

Nuevos Talentos 2025

Directorio

PRESIDENTE

LIC. MAURICIO KURI GONZÁLEZ

VICEPRESIDENTE

DRA. MARTHA ELENA SOTO OBREGÓN

DIRECTOR GENERAL

DR. ENRIQUE RABELL GARCÍA

SECRETARIO

LIC. RENÉ MARTÍNEZ FERNÁNDEZ

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS. Año 17, edición especial, marzo 2026. *Nthe* es una publicación cuatrimestral editada por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ): calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000; tel. (442) 214 3685; www.concyteq.edu.mx; nthe@concyteq.edu.mx. Editor responsable: Felipe de Jesús Esperón Valenzuela. Reserva de derechos al uso exclusivo núm. 04-2018-111410321700-203; ISSN 2007-9079, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Felipe de Jesús Esperón Valenzuela: calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000. Fecha de última modificación: marzo de 2026

Nthe ha sido aprobada para su inclusión en el Índice del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX)

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación siempre y cuando se cite la fuente.

EDICIÓN Y DISEÑO DE LA PUBLICACIÓN
LIC. FELIPE DE JESÚS ESPERÓN VALENZUELA

Nthe, Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro:
<http://nthe.mx/>

Luis Pasteur Sur núm. 36
Col. Centro, CP 76000
Tel. 52 (442) 214 3685 / 212 7266, ext. 105
Querétaro, Qro., México

Consejo editorial

Investigadores nacionales

Dr. Alejandro Manzano Ramírez

Centro de Investigación y de Estudios
Avanzados del Instituto Politécnico Nacional,
unidad Querétaro

Dr. Flora Mercader Trejo

Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui

Dr. Sergio Barrera Sánchez

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de
Monterrey, campus Querétaro

Dr. Martha Cruz Soto

Universidad del Valle de México, campus
Querétaro

Dr. Gabriela Calderón Guerrero

Facultad de Psicología, Universidad Autónoma
de Querétaro

Dr. Víctor Castaño Meneses

Centro de Física Aplicada y Tecnología
Avanzada de la UNAM, campus Juriquilla

Dr. Rolando Salinas García

Unidad Multidisciplinaria de Estudios Sobre el
Trabajo, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Miguel Martínez Madrid

Instituto Mexicano del Transporte, SCT

Dr. Daniel Hiernaux Nicolás

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales,
Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Gabriel Corral Velázquez

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales,
Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Salvador Echeverría Villagómez

Centro Nacional de Metrología

Dr. Alberto Traslosheros Michel

Universidad Aeronáutica en Querétaro

Dra. Alejandra Urbiola Solís

Facultad de Contaduría y Administración,
Universidad Autónoma de Querétaro



Dr. Jöns Sánchez Aguilar

Instituto Tecnológico de Querétaro, Tecnológico
Nacional de México

Dr. Octavio López Millán

Instituto Tecnológico de Hermosillo

Dra. Marcela Hernández Romo

Universidad Autónoma Metropolitana, unidad
Iztapalapa

Mtra. Martha Díaz Muro

Instituto Tecnológico de Hermosillo, Tecnológico
Nacional de México

Dr. Sergio Sandoval Godoy

Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, Sonora

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López

Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Jorge Raúl Palacios Delgado

Universidad del Valle de México, campus Querétaro

Dra. María Guadalupe Ordaz Cervantes

Universidad Autónoma de Querétaro

Mtra. Eva Leticia Ortiz Ávalos

Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Adriana del Carmen Gallegos Melgar

CONACYT - COMIMSA

Dra. Ana Isabel Moreno Calles

Universidad Nacional Autónoma de México
Escuela Nacional de Estudios Superiores, Morelia.

Dra. Olivia Solís Hernández

Universidad Autónoma de Querétaro

Externo

Dr. Víctor Hugo Muciño Quintero

Universidad de West Virginia, EUA

La revista electrónica *Nthe* es financiada en su totalidad por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro en el marco del presupuesto autorizado el día 23 de diciembre de 2025. (Publicado en el periódico oficial del estado de Querétaro, La Sombra de Arteaga).

