones relacionadas con permanencia, carga académica y perfil profesional.
- Se presenta viabilidad técnica mediante el uso de herramientas libres y metodologías ágiles.

Bibliografía:

Ministerio de Educación Nacional. (2023). Estadísticas de deserción y permanencia en educación superior SPADIES 3.0 - Indicadores 2023. Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/sistemasinfo/spadies/secciones/Estadisticas-de-desercion

SEMINARIO DE INGENIERÍA
INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

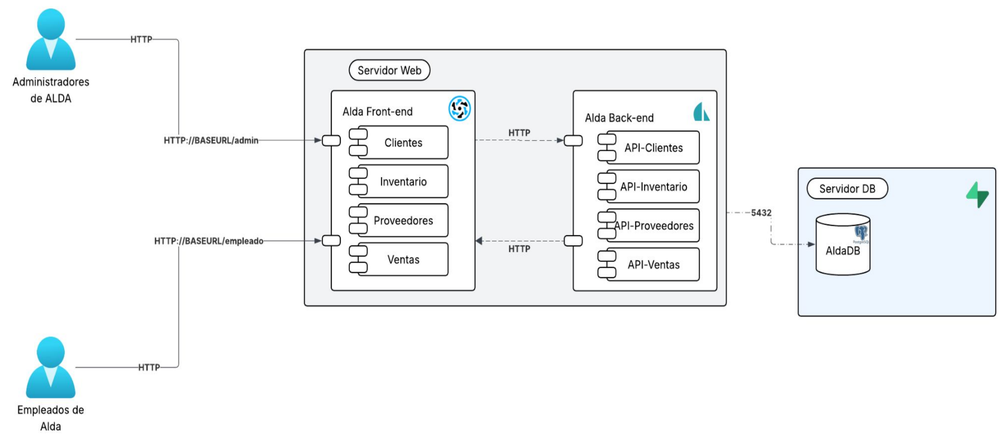
Facultad de Ingeniería
POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid
Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Desarrollo de una aplicación web CRM, para ALDA Tapicería

Andrés Aguirre Restrepo
Jose Miguel Botero Salazar
Proyecto integrador
andres_aguirre82212@elpoli.edu.co
Jose_botero82212@elpoli.edu.co

Resumen:
Desarrollo de una aplicación web CRM para Alda Tapicería (El Retiro, Antioquia) que centraliza en una sola plataforma los módulos de clientes, inventario, ventas, empleados, compras, cotizaciones, ingresos/egresos y dashboard. Reemplaza registros manuales en cuadernos por un sistema digital accesible desde cualquier navegador, construido con Quasar (Vue.js), Sails.js (Node.js) y PostgreSQL en Supabase, bajo metodología Scrum.

Planteamiento del problema:
Alda Tapicería gestiona manualmente en cuadernos su información de clientes, inventario, ventas y finanzas, lo que genera desorganización, pérdida de datos y dificultades en la toma de decisiones. Esta situación es frecuente en los micronegocios colombianos, donde pese al crecimiento del 2,7 % en su número y 6,4 % en ingresos (DANE, 2025), muchos aún no adoptan herramientas digitales de gestión..



Objetivo general:
Desarrollar una aplicación web CRM para Alda Tapicería con módulos de: Clientes, Proveedores, Dashboard, Inventario, Empleados, Ingresos y Egresos, Ventas, Compras y Cotizaciones.

Metodología:
Investigación aplicada con enfoque de desarrollo tecnológico e investigación–acción. Se emplea metodología Scrum con sprints por módulo y validación continua con el usuario. La recolección de datos se realiza mediante entrevistas semiestructuradas y observación directa. Stack tecnológico: Quasar/Vue.js (frontend), Sails.js/Node.js (backend), PostgreSQL/Supabase (base de datos).

Resultados:
- Módulos implementados: Clientes, Inventario, Ventas, Empleados, Turnos, Ingresos y Egresos.
- Autenticación JWT con control de roles (Administrador / Empleado).
- API REST documentada con 20+ endpoints.
- Sistema desplegado con base de datos en la nube (Supabase).

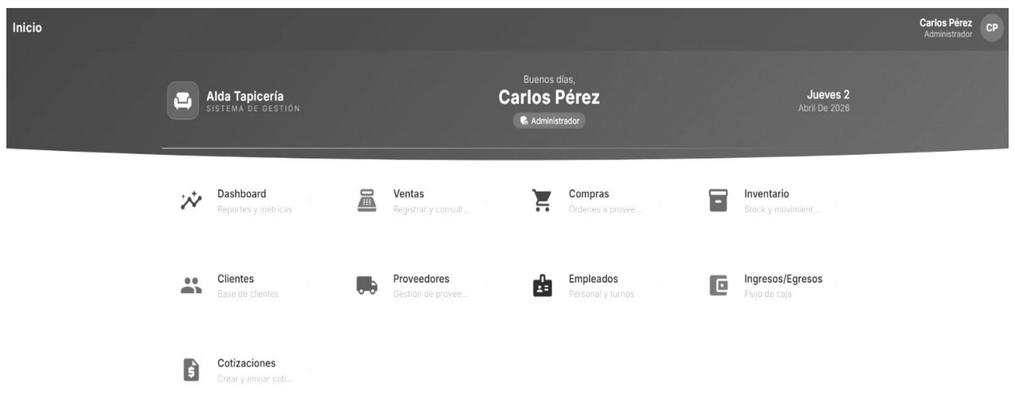


Tabla 1. Tecnologías utilizadas

Capa	Tecnología	Función
Frontend	Quasar / Vue.js	Interfaz de usuario responsiva (SPA)
	Axios + Pinia	Consumo de API y gestión de estado global
Backend	Sails.js / Node.js	API REST con arquitectura MVC
	JWT + bcrypt.js	Autenticación y seguridad de contraseñas
Base de datos	PostgreSQL / Supabase	Almacenamiento relacional en la nube

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones:
El sistema CRM desarrollado centraliza y digitaliza los procesos de Alda Tapicería, eliminando el registro manual y mejorando el control operativo y financiero del negocio. La arquitectura Quasar + Sails.js + Supabase demostró ser una solución eficiente, segura y escalable, aplicable a otros micronegocios del sector servicios en Colombia.

Bibliografía:

DANE. (2025). Encuesta de Micronegocios – III trimestre 2025.Naciones Unidas. (2015). ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico. CEPAL. (2020). Transformación digital en América Latina y el Caribe.

SEMINARIO DE INGENIERÍA
INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Plataforma de monitoreo climático

John Kider Alzate García Cristian Camilo Grajales Serna

Proyecto Integrador

John_alzate82222@elpoli.edu.co cristian_grajales82222@elpoli.edu.co

Resumen:

El proyecto propone desarrollar un ecosistema IoT de arquitectura híbrida (PostgreSQL/MongoDB) para optimizar la toma de decisiones agrícolas. Ante la volatilidad climática regional, el sistema emplea nodos autónomos ESP32 bajo protocolo MQTT para la captura de datos edafoclimáticos en tiempo real. Mediante un motor de reglas inteligente y la integración de la API Open-Meteo, el sistema emite alertas tempranas preventivas, fortaleciendo la competitividad y la resiliencia de los productores locales.

Planteamiento del problema:

El Oriente Antioqueño enfrenta una pérdida crítica de productividad (hasta el 30% en papa y flores) debido a la desconexión entre los reportes generales del IDEAM y los microclimas específicos de cada parcela. La ausencia de telemetría local impide una respuesta efectiva ante heladas o estrés hídrico, comprometiendo la estabilidad económica rural. Ante este escenario, surge el siguiente interrogante: ¿Cómo una plataforma tecnológica basada en IoT y persistencia políglota permite optimizar la toma de decisiones y mitigar la vulnerabilidad climática de los productores en la región?

Figura 1.



Figura 1. Ingeniería de Hardware: Nodo ESP32 con integración de sensores y alimentación fotovoltaica.

Objetivo general:

Implementar una plataforma de monitoreo climático basada en IoT que proporcione información en tiempo real optimizando la toma de decisiones agrícolas y reduciendo la vulnerabilidad de los agricultores frente a los efectos del cambio climático

Metodología:

Se implementa una investigación de enfoque mixto con diseño experimental de tipo tecnológico (I+D) e investigación-acción en tres fincas piloto de Rionegro, La Unión y Marinilla. La captura de datos se realiza mediante nodos hardware que ejecutan telemetría continua cada 15 minutos con almacenamiento en MongoDB, mientras que la aceptación tecnológica se valida mediante el instrumento estandarizado SUS (System Usability Scale). El procesamiento integra analítica descriptiva de series de tiempo para la predicción de heladas y análisis cualitativo para estudiar la apropiación digital por parte de los agricultores.

Resultados esperados:

- **Infraestructura de Hardware Robusta:** Tres nodos autónomos basados en ESP32 operativos con alimentación solar, calibración ad-hoc y latencia de transmisión MQTT menor a 500ms.
- **Arquitectura de Datos Híbrida:** Backend en Java 21 (Spring Boot) funcional que integra PostgreSQL para lógica de negocio y MongoDB para el almacenamiento masivo de series temporales.
- **Resiliencia Predictiva:** Motor de reglas en tiempo real acoplado a Open-Meteo capaz de disparar alertas automatizadas precisas ante heladas y estrés hídrico.
- **Impacto y Apropiación Social:** Mitigación estimada del 15% en pérdidas de cosecha mediante la validación y apropiación de la herramienta por los productores locales.

Figura 2.

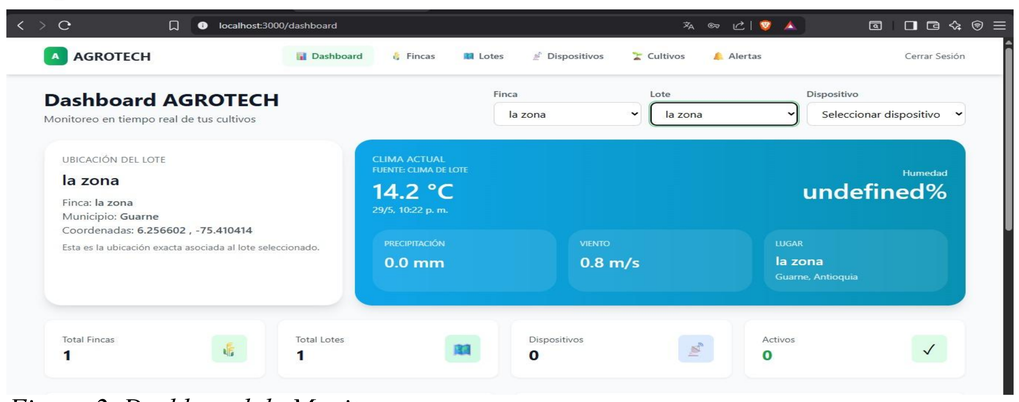


Figura 2. Dashboard de Monitoreo

Tabla 1.

Variable a Medir	Sensor Propuesto	Precisión Técnica	Rango de Operación
Temperatura y Humedad Aire	Bosch BME280	±0.5 °C / ±3% HR	-40 a 85 °C / 0 a 100% HR
Humedad del Suelo	Capacitivo v1.2	Alta (Calibración ad-hoc)	0 a 100% (Saturación)
Radiación Solar	BH1750	±10% (Lux)	0 a 65535 lx
Velocidad del Viento	Anemómetro analógico	±5%	0 a 30 m/s
Pluviosidad (Lluvia)	Pluviómetro de balancín	±0.2 mm	0 a 500 mm/h

Especificaciones técnicas de los instrumentos de recolección de datos ambientales.

Conclusión:

La integración de arquitecturas políglotas con tecnologías IoT de bajo costo democratiza la agricultura de precisión en Antioquia. El sistema no solo mitiga el riesgo de pérdidas económicas por el clima, sino que transforma el empirismo en toma de decisiones basada en datos empíricos, impulsando la sostenibilidad del sector rural.

Bibliografía:

Agurotech. (2024). Smart Farming for soil health.