Comentario Nthe

Fomentar la participación de estudiantes y jóvenes profesionistas en proyectos de ciencia y tecnología no solo fortalece su formación académica, sino que también contribuye a la consolidación de una cultura de innovación y pensamiento crítico. Cuando los jóvenes se involucran activamente en la investigación, desarrollan habilidades fundamentales como la resolución de problemas, el trabajo interdisciplinario y la generación de conocimiento aplicado. Más aún, cada proyecto representa una semilla que, con el tiempo, puede transformarse en soluciones de impacto para la sociedad.

En esta edición especial de la revista Nthe acerca de los trabajos de jóvenes investigadores de la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, los cuales fueron presentados en el marco de Nuevos Talentos 2025. Se busca precisamente visibilizar el entusiasmo, la creatividad y la capacidad de iniciativa de jóvenes investigadores que, desde su formación académica, comienzan a construir respuestas para los retos de nuestro tiempo.

El primer artículo, “*Modelos Didácticos como Estrategia para Facilitar la Enseñanza del Diseño Estructural en Ingeniería Civil*”, propone herramientas educativas innovadoras que permiten mejorar la comprensión de conceptos complejos dentro de la formación de futuros ingenieros. Este tipo de iniciativas demuestra que la innovación no solo se encuentra en la creación de nuevas tecnologías, sino también en la forma en que se transmite el conocimiento.

En “*Diseño y construcción de tótem informativo multifuncional*”, se presenta una propuesta tecnológica orientada a mejorar la comunicación y el acceso a la información en espacios públicos o institucionales. Este proyecto refleja cómo la creatividad aplicada al diseño puede contribuir a optimizar la interacción entre las personas y su entorno.

Por su parte, el artículo “*Diseño y construcción de un refrigerador con celda Peltier para vacunas*” aborda una problemática de gran relevancia para la salud pública: la conservación adecuada de biológicos. Mediante el uso de tecnologías termoelectricas, este proyecto plantea alternativas potencialmente accesibles y eficientes para mantener la cadena de frío en contextos donde los sistemas convencionales resultan limitados.

La sostenibilidad ambiental también ocupa un lugar central en esta edición. El trabajo “*Biotecnologías para la depuración de aguas residuales en espacios educativos*” explora soluciones basadas en procesos biológicos que podrían contribuir a la gestión responsable del agua en instituciones educativas, fomentando al mismo tiempo una cultura ambiental entre la comunidad académica.

En la misma línea de investigación ambiental, el artículo “*Aplicación de $ZnO/PrO_2 + Pr(OH)_3$ en la degradación de colorantes en agua industrial bajo condiciones solares*” presenta avances en el uso de materiales fotocatalíticos para el tratamiento de contaminantes presentes en aguas industriales. Este tipo de investigaciones representa un paso importante hacia tecnologías de remediación ambiental más eficientes y sustentables.

La interdisciplinariedad se hace evidente en “*Aceites esenciales en el desarrollo de protectores solares: aplicaciones, retos y perspectivas futuras*”, donde se exploran alternativas naturales con potencial para el desarrollo de productos cosméticos y dermatológicos. Este trabajo conecta áreas como la química, la biotecnología y la salud, evidenciando cómo la investigación científica puede abrir nuevas oportunidades en distintos sectores.

Comentario *Nthe*

Finalmente, el artículo “*App Web reporte ciudadano: App web para reportes de servicios municipales*” destaca el papel de las tecnologías digitales en la participación ciudadana y la mejora de la gestión pública. Mediante el desarrollo de una plataforma de reporte ciudadano, se propone un puente entre la sociedad y las autoridades locales, demostrando cómo las soluciones tecnológicas pueden fortalecer la gobernanza y la comunicación institucional.

En conjunto, los proyectos que integran esta edición reflejan la diversidad de intereses, enfoques y áreas de conocimiento en las que los jóvenes investigadores están incursionando. Más allá de los resultados específicos de cada estudio, lo verdaderamente valioso es la iniciativa que impulsa su realización: la curiosidad por comprender el mundo y la voluntad de transformarlo mediante el conocimiento.

Esta edición especial es, por tanto, una invitación a valorar el potencial de las nuevas generaciones. Los proyectos aquí presentados son apenas el inicio de trayectorias que, con acompañamiento, colaboración y perseverancia, podrán consolidarse como contribuciones significativas al desarrollo científico y tecnológico. El futuro de la innovación se construye hoy, y en estas páginas encontramos un claro ejemplo de que ese futuro ya comienza a tomar forma en la creatividad y el compromiso de nuestros jóvenes investigadores.