DANE. (2023). Cuentas departamentales: PIB Agropecuario.

Gemini. (2026). Generación automatizada de material visual.

IDEAM. (2022). Boletín Agroclimático Nacional.

MongoDB, Inc. (2024). Time Series Data in IoT Systems.

SEMINARIO DE INGENIERÍA
INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería
POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid
Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Software web para detección de tumores cerebrales en imágenes de resonancia magnética con ResNet y Grad-CAM

Alejandro Amador Ruiz · Juan José Jaramillo Vera
Curso: Proyecto Integrador Ingeniería Informática, PCJIC Sede Oriente
Docente: Ing. Msc. Jonathan Osorio-Vasco.
alejandro_amador82222@elpoli.edu.co · juan_jaramillo82222@elpoli.edu.co

Resumen:
Este proyecto desarrolla una aplicación web de apoyo al diagnóstico que integra modelos ResNet18 y ResNet50 con Transfer Learning para clasificar tumores cerebrales en imágenes de RM. Construido sobre trabajo previo (Rincón Alzate y Castro Castaño, 2025-2), el equipo entrena sus propios modelos, añade interfaz web intuitiva con Grad-CAM, integra un diagnóstico tentativo de Gemini y despliega el sistema en AWS. Se busca precisión ≥85% para apoyar el diagnóstico en contextos colombianos con acceso limitado a radiología especializada.

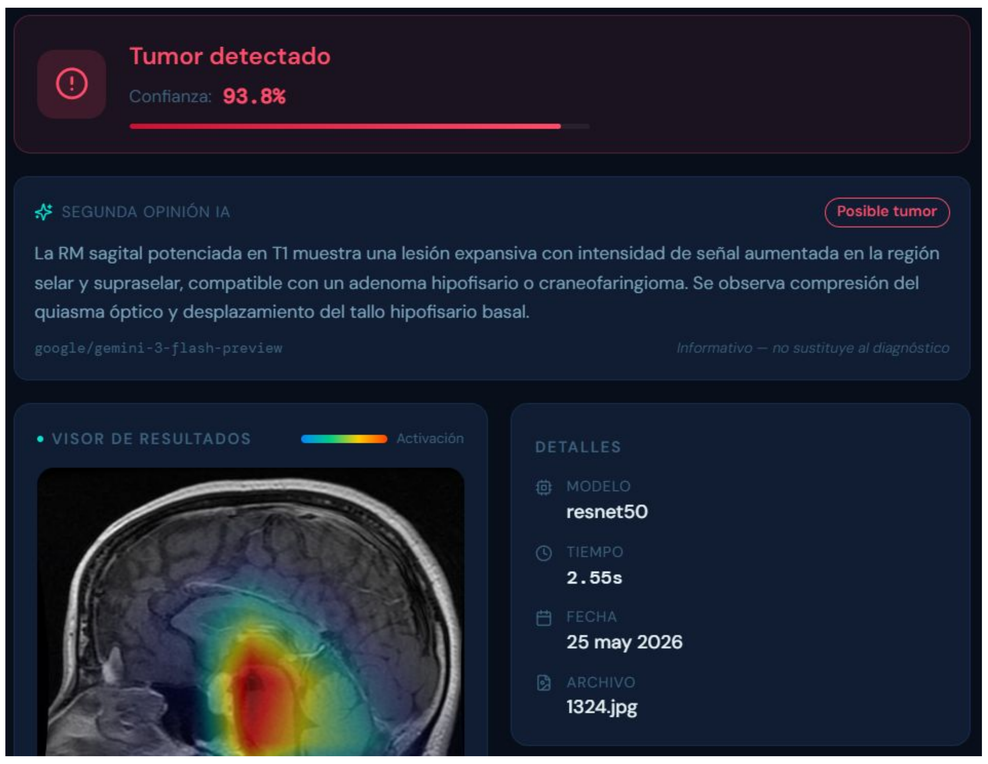
Planteamiento del problema:
El diagnóstico de tumores cerebrales en RM depende de radiólogos con tiempos de 15-30 min/estudio y errores del 10-15% por fatiga inter-observador. En Colombia, el 70% de los radiólogos se concentran en cuatro ciudades y una RM cuesta $800.000-$1.500.000 COP, limitando el acceso rural. Los tumores cerebrales representan el 2-2,6% de muertes por cáncer (supervivencia ≤30% a 5 años). El trabajo previo demostró la viabilidad de ResNet para clasificación binaria, pero sin interfaz web ni interpretabilidad visual. Este proyecto extiende esa solución entrenando modelos propios ResNet18/50 con Grad-CAM y Gemini.

Objetivo general:
Desarrollar una aplicación web de apoyo al diagnóstico que integre modelos ResNet18 y ResNet50 entrenados por el equipo para la clasificación automática de tumores cerebrales en imágenes de resonancia magnética, incorporando visualización de regiones de interés mediante Grad-CAM, garantizando una precisión mínima del 85% y una segunda opinión de un modelo de IA generativa.

Metodología:
Se adopta Scrum como metodología ágil en sprints de duración fija. El dataset de +13000 imágenes RM (Kaggle y Mendeley) se descarga, limpia y aumenta con rotaciones, volteos y recortes. Los modelos ResNet18 y ResNet50 se entrenan con Transfer Learning en dos fases: Feature Extractor (capas congeladas) y Fine-Tuning (tasa de aprendizaje baja). La evaluación compara precisión, Recall, F1, ROC y matriz de confusión. La infraestructura general del proyecto corre en AWS (Backend, Frontend y DB). Grad-CAM se implementa sobre la última capa convolucional para generar mapas de calor superpuestos y Gemini es integrado para dar una segunda opinión.

Resultados:
1. Modelo ResNet50 entrenado con precisión ~96% en clasificación binaria de tumores cerebrales.
2. Aplicación web funcional con carga de imágenes JPG, clasificación automática y superposición de mapas Grad-CAM.
3. Historial de análisis con autenticación de usuarios.
4. Integración de Gemini como modelo de apoyo.

Figura 1. Examen positivo para tumor



Conclusiones:
El proyecto transforma un prototipo de consola en una solución clínica completa: entrena modelos ResNet propios con Transfer Learning y añade interpretabilidad con Grad-CAM y Gemini. Esto democratiza el apoyo diagnóstico en regiones colombianas con acceso limitado a radiólogos, reduce el error humano y fortalece la confianza del clínico al visualizar las zonas de atención del modelo. La solución sienta bases para validaciones futuras con población colombiana e integración con sistemas clínicos reales.

Bibliografía:
Güler & Namlı (2024). Applied Sciences, 14(2), 642. · Haque et al. (2024). Scientific Reports, 15(1). · Mahesh et al. (2024). BMC Medical Imaging, 24(1), 120. · Chinga et al. (2025). Engineering Proceedings, 83(1), 22. · Zeng et al. (2024). Journal of Cancer, 15(13), 4275. · Galante (2024). The Borgen Project. · Camacho (2024). (Mendeley 2025)

Ver más:

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería
POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid
Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Diario Emocional con IA para estudiantes universitarios: NeuraApp

Juliana Castañeda Ramírez
Curso: Proyecto Integrador Ingeniería Informática, PCJIC Sede Oriente.
Docente: Ing. Msc. Jonatan Osorio-Vasco
juliana_castaneda82222@elpoli.edu.co

Resumen:
NeuraApp es una aplicación móvil de diario emocional con inteligencia artificial para estudiantes del Politécnico Colombiano. Se mejora una versión inicial con vulnerabilidades críticas de seguridad y análisis emocional básico, implementando autenticación JWT, análisis con IA mediante la API de Claude, base de datos en la nube y rediseño de interfaz. El proyecto responde a la alta prevalencia de problemas de salud mental universitaria y la falta de herramientas accesibles y confiables para su autogestión.

Planteamiento del problema:



Figura 1.
Fuente: UNESCO (2024).

La versión inicial de NeuraApp presentaba vulnerabilidades críticas:



Objetivo general:
Fortalecer NeuraApp mediante mejoras en seguridad, análisis emocional con inteligencia artificial y experiencia de usuario, consolidándola como herramienta confiable para el apoyo al bienestar emocional estudiantil del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

Metodología:

Fase	Descripción del Proceso	Entregable
1. Diagnóstico	Auditoría técnica de seguridad y revisión de UX/UI inicial.	Informe de Riesgos
2. Implementación	Migración a Backend FastAPI, JWT e integración de Claude API.	Sistema Funcional
3. Validación	Pruebas con grupo piloto de estudiantes voluntarios.	Métricas Likert

Resultados:
Se implementó autenticación JWT real con validación de contraseña segura, reemplazando el token simulado. Las credenciales migraron a variables de entorno. El análisis emocional se migró a Claude API con system prompt especializado en bienestar universitario. El backend fue desplegado en Render con PostgreSQL en la nube. La interfaz fue rediseñada completamente con pantallas de login, registro, historial, estadísticas y chat con IA.

Escanea para descargar la aplicación.

NEURA APP

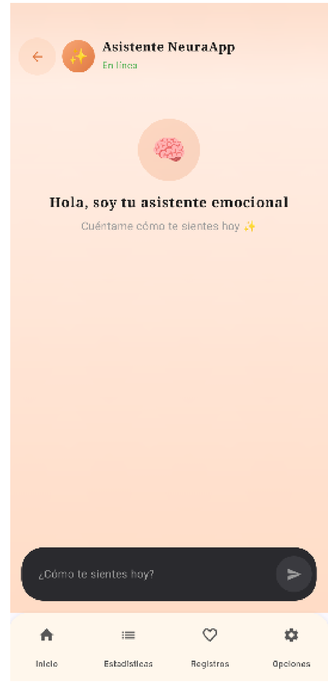


Figura 2.
Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones:
La aplicación de buenas prácticas de seguridad y la integración de IA especializada transforma un prototipo vulnerable en una solución confiable que cumple con las Leyes 1581/2012 y 1616/2013. La migración a Claude API mejora la pertinencia clínica del análisis emocional. El rediseño de interfaz reduce barreras de acceso al automonitoreo emocional. La validación con grupo piloto, prevista en la siguiente fase, cuantificará el impacto real sobre la percepción de utilidad y confianza de los usuarios.

Bibliografía:
Garay, S., y Celleri, M. (2023). Aplicaciones móviles en salud mental. Revista de Salud Digital, 4(1), 1–12.
Organización Mundial de la Salud. (2022). Salud mental: fortalecer nuestra respuesta. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-strengthening-our-response
República de Colombia. (2012). Ley 1581 de 2012. Diario Oficial 48587.
República de Colombia. (2013). Ley 1616 de 2013. Diario Oficial 48680.
Rubanovich, C. K., et al. (2017). Health app use among individuals with symptoms of depression. JMIR Mental Health, 4(2). https://doi.org/10.2196/mental.7603
UNESCO IESALC. (2024). Salud mental en la educación superior. https://www.iesalc.unesco.org/2024/salud-mental-educacion-superior

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

FeriaCRM: Sistema Inteligente de Gestión Comercial con IA para Metales y Soldadura Feria

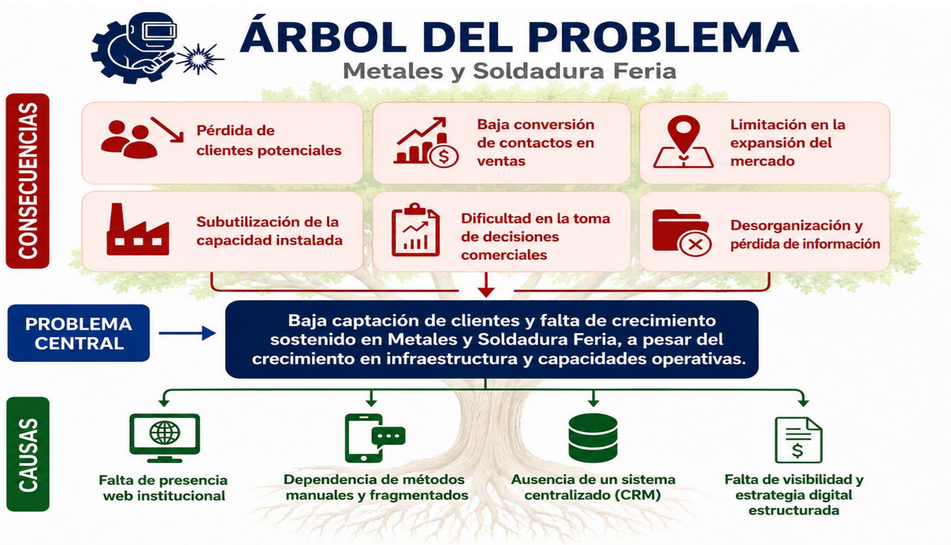
Andres David López Quintero & Valeria Feria Gómez

Curso: Proyecto Integrador Ingeniería Informática, PCJIC Sede Oriente.
Docente: Ing. Msc Jonathan Osorio-Vasco.
andres_lopez82221@elpoli.edu.co – valeria_feria82221@elpoli.edu.co

Resumen:
FeriaCRM es una plataforma web tipo CRM desarrollada para optimizar la gestión de clientes, servicios y cotizaciones en la empresa Metales y Soldadura Feria. El sistema busca solucionar problemas relacionados con la pérdida de información, el manejo manual de solicitudes y la falta de seguimiento comercial. Como componente innovador, integra un módulo de inteligencia artificial capaz de analizar solicitudes públicas, resumir requerimientos, clasificar automáticamente el área de trabajo requerida y sugerir servicios aplicables del catálogo empresarial.
La solución fue desarrollada utilizando HTML, CSS, PHP y MySQL bajo metodología ágil Kanban.

Planteamiento del problema:
En la siguiente imagen se presenta el árbol del problema del proyecto, una herramienta que permite identificar y visualizar las principales causas y consecuencias asociadas a la baja captación de clientes y al limitado crecimiento comercial de Metales y Soldadura Feria.

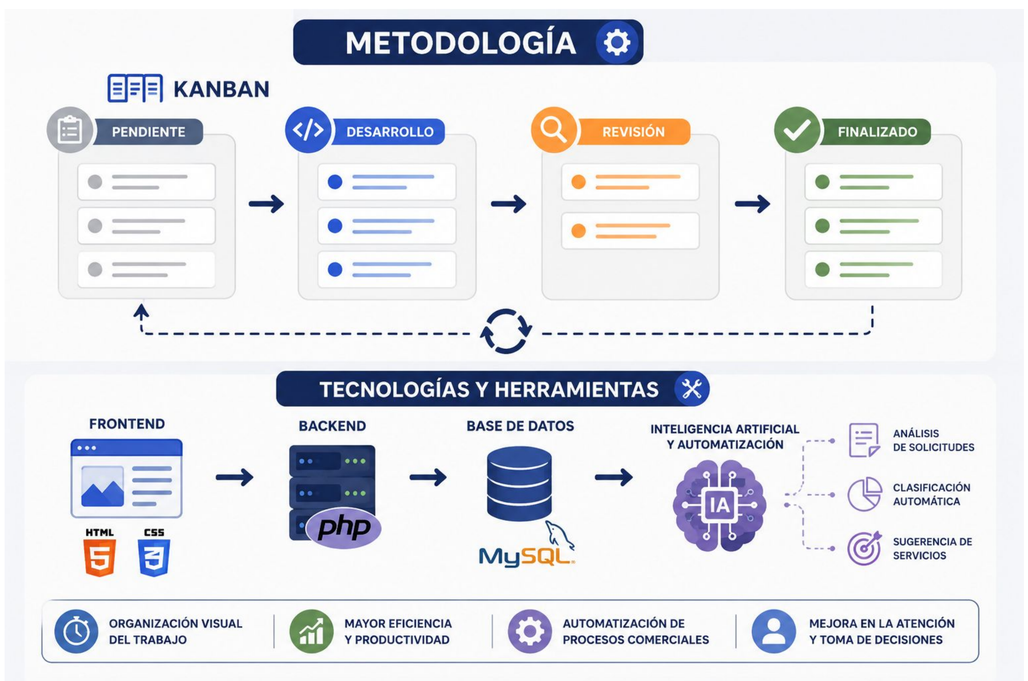
Figura 1. Árbol del problema



Objetivo general:
Desarrollar el sistema web tipo CRM FeriaCRM para la empresa Metales y Soldadura Feria, fortaleciendo la visibilidad digital y la gestión de clientes mediante la implementación de herramientas tecnológicas e IA.

Metodología:
Infografía de la metodología Kanban y las tecnologías empleadas en el proyecto FeriaCRM.

Figura 2. Infografía metodología



Resultados:
Se desarrolló una plataforma web tipo CRM con un módulo de inteligencia artificial para analizar solicitudes públicas, resumir requerimientos, clasificar áreas de trabajo y sugerir servicios aplicables. La Figura 3 presenta un ejemplo de este proceso, donde la IA identifica automáticamente el área correspondiente y genera información de apoyo para agilizar la atención comercial y la elaboración de cotizaciones.

Figura 3. Captura modulo de IA



Conclusiones:
- ✓ Centralización de clientes, servicios y cotizaciones.
- ✓ Automatización del análisis de solicitudes mediante IA.
- ✓ Reducción de tiempos de respuesta comercial.
- ✓ Mejora en el seguimiento de oportunidades de negocio.
- ✓ Fortalecimiento de la transformación digital de la empresa.
- ✓ Base tecnológica para futuras mejoras y automatizaciones.

Bibliografía:

Anderson, D. J. (2010). Kanban: Successful evolutionary change for your technology business. Blue Hole Press.
Buttle, F., & Maklan, S. (2019). Customer relationship management: Concepts and technologies (4th ed.). Routledge.
Elmasri, R., & Navathe, S. B. (2017). Fundamentals of database systems (7th ed.). Pearson.
Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). Software engineering: A practitioner's approach (9th ed.). McGraw-Hill Education.
Google Gemini Documentation
MySQL Documentation

SEMINARIO DE INGENIERÍA
INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Desarrollo de una aplicación web CRM, para ALDA Tapicería

Andrés Aguirre Restrepo
Jose Miguel Botero Salazar

Curso: Proyecto Integrador, Ingeniería Informática, PCJIC sede Oriente
Docente: Ing. Msc. Jonathan Osorio-Vasco.
andres_aguirre82212@elpoli.edu.co; Jose_botero82212@elpoli.edu.co

Resumen:
Desarrollo de una aplicación web CRM para Alda Tapicería (El Retiro, Antioquia) que centraliza en una sola plataforma los módulos de clientes, inventario, ventas, empleados, compras, cotizaciones, ingresos/egresos y dashboard. Reemplaza registros manuales en cuadernos por un sistema digital accesible desde cualquier navegador, construido con Quasar (Vue.js), Sails.js (Node.js) y PostgreSQL en Supabase, bajo metodología Scrum.

Planteamiento del problema:
Alda Tapicería gestiona manualmente en cuadernos su información de clientes, inventario, ventas y finanzas, lo que genera desorganización, pérdida de datos y dificultades en la toma de decisiones. Esta situación es frecuente en los micronegocios colombianos, donde pese al crecimiento del 2,7 % en su número y 6,4 % en ingresos (DANE, 2025), muchos aún no adoptan herramientas digitales de gestión..

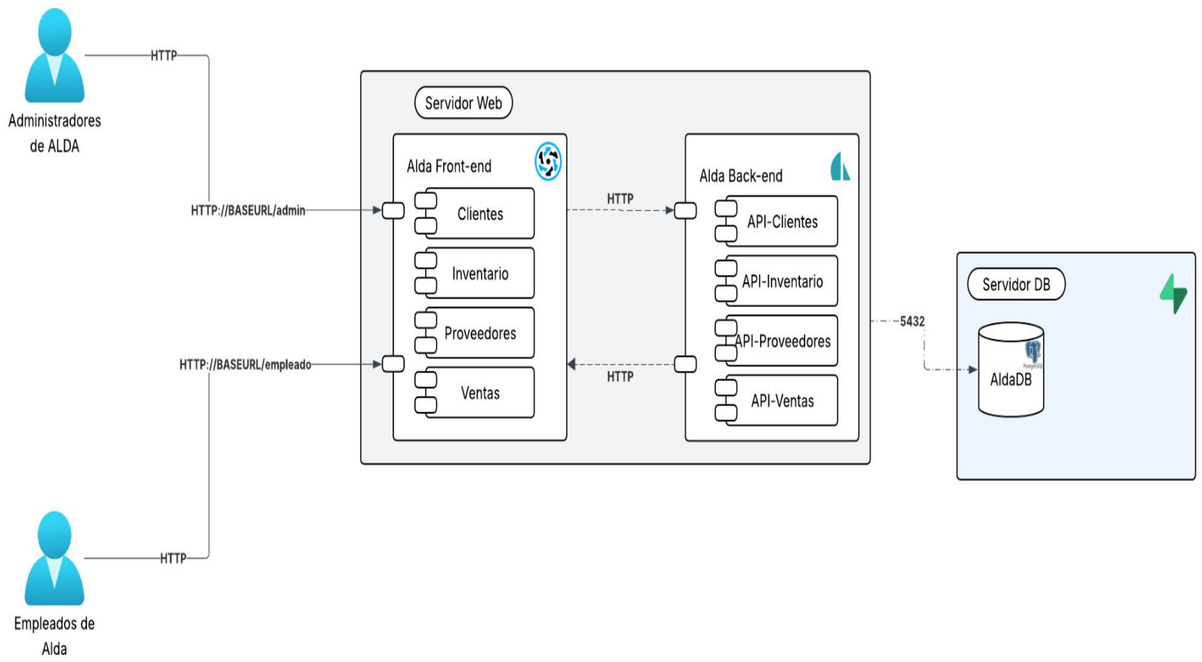


Diagrama de Arquitectura



Conclusiones:
El sistema CRM desarrollado centraliza y digitaliza los procesos de Alda Tapicería, eliminando el registro manual y mejorando el control operativo y financiero del negocio. La arquitectura Quasar + Sails.js + Supabase demostró ser una solución eficiente, segura y escalable, aplicable a otros micronegocios del sector servicios en Colombia.

Bibliografía:

DANE. (2025). Encuesta de Micronegocios – III trimestre 2025.Naciones Unidas. (2015). ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico. CEPAL. (2020). Transformación digital en América Latina y el Caribe.

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Evaluación Ergonómica de Cargue, Arrastre y Descargue de Bultos de Papa

Lina Marcela Echavarría Serna y Luisa Fernanda Álvarez Rodríguez

Lina_echavarria77232@elpoli.edu.co luisa_alvarez77232@elpoli.edu.co

Profesor: Msc. Jonathan Osorio Vascos

Curso: Fundamentos de Ergonomía – Proyecto de aula – Sede Oriente

Resumen:

El presente estudio evaluó el riesgo ergonómico asociado al cargue, arrastre y descargue manual de bultos de papa en una empresa de lavado de papa, mediante la aplicación del Método Manual Handling Assessment Charts - MAC.

Se identificó que los trabajadores manipulan bultos de 50 kg con una frecuencia de 150 bultos por hora durante jornadas efectivas de 14,67 horas, movilizando aproximadamente 110 toneladas diarias. Los resultados clasificaron la actividad en un nivel de riesgo crítico, evidenciando la necesidad de implementar medidas correctivas inmediatas para prevenir trastornos musculoesqueléticos.





Referencias:

Health and Safety Executive. (2019). MAC tool: Manual handling assessment charts.

Organización Internacional del Trabajo. (2021). Seguridad y salud en el trabajo.

Ministerio del Trabajo. (2015). Decreto 1072 de 2015.

Martínez Warles, M. (2018). Aplicación de metodología MAC en trabajadores feriantes. Universidad Técnica Federico Santa María.