Dr. Enrique Rabell García
Director General del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

ÍNDICE

Modelos Didácticos como Estrategia para Facilitar la Enseñanza del Diseño Estructural en Ingeniería Civil

Javier Alva Peniche
María José Cano Loa
Blanca Estela Domínguez Serrato
Luis Enrique Mendoza Tec
Rodrigo Quintanar Lizarde
Francisco Puebla Aguilera
Universidad Tecnológica de San Juan del Río,
Querétaro, México.

Diseño y construcción de Tótem informativo multifuncional

Zaira Alejandra Mondragón Medina
Estefanía Sánchez Becerril
Rosa Isela Cortes Villeda
Andrea López Mejía
Misael Armando Baldomino Nieves
Jesús Martínez Reséndiz
Universidad Tecnológica de San Juan del Río,
Querétaro, México.

Diseño y construcción de un refrigerador con celda Peltier para vacunas

Héctor Martínez Ríos
José Adrián Ruiz Cedeño
Luis Ángel Severo Martínez
Sergio Iván Paredes Ramírez
Salvador Martínez Cruz
Francisco Javier Cruz Pérez
Universidad Tecnológica de San Juan del Río,
Querétaro, México.

Biotechnologías para la depuración de aguas residuales en espacios educativos

R. Arciga-Pedraza
C.G. Atanacio Leyva
J. Chávez López
P.G. Lezama-Mejía
V. Alegría Santillán
A. Solares-Basurto
Universidad Tecnológica de San Juan del Río,
Querétaro, México.

Aplicación de $\text{ZnO/PrO}_2 + \text{Pr(OH)}_3$ en la degradación de colorantes en agua industrial bajo condiciones solares

Vanessa Olvera González
Natalia Correa López
Emilio Cruz Barrón
Mayte Mendoza Márquez
Juan Manuel Olivares-Ramírez
María Angélica Luján Vega
Victor Manuel Ovando-Medina
Juan Carlos Santiago Cruz
Diana María Amaya Cruz
Marcela Vargas Hernández
Andrés Dector
Zulma Flor Estrella Chavero
Universidad Tecnológica de San Juan del
Río, Querétaro, México.

Aceites esenciales en el desarrollo de protectores solares: aplicaciones, retos y perspectivas futuras

GC Anaya-Moreno
GA Santos-Cruz
M Trejo-Chacón
KD Vélez-Cervantes
RA González-Lugo
NB Olguín-López
Universidad Tecnológica de San Juan del
Río, Querétaro, México.

App web reporte ciudadano: App web para reportes de servicios municipales

Isaac Mendoza Ramírez
Diego Ahmed Olvera Martínez
Miriam Liliana Martínez Escandón
Cristian Ponce Montoya
Maribel Trejo Reséndiz
Juan Ibarra Pérez
Ma. Guadalupe Morado Huerta
Universidad Tecnológica de San Juan del
Río, Querétaro, México.

1

6

11

17

24

29

36

Modelos Didácticos como Estrategia para Facilitar la Enseñanza del Diseño Estructural en Ingeniería Civil

Alva Peniche Javier*, Cano Loa María José**, Domínguez Serrato Blanca Estela, Mendoza Tec Luis Enrique, Rodrigo Quintanar Lizarde, Puebla Aguilera Francisco. Universidad Tecnológica de San Juan del Río, Querétaro, México.

*jalvap@utsjr.edu.mx

Resumen

La enseñanza del diseño estructural presentó dificultades derivadas de la abstracción matemática y la complejidad de los conceptos de cargas, esfuerzo y deformaciones. Este trabajo propuso el uso de modelos didácticos físicos y digitales que permitieron simular los comportamientos básicos de las estructuras, facilitando la comprensión de los principios de resistencia y estabilidad. Se desarrollaron modelos de pórticos, vigas, puentes y edificios utilizando MOLAS, complementados con software de análisis estructural. En los resultados se evidenció una mejora significativa en el aprendizaje práctico, el razonamiento crítico y la evaluación entre teoría y práctica fortaleciendo las competencias del ingeniero civil en formación académica.

Palabras clave: Diseño estructural, Modelos didácticos, Enseñanza de la ingeniería, Aprendizaje Activo, Simulación Estructural.