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Análisis ergonómico cognitivo de la línea de producción de lavado de productos agrícolas

Angela Sofia Vargas Arcila - María Ximena Osorno Arenas

Ana María Gómez Soto - José Manuel Correa Gómez

Angela_vargas82261@elpoli.edu.co – Maria_osorno82221@elpoli.edu.co – Ana_gomez82222@elpoli.edu.co – Jose_correa82222@elpoli.edu.co

Profesor: Ing. Msc. Jonathan Osorio Vasco

Fundamentos de la ergonomía – Proyecto de aula – Ingeniería Informática sede Oriente

Resumen:

Se realiza un análisis ergonómico cognitivo en la empresa Lavadora las Brisas con el fin de identificar el mejor punto para la ubicación de pantallas informativas, que ayuden a los trabajadores a reconocer los momentos en los que habrá cambio de producto, lo que impacta el tipo de empaque. Se espera que las pantallas reduzcan los tiempos de espera, agilice el proceso y evite la dependencia de un tercero en el flujo de información.

Planteamiento del problema:

Actualmente en la empresa se realiza el lavado de papa y zanahoria de diferentes tipos, cada producto se empaca en un costal de diferente color.

El cambio de producto a empacar se anuncia de forma manual, a través de una persona que se dirige a cada módulo e informa el producto a lavar y el color de costal a utilizar.

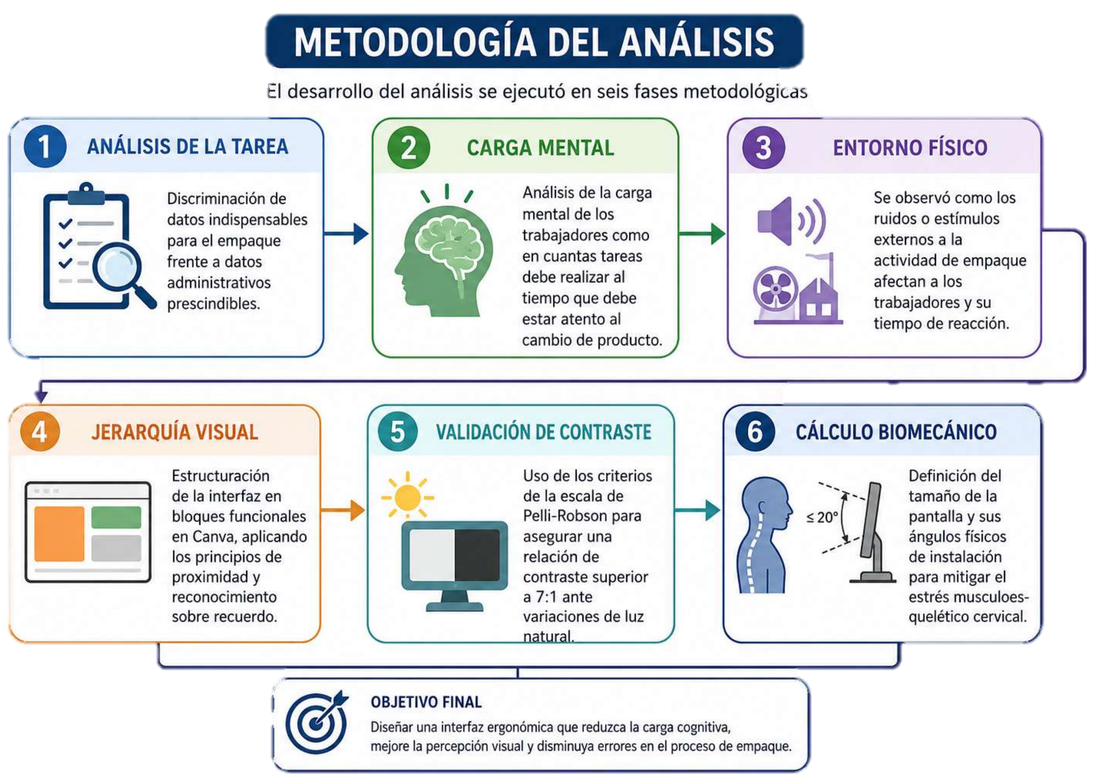
QR para video de línea de producción

Objetivo general:

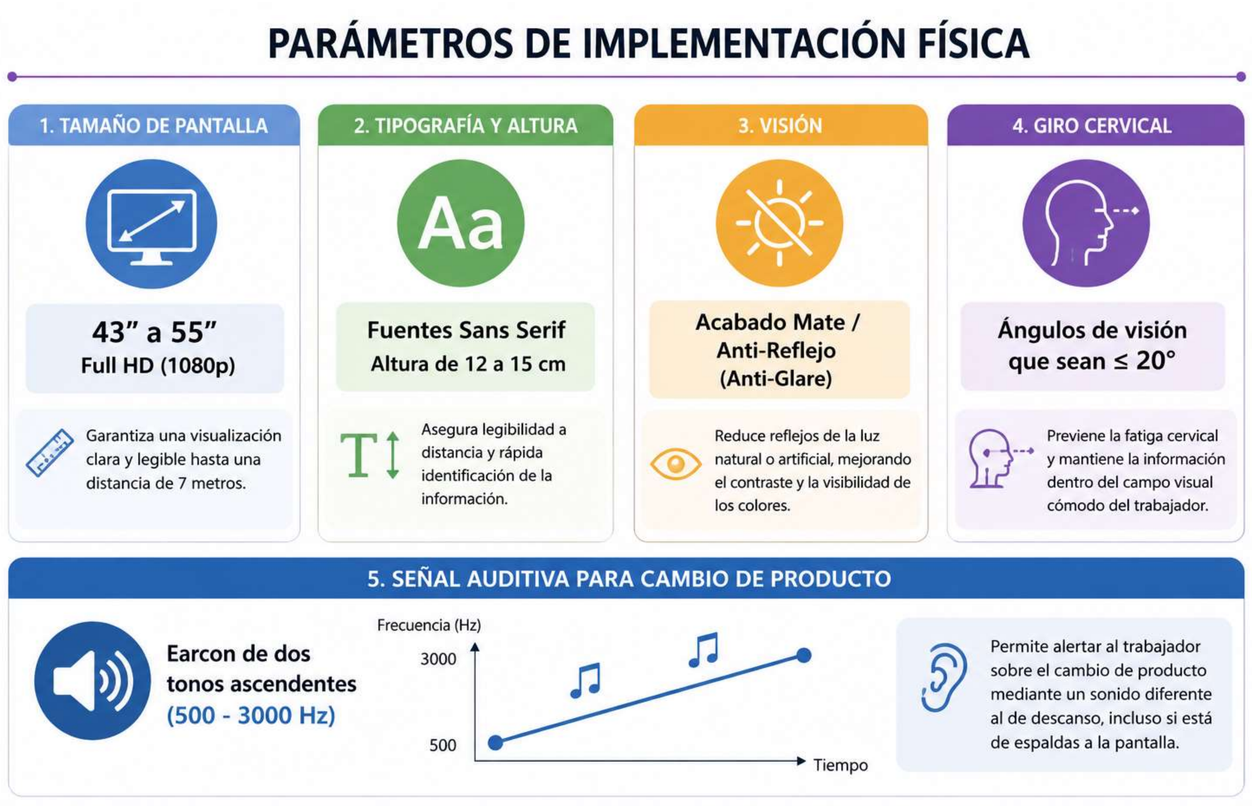
Identificar la ubicación adecuada de dos pantallas informativas con base en la ergonomía cognitiva, para el cambio de producto y costal en la línea de producción de lavado de productos agrícolas.

Metodología:

Se entrevisto al encargado de la línea de producción y se realizo la observación directa.



Resultados:



Rediseño de interfaz para trabajadores



- **Icono zanahoria y papa:** Se eligen para mayor comprensión del producto.
- **Colores vibrantes:** Naranja para zanahoria, morado para papa y color de costal (ej. verde o rosa) para que no sea necesario leer.
- **Colores opacos:** Los recuadros en gris se dan a modo de información.

Conclusiones:

El rediseño de la interfaz permitirá reducir la carga cognitiva y mejorar la identificación rápida de la información importante. Además, las recomendaciones sobre ubicación de pantallas y apoyo auditivo contribuyen a aumentar la seguridad, comodidad y eficiencia de los trabajadores.

Bibliografía:

Brewster, S. A., Wright, P. C., & Edwards, A. D. N. (1993, 1 mayo). An evaluation of earcons for use in auditory human-computer interfaces. *ACM DL DIGITAL LIBRARY*, 222-227. https://dl.acm.org/doi/epdf/10.1145/169059.169179

NVISION Eye Centers. (2022, 12 diciembre). *Pelli-Robson Test and Contrast Sensitivity*. NVISION. https://www.nvisioncenters.com/education/contrast-sensitivity-testing/pelli-robson-test/

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Evaluación ergonómica en la tarea de selección de productos agrícolas mediante el método REBA

Laura Tobón – Laura Montoya

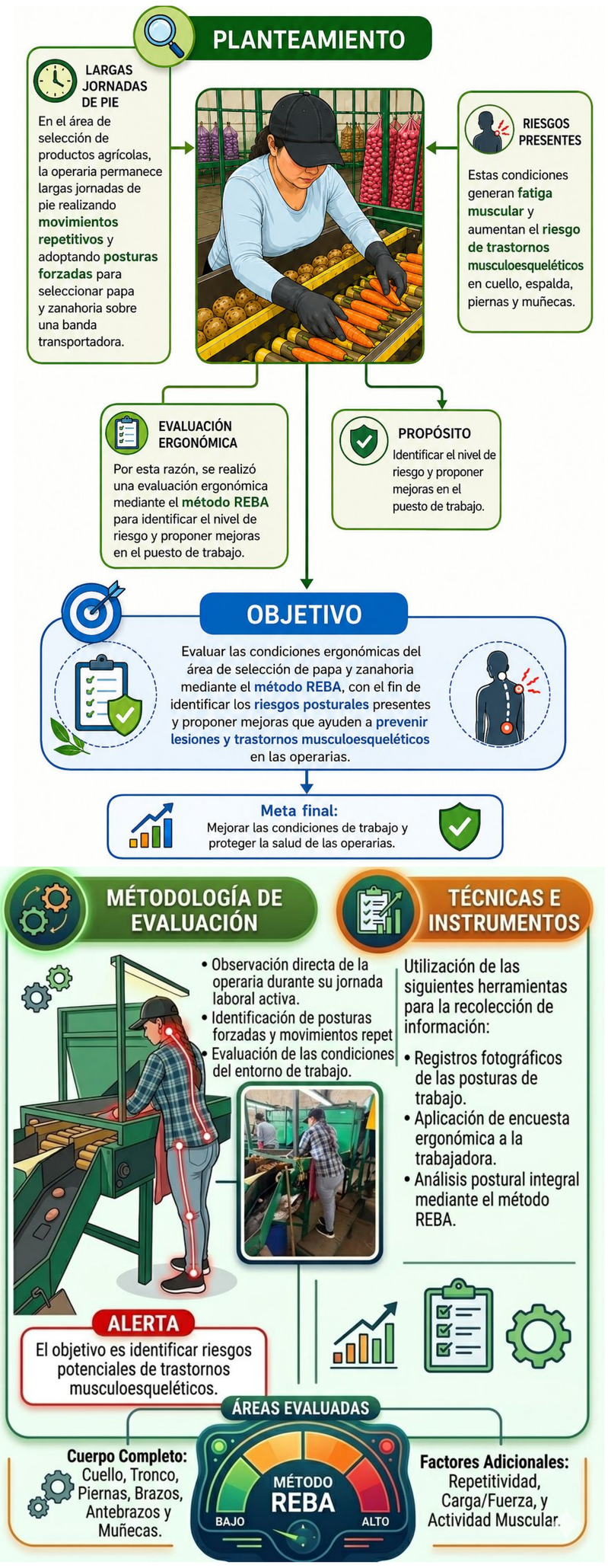
Laura_tobon77232@elpoli.edu.co *Laura_montoya77232@elpoli.edu.co*

Profesor: Ing. Msc. Jonathan Osorio-Vasco

Curso: Fundamentos de Ergonomía – Proyecto de aula – Sede Oriente - TGSST

Resumen:

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad evaluar las condiciones ergonómicas del puesto de trabajo en el proceso de lavado y selección de productos agrícolas (papa y zanahoria) mediante la aplicación del método REBA. La evaluación se realizó a partir de observación directa, registro fotográfico y análisis postural del trabajador durante el desarrollo de sus actividades laborales. Como resultado se obtuvo un puntaje REBA de 8, correspondiente a un nivel de riesgo alto, indicando la necesidad de realizar intervención ergonómica inmediata.



Resultados:



Conclusiones:

La evaluación ergonómica realizada mediante el método REBA evidenció un nivel de riesgo muy alto debido a posturas forzadas, movimientos repetitivos y permanencia prolongada de pie. Las principales zonas afectadas fueron cuello, espalda, piernas y muñecas. Por ello, se propusieron mejoras ergonómicas orientadas a disminuir la carga postural, prevenir trastornos musculoesqueléticos y mejorar el bienestar de la operaria.

Bibliografía:

- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics, 31*(2), 201–205.
- McAtamney, L., & Hignett, S. (2000). *REBA original*.
- Medicina Laboral de Venezuela. Universitat Politècnica de València. (s.f.). *Método REBA*. Ergonautas.

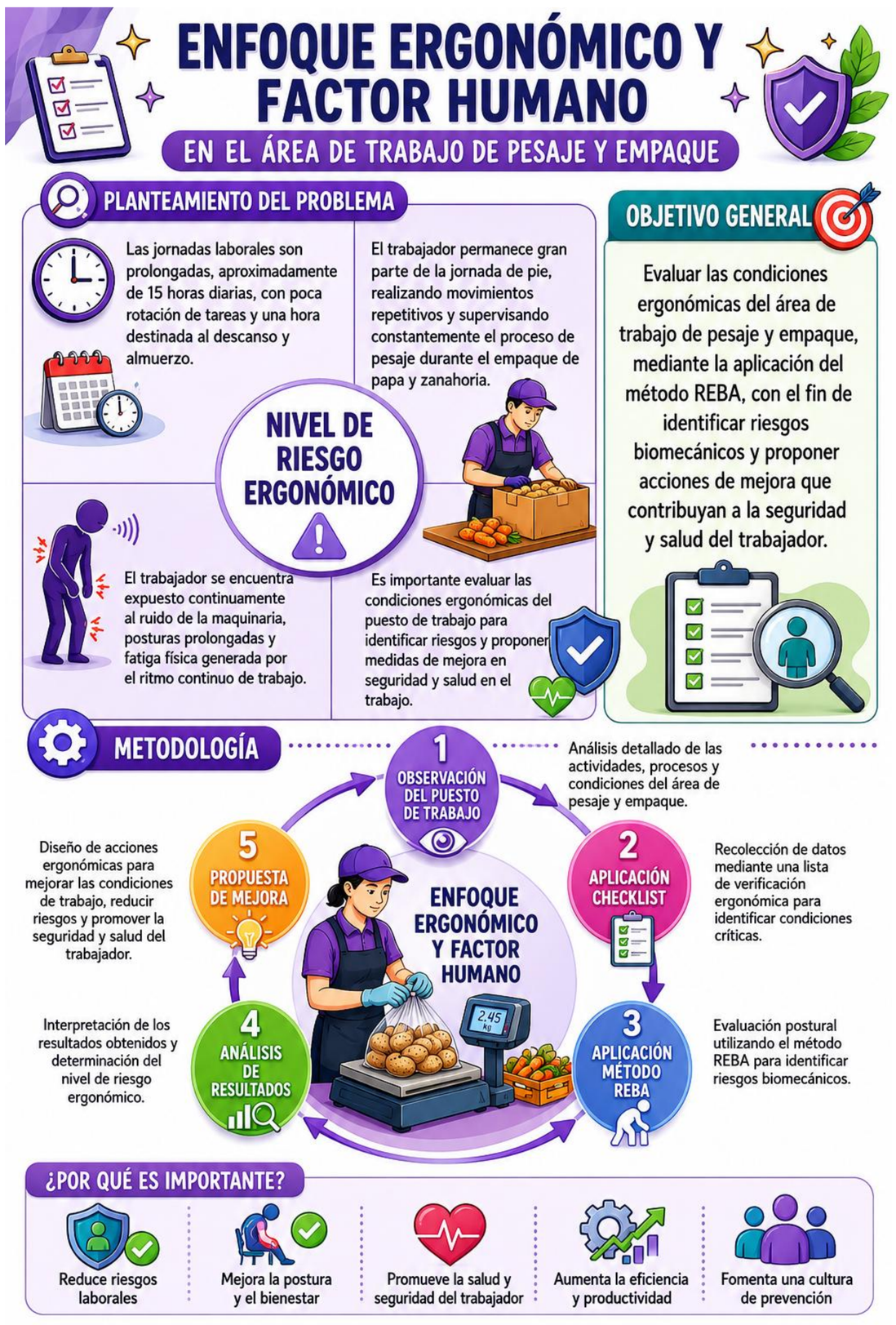
SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería
POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid
Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Evaluación ergonómica en el área de pesaje y empacado

Geraldine Santa Sánchez
Maria Camila Valencia Ramírez
Profesor: Msc. Jonathan Osorio Vasco
Curso: Fundamentos de ergonomía – Proyecto de aula – Sede Oriente
geraldine_santa77232@elpoli.edu.co–maria_valencia77232@elpoli.edu.co

Resumen:
La presente evaluación tiene como objetivo evaluar las condiciones ergonómicas y de seguridad del puesto la pesadora en la empresa lavadora las brisas ubicada en la unión Antioquia.
La investigación se desarrollará mediante una observación directa, Checklist ergonómico y el método REBA para identificar el nivel de riesgo presente en el trabajo.
Hasta el momento, se ha evidenciado condiciones que puede generar fatiga física y molestias musco esqueléticas en el trabajador.





Conclusiones:

La evaluación evidenció la presencia de riesgos ergonómicos asociados a posturas prolongadas y movimientos repetitivos en el puesto de trabajo.
El método REBA permitió identificar la necesidad de intervención para prevenir afectaciones musculoesqueléticas.
Se recomienda implementar mejoras ergonómicas, pausas activas y capacitación en posturas, con el fin de proteger la salud y bienestar del trabajador

Bibliografía:

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2015). Método REBA (Rapid Entire Body Assessment). INSST.
Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.

SEMINARIO DE INGENIERÍA
INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

Evolución ergonómica del puesto de trabajo en agricultura con el método ALLA

Gledys Vanesa Osorio Henao
gledys_osorio77231@elpoli.edu.co
Profesor: ing. Msc. Jonathan Osorio vasco

Fundamentos de ergonomía – proyecto de aula – sistemas de gestión en seguridad y salud en el trabajo

Resumen:

Se utilizó el método ALLA (Agricultural Lower-Limb Assessment) para identificar el nivel de riesgo por posturas físicas en el puesto de trabajo de siembra. Como resultado, se obtuvo que las tres posturas evaluadas dieron una puntuación de 4/riesgo alto De acuerdo con los hallazgos encontrados, se recomienda hacer mejoras ergonómicas, pausas activas, rotación de tareas y adecuación del puesto de trabajo, con el fin de disminuir la carga física



Metodología



Resultados:

- Se evaluó la tarea de siembra mediante el método ALLA.
- Las tres posturas analizadas obtuvieron una puntuación de 4 cada una.
- La sumatoria total fue de 12 puntos.
- El nivel de riesgo fue clasificado como alto.
- Se identificaron posturas inclinadas y movimientos repetitivos.
- Los trabajadores presentan alta carga física en espalda, piernas y zona lumbar.
- La actividad requiere largos tiempos de permanencia en posiciones incómodas.

Conclusiones:

- La tarea de siembra presenta un riesgo ergonómico alto.
- Las posturas forzadas y repetitivas aumentan el riesgo de lesiones osteomusculares.
- El método ALLA permitió identificar la necesidad de intervención ergonómica.
- Es necesario implementar pausas activas y rotación de tareas.
- Se recomienda adecuar el puesto de trabajo para disminuir la carga física y mejorar el bienestar de los trabajadores.

Bibliografía:

Ministerio del Trabajo. Decreto 1072 de 2015. Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo.

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Resolución 0312 de 2019. Estándares mínimos del SG-SST.

Organización Internacional del Trabajo. Seguridad y salud en la agricultura.Ergonomía.

Método ALLA (Agricultural Lower-Limb Assessment) para evaluación de riesgo postural en actividades agrícolas.

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo.

SEMINARIO DE INGENIERÍA
INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

EVALUACIÓN ERGONÓMICA MEDIANTE EL MÉTODO ERIN EN OPERARIOS DE SELECCIÓN MANUAL DE PAPA EN BANDA TRANSPORTADORA

Andres Felipe Giraldo Cardona- María Ximena Botero Arenas
maria_botero11211@elpoli.edu.co - Andrés_giraldo77232@elpoli.edu.co
Profesor: Msc.Jonathan Osorio Vasco
Curso: Fundamentos de ergonomía-Proyecto de aula - Sede Oriente- TGSST

Resumen:
El presente trabajo realiza una evaluación ergonómica de un puesto de trabajo en una lavadora de papa, específicamente en la actividad de selección manual sobre banda transportadora. Mediante la aplicación del método ERIN se identificaron factores de riesgo biomecánico relacionados con posturas forzadas, movimientos repetitivos y tiempos prolongados de exposición

Planteamiento del problema:

Los trabajadores encargados dela clasificación manual de papa permanecen durante largas jornadas en posición de pie realizando movimientos repetitivos y manteniendo posturas inadecuadas. Estas condiciones aumentan la carga biomecánica y el riesgo de desarrollar lesiones musculoesqueléticas asociadas al trabajo, afectando la salud y el desempeño laboral del operario.

Figura 1: Imagen del trabajador



Objetivo general:

Evaluar los factoresde riesgo biomecánico presentes en el puesto de clasificación manual de papa mediante la aplicación del método ERIN



Resultados:
Condicionesobservadas:
Flexión constante del tronco hacia adelante. Flexión continua del cuello. Movimientos repetitivos de brazos y muñecas. duración prolongada de pie. Trabajo condicionado por la velocidad de la banda transportadora. Baja variabilidad postural.



Conclusiones:

El puesto evaluado presenta varios factores de riesgo biomecánico relacionados con posturas forzadas y movimientos repetitivos.
La permanencia prolongada en posición de pie incrementa la fatiga física del trabajador.
El método ERIN permitió identificar condiciones que pueden favorecer la aparición de trastornos musculoesqueléticos.
Se recomienda implementar pausas activas, ajustes posturales y estrategias ergonómicas para disminuir la carga biomecánica.

Bibliografía:

Rodríguez, M., & colaboradores. Aplicación del método ERIN y la reducción de problemas de salud de los trabajadores. Revista RIEMAT. Recuperado de: https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/925 Diego-Mas, J. A. Método ERIN (Evaluación del Riesgo Individual). Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: https://www.ergonautas.upv.es/metodos/erin/erin-ayuda.php
Scielo. Evaluación ergonómica mediante el método ERIN. Recuperado de: https://homolog-ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0254-07702013000200010&script=sci_arttext

SEMINARIO DE INGENIERÍA
INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Evaluación Ergonómica de pesaje manual de costales de papa y zanahoria mediante el método REBA

Alejandro Tobón Giraldo - Maria José Sánchez Arango

alejandro_tobon77231@elpoli.edu.co - maria_sanchez77231@elpoli.edu.co

Profesor Msc. Jonathan Osorio Vasco

Curso: Fundamentos de Ergonomía - Proyecto De Aula - Seguridad y Salud en el Trabajo Sede Oriente

Resumen:

El presente trabajo evaluó el riesgo ergonómico del puesto de pesaje manual de costales de papa y zanahoria en la empresa Lavadora Las Brisas mediante el método REBA. Se identificaron posturas forzadas, manipulación manual de cargas de 40 kg y movimientos repetitivos durante jornadas laborales de 12 horas. El resultado final REBA fue de 7, clasificando el puesto en un nivel de riesgo medio.