Abstract

Teaching structural design presented challenges stemming from the mathematical abstraction and the complexity of the concepts of loads, stresses, and deformations. This work proposed the use of physical and digital educational models that allowed for the simulation of basic structural behaviors, facilitating the understanding of the principles of strength and stability. Models of frames, beams, bridges, and buildings were developed using MOLAS, complemented by structural analysis software. The results showed significant improvements in practical learning, critical reasoning, and the evaluation of theory and practice, strengthening the competencies of civil engineers in academic training.

Keywords: Structural design, Educational models, Engineering education, Active learning, Structural simulation.

Introducción

El diseño estructural constituye un pilar fundamental en la formación del ingeniero civil; sin embargo, su enseñanza tradicional, centrada principalmente en métodos analíticos, tiende a limitar la comprensión profunda de los fenómenos físicos que intervienen en el comportamiento de las estructuras. Según García-Ramírez (2025), la integración de modelos físicos y tableros didácticos contribuye significativamente al desarrollo de la creatividad y a una mejor comprensión geométrica del comportamiento estructural. De igual manera, Ang y Domingo (2025) destacan que la adopción de modelos universales de enseñanza impulsa el fortalecimiento de competencias acordes con las demandas de la industria 5.0. En este sentido, los modelos didácticos se consolidan como herramientas eficaces para vincular la teoría con la aplicación práctica dentro del proceso formativo.

Metodología

El proyecto se centró en la implementación de material didáctico para la enseñanza de Ingeniería Civil, permitiendo a los estudiantes interactuar y observar el comportamiento estructural. Se utilizaron únicamente los kits Mola (residencial, fuentes y gran altura) como material para la construcción de modelos estructurales.

A. Diseño e implementación del Material Didáctico (Modelos Mola)

Pasos seguidos:

- Revisión de asignaturas: se identificaron las asignaturas que requerían la demostración de principios estructurales: Física (estática), Análisis Estructural, Diseño Estructural, Diseño de Cimentaciones, Diseño de Elementos de Concreto, Diseño de Elementos de Acero, y Temas Selectos de Ingeniería.

- Definición de Escenarios: se planificó la creación de modelos que permitieran demostrar la función de cada elemento estructural en diferentes tipos de edificaciones (residencial, puentes, gran altura). Figura 1
- Construcción de Modelos: se utilizaron los kits Mola para construir maquetas e identificar los diferentes elementos de una edificación, por ejemplo, vigas, columnas, armaduras y marcos.

B. Caracterización y Preparación de Pruebas

Se definieron los tipos de acciones y cargas a simular y se preparó el entorno de las demostraciones didácticas.

Pasos seguidos:

1. Definición de acciones estructurales: se establecieron las acciones a simular para interpretar el comportamiento estructural.
 - Acciones gravitacionales: permanentes (simulando carga muerta) y variables (simulando carga viva).
 - Acciones accidentales sismo y viento.
2. Preparación de herramientas de carga: se utilizaron pesas pequeñas, resortes o cualquier elemento auxiliar no electrónico para aplicar las cargas controladas a los modelos Mola.

C. Pruebas y Observación del Comportamiento Estructural

Esta etapa se centró en la interacción con los modelos para observar su respuesta ante diferentes tipos de carga.

Pasos seguidos:

1. Aplicación de cargas gravitacionales (carga muerta y viva):

- Se aplicaron cargas gradualmente a los modelos Mola (ej. peso sobre las vigas o nudos).
- Se observó y documentó la deformación de los diferentes elementos (tensión, compresión, flexión) y el papel de cada componente estructural en la redistribución de fuerzas.
- Se continuó con la aplicación de cargas hasta cargas excesivas para observar el punto de colapso y modo de falla.

2. Simulación de acciones accidentales (sismo y viento):

- Simulación de sismo: se sometieron los modelos a movimientos sísmicos mediante agitación manual y controlado de la base simulando diferentes frecuencias e intensidades. Se observó la respuesta dinámica de la estructura.
- Simulación de viento: se aplicaron fuerzas laterales horizontales (empuje lateral) al modelo para observar la función de los elementos resistentes a estas acciones.

3. Registro de observaciones: los estudiantes y el equipo de trabajo registraron las observaciones sobre el comportamiento estructural, enfocándose en la interacción y la interpretación del fenómeno.

Resultados

Los resultados se enfocaron a los nuevos conocimientos adquiridos por los estudiantes respecto al comportamiento estructural, gracias a la

implementación de modelos didácticos contruidos con los Kits Mola.