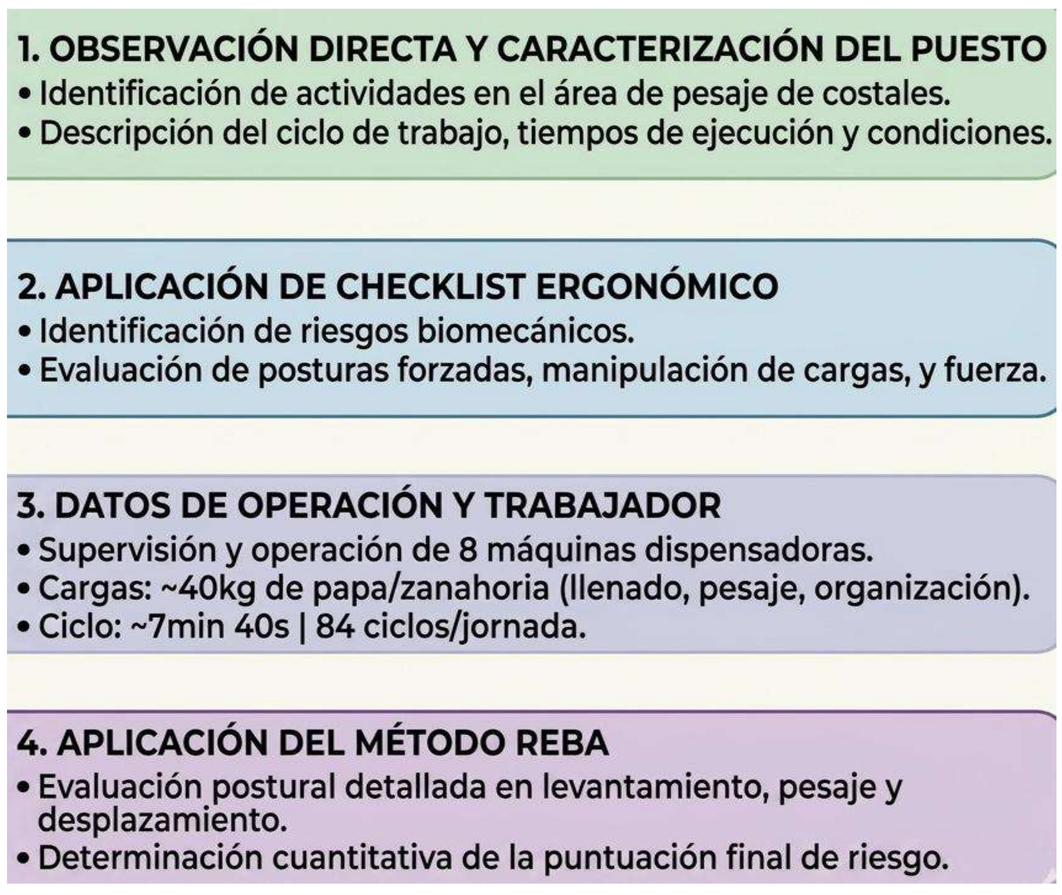
Planteamiento del problema:



Objetivo general:

Evaluar el riesgo ergonómico del puesto de pesaje manual de costales mediante el método REBA en la empresa Lavadora Las Brisas.

Metodología:



Resultados:



Conclusiones:

* El puesto evaluado presenta un nivel de riesgo ergonómico medio según el método REBA.
* La manipulación manual de cargas y las posturas forzadas generan alta carga física en el trabajador.
* Las zonas corporales más afectadas son espalda baja, piernas y brazos.
* Se recomienda implementar medidas ergonómicas para disminuir el riesgo de lesiones musculoesqueléticas.

Bibliografía:

Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied Ergonomics, 31(2), 201–205.

Ministerio de Trabajo de Colombia. (2015). Guía técnica para la evaluación de factores de riesgo ergonómico. https://www.mintrabajo.gov.co

Organización Internacional del Trabajo. (2021). Seguridad y salud en el trabajo. https://www.ilo.org

Evaluación Ergonómica del Puesto de Trabajo en Banda Transportadora

Karina Castaño Toro – Angie Manuela Castaño Toro

Karina_castano11222@elpoli.edu.co – Angie_castano77232@elpoli.edu.co

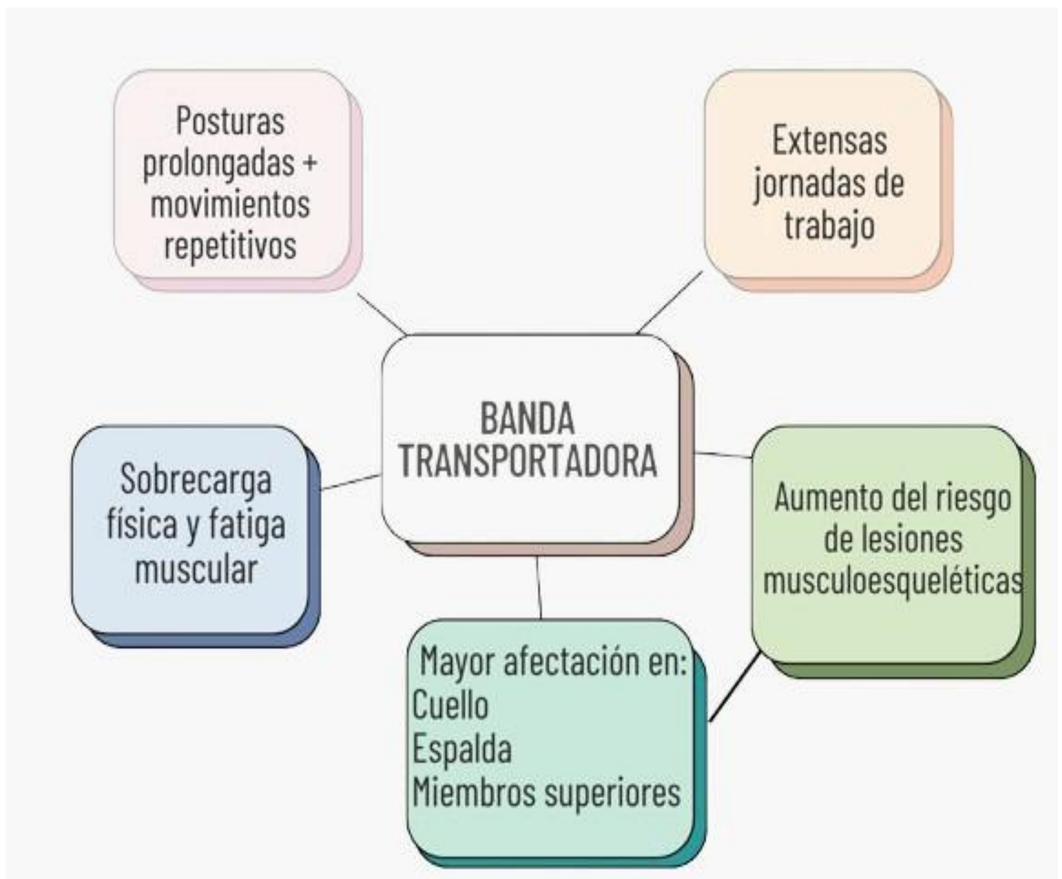
Profesor Msc. Jonathan Osorio-Vasco

Curso: Fundamentos de Ergonomía – Proyecto de aula –Sede Oriente

Resumen:

Se utilizó el método ERIN para identificar el nivel de riesgo por posturas físicas en el puesto de trabajo de bandas transportadoras. Como resultado, se obtuvo una sumatoria de 34 puntos, clasificando el puesto en un nivel de riesgo alto. De acuerdo con los hallazgos encontrados, se recomienda implementar mejoras ergonómicas como: pausas activas, rotación de tareas y adecuaciones en el puesto de trabajo. Estas recomendaciones esperan disminuir la carga física y prevenir lesiones musculoesqueléticas en los trabajadores.

Planteamiento del problema



Objetivo general:

Evaluar el puesto de trabajo de banda transportadora mediante el método ERIN identificando el nivel de riesgo ergonómico presente durante la labor

Metodología:

La identificación de las condiciones del puesto de trabajo se realizó mediante observación directa y la aplicación de:

- Un checklist para la identificación del puesto de trabajo.
- La evaluación utilizando el método ERIN
- Con el resultado obtenido, se plantearon posibles medidas de intervención orientadas a mejorar las condiciones ergonómicas del puesto de trabajo.

Resultados:

Mediante el análisis del puesto de trabajo, se evaluaron 8 personas, quienes mostraron posturas prolongadas, movimientos repetitivos y una inclinación constante del cuello y la espalda. Las jornadas se extendieron entre 12 y 14 horas, aumentando la carga física. Tras la evaluación con el método ERIN, se obtuvo un puntaje total de 34, clasificando el puesto en un nivel de riesgo alto. Las áreas más afectadas fueron el cuello, con un puntaje de 6, y el tronco, con un puntaje de 5. Además, se observó que la fatiga se acumulaba debido a la repetición de movimientos, y la ausencia de pausas adecuadas aumentaba el riesgo.



Conclusiones:

- El puesto de trabajo evaluado presenta condiciones ergonómicas que pueden afectar la salud física de los trabajadores debido a las posturas mantenidas, los movimientos repetitivos y las largas jornadas en posición de pie.
- El resultado obtenido mediante el método ERIN permitió identificar un nivel de riesgo alto, evidenciando la necesidad de implementar medidas de intervención que contribuyan a mejorar las condiciones laborales y prevenir trastornos musculoesqueléticos.

Bibliografía:

- Rodríguez, Y., Viña, S., & Montero, R. (2013). A method for non-experts in assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders—ERIN. Industrial Health, 51(6), 622–626. https://doi.org/10.2486/indhealth.2013-0008
- Unidad Central del Valle del Cauca. (2021). *Evaluación ergonómica mediante el método ERIN para la identificación de factores de riesgo musculoesquelético* [Trabajo de grado]. Repositorio Institucional UCEVA. https://repositorio.uceva.edu.co/bitstream/handle/20.500.12993/2665/T00030834.pdf

EVALUACIÓN ERGONÓMICA DEL OPERARIO DE TRÓMMEL EN LAVADORA LAS BRISAS

Luz mariana casas espinosa – paula Andrea Betancur Quinchia

luz_casas77231@elpoli.edu.co – paula_betancur77232@elpoli.edu.co

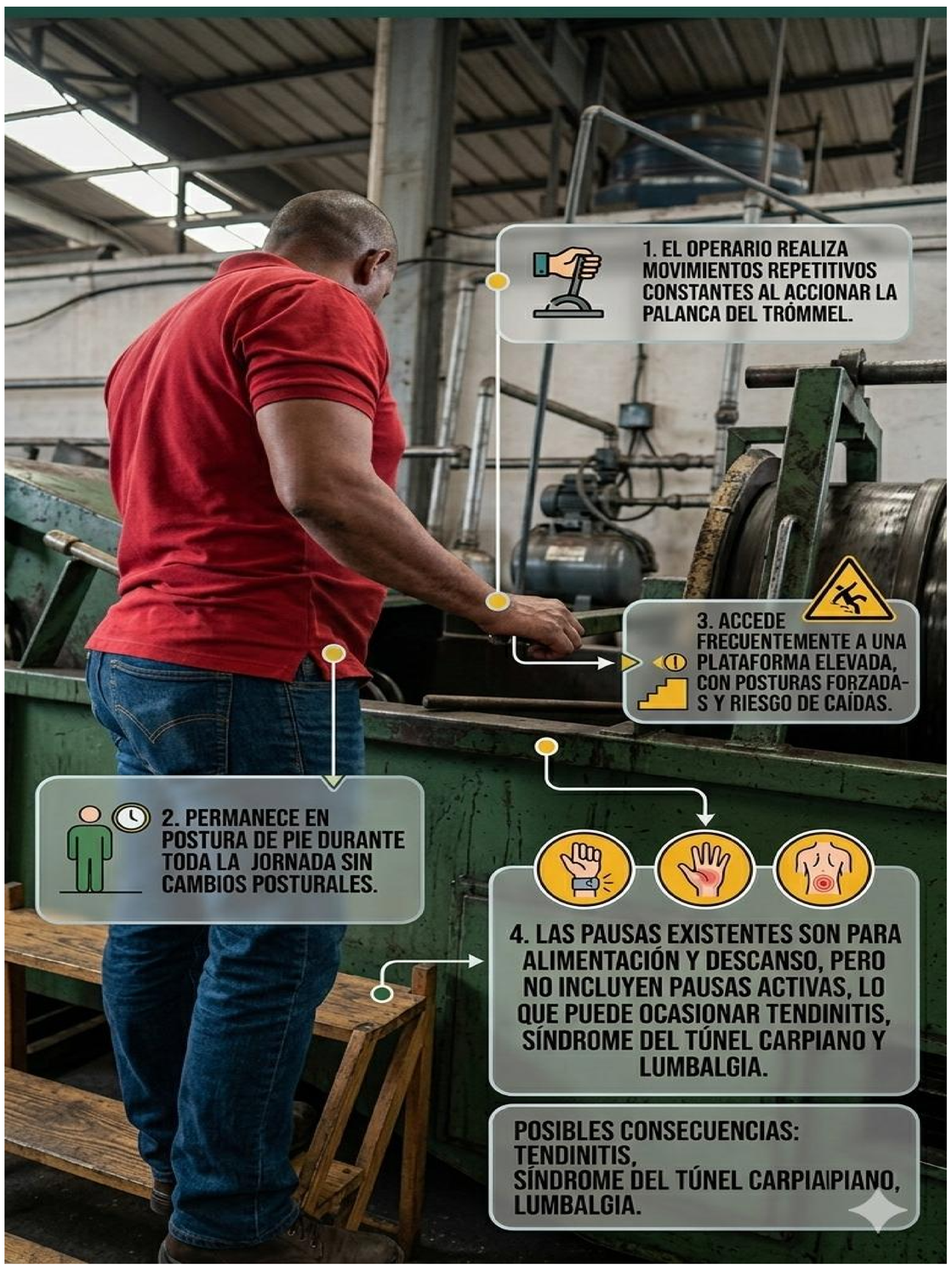
Profesor Msc. Jonathan Osorio-Vasco

Curso: fundamentos de ergonomía – proyecto de aula – TGSST sede Oriente

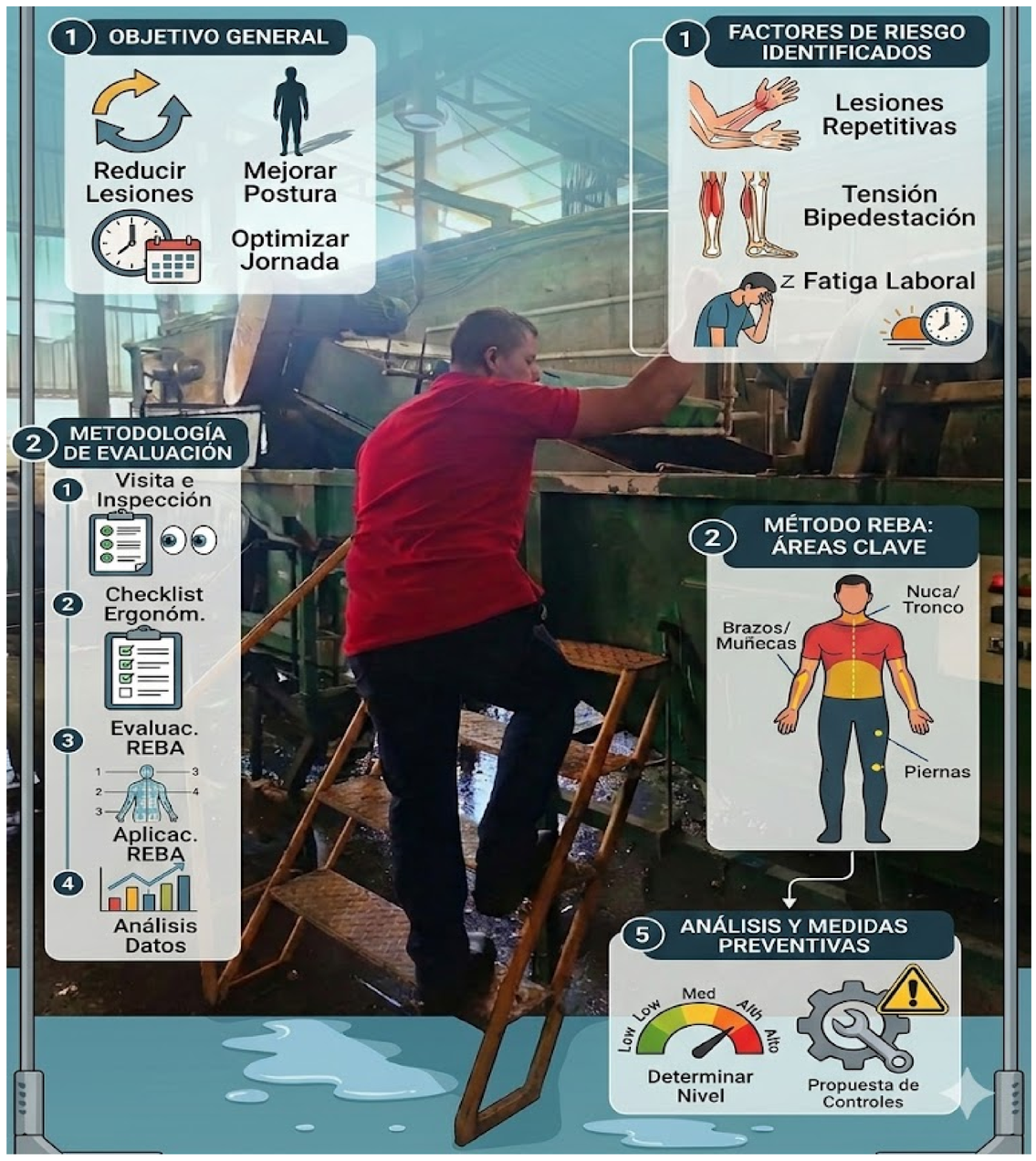
Resumen:

Se evaluó ergonómicamente el puesto de operario de trómmel en Lavadora Las Brisas, identificando factores de riesgo como movimientos repetitivos (más de 1,020 accionamientos de palanca por jornada), postura de pie prolongada (14.17 horas diarias) y jornada extensa. Se utilizó el método REBA, observación directa y medición de tiempos. Los resultados evidenciaron riesgo ergonómico alto, asociado a repetitividad y fatiga muscular.

Planteamiento del problema:



Metodología:



Resultados:

- ✓ REBA: Riesgo ergonómico alto
- ✓ Movimientos repetitivos: > 1,020 subidas/bajadas de palanca por jornada
- ✓ Jornada Laboral: 14.17 horas efectivas (postura de pie)
- ✓ accesso a Plataforma: 34 veces por jornada
- ✓ Producción: 17 ciclos/día = 3,060 moños procesados

Conclusiones:

- ✓ Se identificaron factores de riesgo asociados a movimientos repetitivos y postura prolongada.
- ✓ El método REBA permitió evidenciar riesgo ergonómico en el puesto evaluado.
- ✓ La jornada laboral prolongada aumenta la exposición a factores de riesgo.
- ✓ Se recomienda implementar medidas de prevención ergonómica en el puesto de trabajo.

Bibliografía:

Hignett, S., & McAnarney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA).

(2007). Ergonomía — Evaluación de posturas de trabajo estáticas (Norma ISO 11226:2000).

Facultad de Ingeniería | POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid | Acreditado en ALTA CALIDAD Resolución 015158 de 2022 Ministerio de Educación Nacional

Evaluación Postural con IA y REBA en el Lavadero de Papa y Zanahoria Las Brisas S.A.S.

Cesar A. Castro Castaño | Andres F. Rincon Alzate | Juan C. Zuluaga Aguirre

Fundamentos de Ergonomía – Facultad de Ingenierías, Sede Oriente

andres_rincon82221@elpoli.edu.co | juan_zuluaga82221@elpoli.edu.co | cesar_castro82192@elpoli.edu.co

Resumen:

Se desarrolló y validó una herramienta de software que automatiza la evaluación del riesgo postural en puestos agroindustriales mediante inteligencia artificial y el método REBA. El caso de estudio fue el puesto de lavado manual de papa y zanahoria en Lavadora de Productos Agrícolas Las Brisas S.A.S. (La Unión, Antioquia). La aplicación acepta imágenes estáticas del operario, detecta puntos articulares con MediaPipe Pose y calcula el puntaje REBA automáticamente. Resultado: REBA = 9 (Riesgo Alto). La herramienta reduce una evaluación manual de ~30 min a menos de 60 segundos.





Metodología:

Estudio de caso aplicado. Se observó el puesto de lavado en jornada real. Se desarrolló una aplicación web (React + FastAPI) que: (1) recibe imagen del operario, (2) detecta 33 keypoints articulares con MediaPipe Pose, (3) calcula ángulos mediante álgebra vectorial y (4) aplica el algoritmo REBA completo con modificadores de carga (5-10 kg), agarre regular y actividad estática. Figura 1 muestra el flujo del sistema; Tabla 1 los puntajes REBA por segmento.

Resultados:

Conclusiones:

La herramienta es viable para evaluación ergonómica automática en PYMES agroindustriales. El puntaje REBA de 9 confirma riesgo alto en región lumbar, hombros y muñecas. La intervención prioritaria —adecuación de altura de tolva— puede reducir la puntuación a nivel medio o bajo con una inversión de bajo costo, previniendo incapacidades laborales de alto impacto económico para la empresa.

Bibliografía:

Fathallah (2010). Musculoskeletal disorders in labor-intensive agriculture. Applied Ergonomics, 41(6), 738-743. | Hignett & McAtamney (2000). REBA. Applied Ergonomics, 31(2), 201-205. | Lugaresi et al. (2019). MediaPipe. arXiv:1906.08172. | Min. Trabajo Colombia (2019). Resolución 0312. | ICONTEC (2012). GTC 45. | Vignais et al. (2013). Applied Ergonomics, 44(4), 566-574.