Observación del comportamiento entre cargas gravitacionales

Se demostró el efecto de las acciones gravitacionales (permanentes y variables) en los modelos estructurales, lo que permitió a los estudiantes analizar adecuadamente el comportamiento estructural.

- Identificación de función de elementos: los estudiantes observaron directamente la función de cada elemento estructural (viga, columna, armadura, etcétera) en diferentes edificaciones
- Visualizaciones de formaciones y colapso: la aplicación de cargas mostró en tiempo real las deformaciones y el colapso de las estructuras ante cargas excesivas.
- Comprensión de cargas fundamentales: se logró observar los principios de cargas muertas y cargas vivas mediante la interacción directa con los modelos.



Figura 1. Estructuras de Análisis
Fuente: <https://molamodel.com>

La Figura 1. Muestra la estructura de Análisis en las cuales se realizaron la simulaciones de cargas

Simulación de acciones accidentales

Los modelos didácticos permitieron simular las cargas accidentales (sismo y viento) y evaluar su impacto en las estructuras.

- Comportamiento ante movimiento sísmicos: se demostró el comportamiento estructural en diferentes tipos de edificaciones ante movimientos sísmicos simulados manualmente
- Identificación de resistencia lateral: se observaron los diferentes sistemas estructurales y cómo reaccionaron a las fuerzas laterales que simularon las acciones de sismo o viento reforzando la comprensión de la estabilidad estructural.

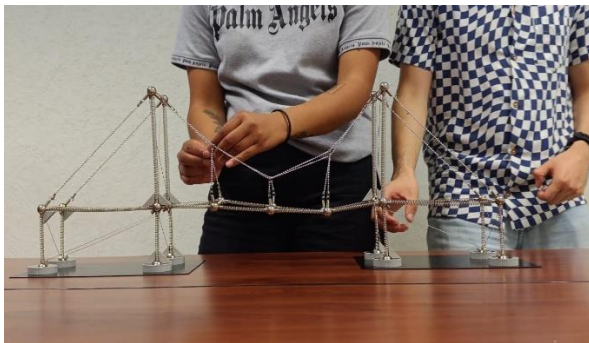


Figura 2. Aplicación Didáctica
Fuente: Práctica Propia

Impactos cualitativos en el proceso educativo

Se registraron varios resultados cualitativos que indicaron el éxito del proyecto en su objetivo de enseñanza del diseño estructural.

- Mejora de la comprensión conceptual: se encontró que existía una mejora significativa en la comprensión de conceptos de diseño

estructural en la comunidad académica de ingeniería civil.

- Incremento de la motivación estudiantil: los resultados mostraron un incremento en el interés y motivación de los estudiantes hacia el área estructural.
- Desarrollo de competencias: el proyecto facilitó el desarrollo de competencias prácticas y resultó en un mayor aprovechamiento académico.

Discusión

Los resultados muestran un incremento del 30% en la comprensión de conceptos estructurales en los grupos que utilizan modelos didácticos. Los estudiantes demuestran una mayor habilidad para identificar zonas críticas de esfuerzo y correlacionar resultados físicos con simulaciones digitales. Estos hallazgos concuerdan con los estudios de Oliveira y Oliveira (2024), quienes observan mejoras significativas en cursos de diseño geométrico al implementar técnicas activas en línea. Asimismo, el programa de desarrollo docente descrito por ASEE (2024) señala que la formación continua de profesorado es clave para mantener la eficacia de las metodologías activas.

Conclusiones

La aplicación de modelos didácticos en la enseñanza del diseño estructural mejoró significativamente la comprensión conceptual y la habilidad práctica de los estudiantes, como lo demuestran los resultados obtenidos en este estudio. Este enfoque pedagógico promueve una formación integral, orientada al análisis crítico, al aprendizaje autónomo y al desarrollo de competencias para la resolución de problemas estructurales complejos.

Los modelos físicos permitieron a los estudiantes visualizar y experimentar de manera tangible los fenómenos de cargas, esfuerzos y deformaciones, mientras que las herramientas digitales complementan esta experiencia mediante simulaciones precisas y análisis cuantitativos detallados.

La combinación de ambas metodologías demuestra ser particularmente efectiva para cerrar la brecha entre la teoría y la práctica, favoreciendo la comprensión más profunda de los principios fundamentales del diseño estructural.

Se recomienda enfáticamente la integración formal de modelos didácticos en los planes de estudio de asignaturas estructurales para fortalecer las competencias técnicas como científicas y profesionales en ingeniería civil.

Agradecimientos

Se agradece la Universidad Tecnológica de San Juan del Río (UTSJR) por su apoyo institucional y al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ) por su respaldo al desarrollo de proyectos educativos en ingeniería civil.

Referencias

- García-Ramírez, Y. (2025). Enhancing civil engineering education through innovative STEM-based prototyping: a comparative study of physical models and board games in geometric road design. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, 686. <https://www.nature.com/articles/s41599-025-05020-6>
- Ang, H. Q., & Domingo, B. (2025). An Innovative and Universal Teaching Model in Engineering Education to Foster Industry 5.0 Skills—EPIC Principles. *Education Sciences*, 15(9), 1096. <https://www.mdpi.com/2227-7102/15/9/1096>
- Oliveira, A., & Oliveira, D. (2024). Implementing Multiple Different Active Learning Techniques In Online Road Geometric Design Courses. *Advances in Engineering Education*, 12(1). https://advances.asee.org/wp-content/uploads/vol12/Issue1/Papers/12.1_3_Garcia-Ramirez.pdf

Diseño y construcción de Tótem informativo multifuncional

Zaira Alejandra Mondragón Medina; Estefanía Sánchez Becerril; Rosa Isela Cortés Villeda; Andrea López Mejía; Misael Armando Baldomino Nieves; Jesús Martínez Reséndiz
Universidad Tecnológica de San Juan del Río, 76800, San Juan del Río, Querétaro
Correo de correspondencia: zamondragonm@utsjr.edu.mx

Resumen

A partir de la necesidad de identificar los edificios del campus universitario, se desarrolló un prototipo de tótem informativo multifuncional diseñado por estudiantes de Ingeniería Civil. Este modelo replicable no solo orienta, sino que también invita a permanecer, descansar y reconectar con el entorno. El diseño integra información, mobiliario, vegetación nativa y energía autosustentable, materializando en un solo objeto la convergencia entre técnica, estética y sustentabilidad. Se describen el proceso de diseño, la selección de materiales, las etapas constructivas y las estrategias para su reproducción, con el propósito de fomentar la creación de espacios que comuniquen y, al mismo tiempo, regeneren el entorno.

Palabras clave: Tótem informativo, mobiliario urbano, banca autosustentable, perfil PTR.

Abstract

Based on the need to identify campus buildings, a multifunctional informational totem prototype was developed by Civil Engineering students. This replicable model not only guides but also invites users to stay, rest, and reconnect with their environment. The design integrates information, furniture, native vegetation, and self-sustaining energy, materializing in a single object the convergence between technique, aesthetics, and sustainability. The design process, material selection, construction stages, and replication strategies are described, aiming to promote the creation of spaces that inform while regenerating their surroundings.

Keywords: Informative totem, urban furniture, self-sustaining bench, PTR profile.

1. Introducción

En los últimos años, las instituciones educativas han transformado la concepción de sus espacios de convivencia y comunicación. Actualmente, los campus universitarios buscan trascender la mera funcionalidad para convertirse en entornos que integren confort, identidad y accesibilidad. Bajo esta premisa surge la necesidad de generar propuestas de mobiliario urbano ecológico e inclusivo que incorporen la identidad local, la accesibilidad universal y la revalorización del patrimonio natural.

El proyecto Tethra Tótem propone el diseño y construcción de un tótem informativo con banca integrada, elaborado con perfiles de acero PTR e incorporando una enredadera endémica que, al desarrollarse, forma un pergolado natural capaz de proporcionar sombra y confort térmico al usuario. Esta interacción entre estructura metálica y vegetación viva simboliza la fusión entre tecnología, diseño y ecología, donde la sustentabilidad se materializa en la armonía entre lo natural y lo construido.

Si bien existen múltiples tecnologías informativas en los entornos universitarios, como pantallas digitales o tableros interactivos, la mayoría no considera las barreras de comunicación que enfrentan las personas con discapacidad visual o hablantes de lenguas originarias. Este estudio evalúa si la estructura Tethra puede consolidarse como un nodo de información institucional más inclusivo y efectivo que los medios tradicionales.

2. Materiales y métodos

2.1. Diseño conceptual

Se definió un concepto base con doble función: brindar información al usuario y ofrecer un área de descanso con sombra natural generada por vegetación viva. Se elaboraron bocetos y modelos

digitales en software CAD para determinar proporciones ergonómicas, distribución estructural y viabilidad constructiva.

2.2. Selección de materiales

Se utilizó acero PTR de $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$ " cal. 14 para la estructura principal y PTR de $2\frac{1}{2} \times 1$ " cal. 18 para la cubierta, garantizando resistencia a la intemperie y facilidad de mantenimiento. Se aplicó pintura primaria anticorrosiva y esmalte negro como acabado final. Para el asiento se eligió Wood Plastic Composite (WPC), un material sostenible y resistente.



Figura 1. Composición de materiales del tótem

2.3. Integración ecológica

Se incorporó una enredadera endémica de la región del Bajío, adaptada a las condiciones de Querétaro. La especie seleccionada fue *Plectranthus madagascariensis* (vaporub), plantada en la base del tótem para desarrollar un pergolado natural que reduce la temperatura superficial.

2.4. Evaluación y aplicación

Se elaboró un prototipo a escala real y se evaluaron estabilidad estructural, confort del usuario, temperatura superficial y crecimiento vegetal.

2.5 Proceso constructivo del prototipo

El proceso constructivo se desarrolló en seis etapas secuenciales, enfocadas en la precisión estructural, la durabilidad de los materiales y la integración estética con el entorno. Cada fase se ejecutó conforme a los renders técnicos del diseño y siguiendo medidas de seguridad y control dimensional.

2.5.1 Trazado y corte de perfiles PTR

Se realizó el trazado de longitudes en mesa de trabajo utilizando escuadra y flexómetro para garantizar precisión milimétrica de todas las piezas, tal como se muestran las dimensiones de la Figura 2. A continuación, los cortes se efectuaron con esmeril y disco abrasivo, asegurando ángulos de 90° en los elementos estructurales principales y cortes en bisel de 45° para las uniones del marco superior e inferior.

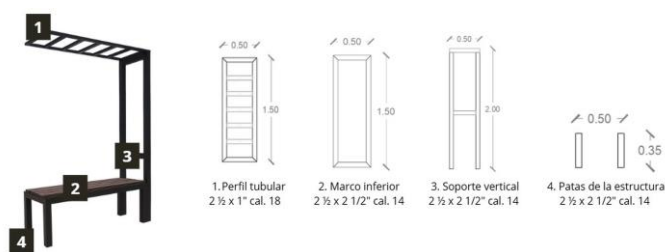


Figura 2. Despiece estructural

2.5.2 Preparación y limpieza del material

Tras el corte, los perfiles fueron lijados con grano 80 para eliminar rebabas, óxido superficial y residuos metálicos.

Antes del armado, se realizó una prelimpieza con thinner industrial y se verificó la alineación de los perfiles mediante escuadra.

2.5.3 Armado y soldadura estructural

El armado se llevó a cabo sobre una mesa nivelada, iniciando por el marco inferior de la banca y continuando con los elementos verticales del tótem.

Las uniones se realizaron mediante soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido E6013, manteniendo una separación uniforme y penetración controlada.

Tras el enfriamiento, se retiraron las escorias y se inspeccionaron las soldaduras para asegurar la continuidad del cordón.

Se efectuó una revisión dimensional con flexómetro y nivel, garantizando la perpendicularidad de las piezas y la estabilidad de la estructura.

2.5.4. Lijado, sellado y pintura anticorrosiva

Una vez armada la estructura, se procedió al lijado general de las uniones soldadas y bordes con disco flap, eliminando imperfecciones. Posteriormente, se aplicó una capa de primer anticorrosivo en aerosol. Tras el secado, se añadieron dos capas de esmalte color negro, como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Aplicación de primario en estructura de acero

2.5.5. Montaje del asiento con WPC

El WPC fue elegido por su resistencia al desgaste, baja absorción de agua y facilidad de mantenimiento, además de su composición reciclada (mezcla de

polímeros y fibras de madera). Se fijó a la estructura metálica mediante tornillería galvanizada de cabeza avellanada, previa perforación guía para evitar fisuras.

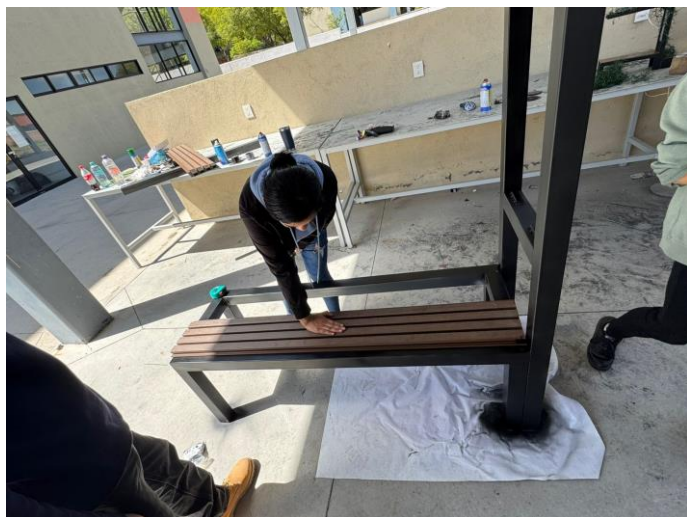


Figura 4. Colocación de asiento WPC

2.5.6. Colocación de tira LED

Con el propósito de garantizar la visibilidad del contenido informativo durante la noche, se incorporó una tira LED alimentada por un panel solar que se puede observar en la figura 5, instalada a lo largo del contorno superior de la estructura metálica. Este sistema de iluminación autónomo permite que el tótem mantenga su funcionalidad y legibilidad en horarios nocturnos, evitando el consumo de energía eléctrica convencional y reforzando su carácter sustentable.



Figura 5. Colocación de tira led con panel solar

3. Resultados y discusión

3.1. Desempeño estructural y funcional
El uso de perfiles PTR galvanizados proporcionó resistencia adecuada ante cargas estáticas y exposición ambiental. El WPC demostró alta estabilidad térmica y resistencia a la humedad. La estructura logró un equilibrio entre durabilidad, ergonomía y estética industrial.

3.2. Impacto social y replicabilidad
El tótem evidenció el potencial del diseño ecológico inclusivo como herramienta de concientización ambiental y social. Su viabilidad técnica lo convierte en un modelo replicable para distintos espacios.

3.3. Discusión general
El Tethra Tótem constituye una solución con triple impacto: ambiental, social y tecnológico. A la fecha, el prototipo se encuentra estructuralmente concluido, con una segunda fase pendiente para la integración de la placa informativa y la vegetación.



Figura 6. Prototipo final construido

4. Conclusiones

El desarrollo del prototipo constituye una propuesta integral de diseño urbano sostenible, donde convergen funcionalidad, inclusión y conciencia ecológica. El uso de materiales reciclables como el WPC resulta eficaz para equilibrar durabilidad, mantenimiento reducido y coherencia estética. Se recomienda continuar con la evaluación del comportamiento bioclimático y social del prototipo en distintos contextos urbanos.

5. Referencias

- García, L., & López, M. (2021). Diseño sustentable y urbanismo verde en ciudades latinoamericanas. *Revista Hábitat Sustentable*, 11(2), 55–68.
- INECC. (2021). Guía técnica para infraestructura verde urbana. Gobierno de México.
- Manzini, E. (2015). *Design, When Everybody Designs: An Introduction to Design for Social Innovation*. MIT Press.
- Mang, P., & Reed, B. (2019). Designing for Regeneration: Principles for Living Systems Design. *Journal of Cleaner Production*, 219, 112–122.
- ONU. (2019). *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas.
- OMS. (2022). *Directrices sobre accesibilidad universal en entornos urbanos*. OMS.
- Serrano, R., & Aguilar, J. (2022). Efectos microclimáticos de la

vegetación en espacios urbanos. *Revista Medio Ambiente y Desarrollo*, 18(3), 27–40.

Wilson, E. O. (2019). *Biophilia and the Future of the Human Environment*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Diseño y construcción de un refrigerador con celda Peltier para vacunas

Héctor Martínez Ríos, José Adrián Ruiz Cedeño, Luis Ángel Severo Martínez, Sergio Iván Paredes Ramírez, Salvador Martínez Cruz y Francisco Javier Cruz Pérez

División de ingenierías: industrial y mantenimiento industrial, Universidad Tecnológica de San Juan del Río,
San Juan del Río 76800, Querétaro, México; fjcruzp@utsjr.edu.mx

Resumen

De acuerdo con la organización mundial para la salud (OMS), el mantenimiento de la cadena de frío es esencial