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería

POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

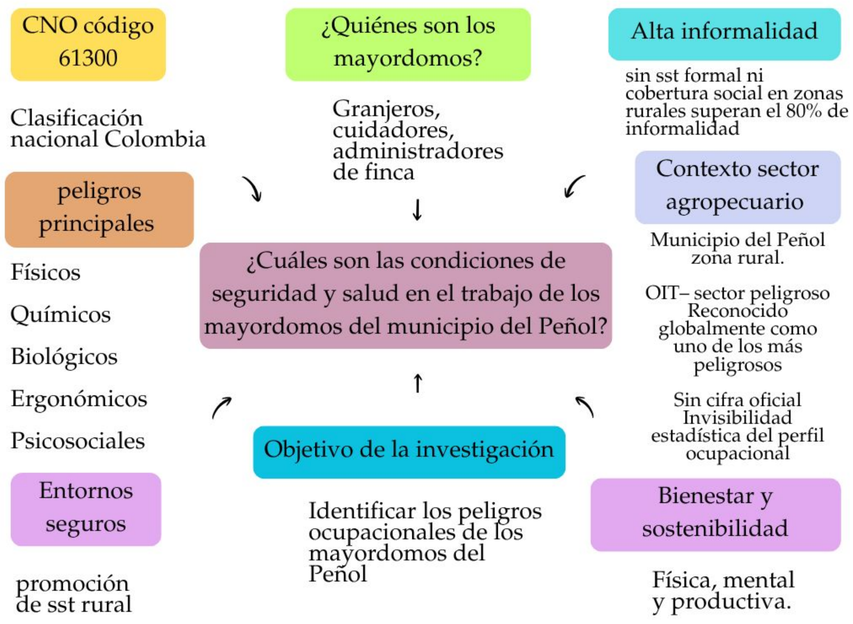
CARACTERIZACIÓN DE LOS PELIGROS A LOS QUE SE EXPONEN LOS MAYORDOMOS EN LOS TRABAJOS FORMALES E INFORMALES

Daniela Camargo Ruiz, Isabela Quinchia Pamplona, Marinella Gallego Alzate

Curso: Metodología de la Investigación, Tecnología en Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo Sede Oriente
Profesor asesor: Ing. Msc. Jonathan Osorio-Vasco.
daniela_camargo77242@elpoli.edu.co, isabela_quinchia77232@elpoli.edu.co, marinella_gallego77242@elpoli.edu.co

Resumen:
La población de mayordomos en el sector agrícola presenta limitada información sobre los peligros ocupacionales a los que se encuentra expuesta, especialmente en contextos rurales con alta informalidad laboral. Por ello, la investigación busca identificar y clasificar los principales riesgos laborales asociados a sus actividades diarias. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica y análisis documental en Scopus mediante criterios de inclusión y exclusión relacionados con seguridad y salud en el trabajo. Los resultados permitieron identificar riesgos físicos, químicos, biológicos, ergonómicos y psicosociales, aportando una visión más amplia de la vulnerabilidad laboral presente en el sector agrícola.

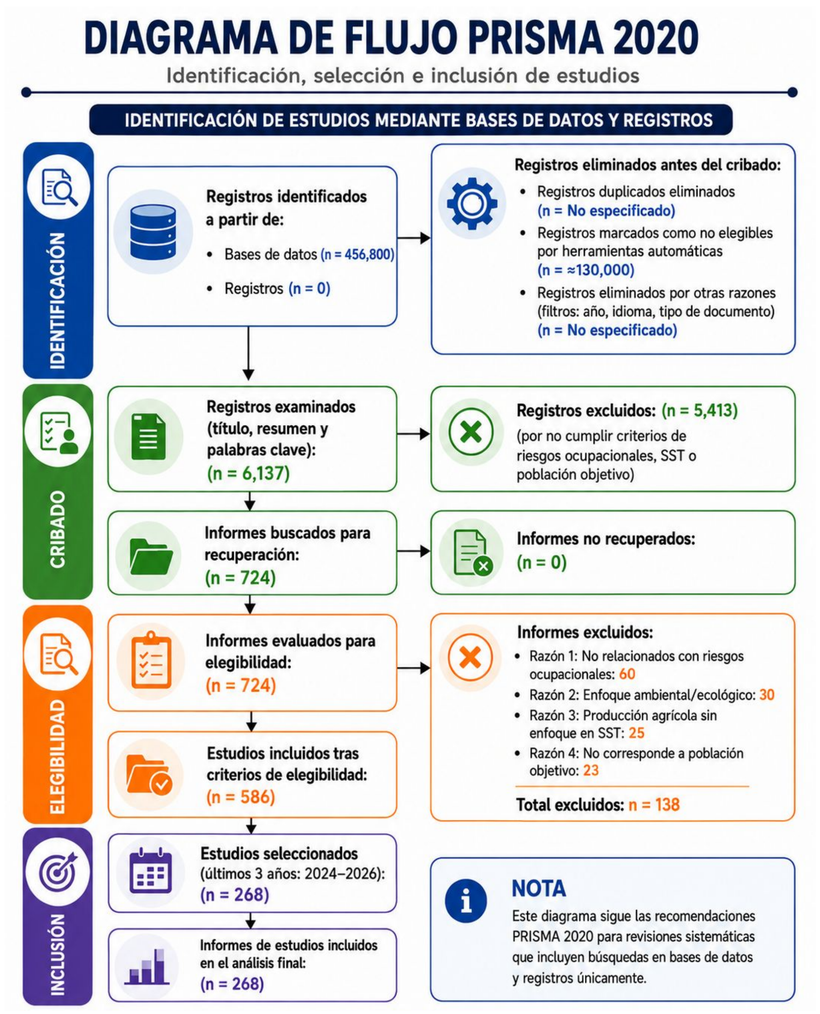
Planteamiento del problema:

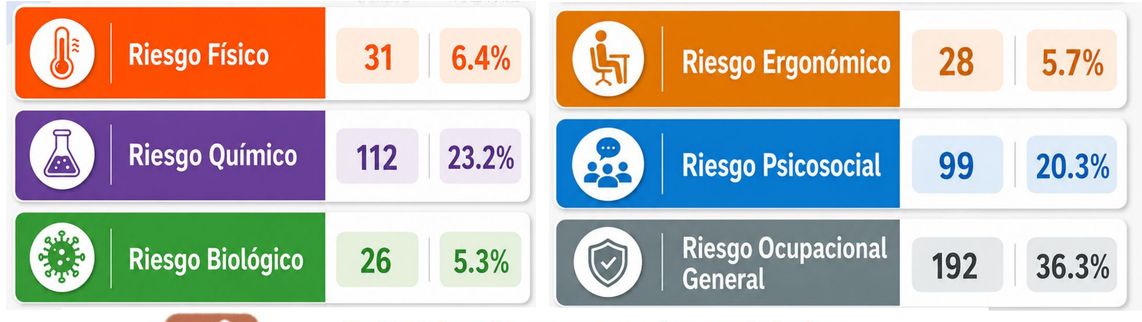


Metodología:



Resultados:





Conclusión:



Bibliografía:
Naghavi, S., Ahmadyousefi, M., Damalas, C. A., & Mohammadi, M. (2024). Factors affecting farmers' safety behavior in the use of chemical pesticides: The role of technical efficiency. Scopus. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85133551551

SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Facultad de Ingeniería | POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid

Acreditado en ALTA CALIDAD
Resolución 015158 de 2022
Ministerio de Educación Nacional

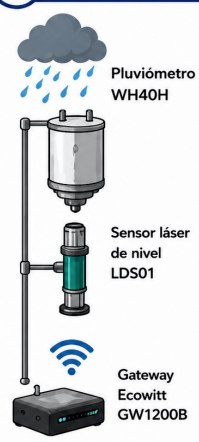
Sistema de Alerta Temprana (SAT) para Inundaciones - Modelo Predictivo con Machine Learning

Jhonatan Osorio Vasco[1] | Juan José Sepúlveda Gómez[2] | Juan Felipe Florez Montoya[1] | Duber Rojas Posada[3] | Luis Miguel Callejas Rave[3] | Catalina Hincépie Gallego[3]

Curso: GESTIÓN DEL RIESGO DE EMERGENCIAS Y DESASTRES

[1]Docente Facultad de Ingeniería | [2]Estudiante creador del modelo predictivo | [3]Ingeniería en Seguridad y Salud en el Trabajo
jonathanosorio@elpoli.edu.co | juan_sepulveda82212@elpoli.edu.co

1 RESUMEN



SAT basado en Machine Learning para predecir inundaciones en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid causadas por la quebrada La Presidenta y el alcantarillado insuficiente.

Sensores WH40H (lluvia) y LDS01 (nivel láser) vía gateway Ecowitt GW1200B.

Modelo Random Forest entrenado con 181 registros reales (feb–mar 2026) que clasifica el riesgo en:

Normal	Nivel < 80 mm y lluvia < 80 mm/h
Alerta Amarilla	Lluvia ≥ 80 mm/h o dist. ≤ 2380 mm
Desbordamiento	Profundidad ≥ 250 mm

Predicción con +4 horas de anticipación para activar protocolos de gestión del riesgo.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Inundaciones recurrentes en el campus por la quebrada La Presidenta, el alcantarillado insuficiente y la ausencia de monitoreo automático que permita anticipar el riesgo (eventos 28-ene y 17-mar-2026).



EVENTOS DOCUMENTADOS

Fecha	Descripción del evento
28 ENE 2026	Evento de inundación documentado. No se capturaron datos del sensor en este evento por limitaciones del periodo de exportación, pero fue incluido como referencia histórica.
17 MAR 2026	Evento registrado por los sensores: lluvia de 59.4 mm/h y nivel de agua de 89 mm a las 15:00 horas, superando el umbral de alerta amarilla (80 mm).

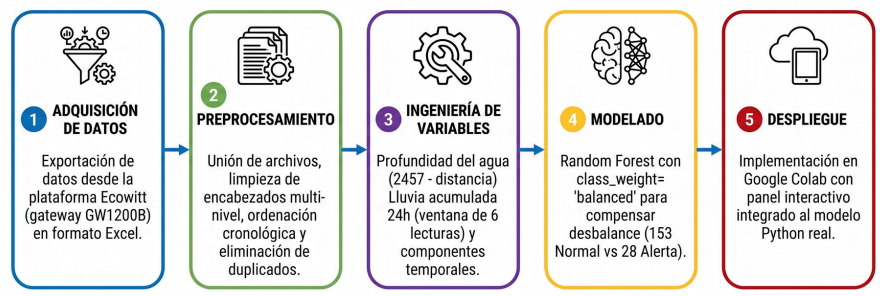
3 OBJETIVO GENERAL



Desarrollar e implementar un modelo predictivo de Machine Learning integrado a sensores en tiempo real, capaz de anticipar el estado de riesgo de inundación en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid con suficiente antelación para activar protocolos de gestión del riesgo, utilizando datos reales de los sensores WH40H (pluviómetro) y LDS01 (nivel láser) conectados al gateway Ecowitt GW1200B.



4 METODOLOGÍA





5 RESULTADOS

A. DESEMPEÑO DEL MODELO

El modelo clasificó correctamente los estados de riesgo en datos no vistos.



Buen desempeño general en la detección de alertas.

B. IMPORTANCIA DE VARIABLES (Random Forest - Gini)

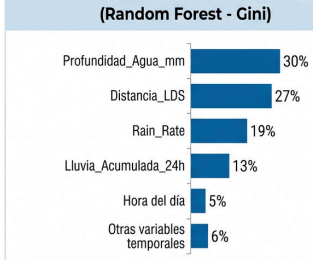


Figura 2. Importancia de variables del modelo Random Forest (Gini).

C. EVENTO REAL



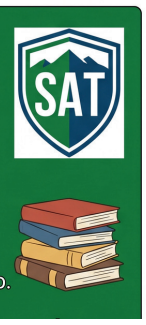
Lluvia: 59.4 mm/h
Nivel de agua: 89 mm (15:00 horas)

UMBRALES SAT

Estado	Condición	Umbral
NORMAL	Profundidad del agua < 80 mm y lluvia < 80 mm/h y distancia ≥ 2380 mm	< 80 mm
ALERTA AMARILLA	Lluvia ≥ 80 mm/h o distancia ≤ 2380 mm (profundidad ≈ 80 mm)	≈ 80 mm
DESBORDAMIENTO	Profundidad del agua ≥ 250 mm (≈ 25 cm)	≥ 250 mm

6 CONCLUSIONES

- ✓ El **SAT demuestra que es posible construir predicción de inundaciones** con recursos **accesibles** y datos propios del campus.
- ✓ **Random Forest** fue el **algoritmo óptimo** para **181 muestras** frente a LSTM (requiere miles de datos).
- ✓ El **balance de clases** (class_weight='balanced') fue **crítico** para detectar **alertas reales**.
- ✓ La **arquitectura es escalable**: con export de 1 minuto predice en tiempo real sin cambios de código.



7 BIBLIOGRAFÍA

- Breiman, L. (2001). Random Forests. Machine Learning, 45, 5-32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324
- Ecowitt Technology. (2024). GW1200B Gateway & LDS01 Laser Distance Sensor - Technical Manual.
- IDEAM. (2023). Atlas Climatológico de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- SIATA. (2025). Informe de eventos hidrológicos Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Pedrogosa, F. et al. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *JMLR*, 12, 2825-2830.



SEMINARIO DE INGENIERÍA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA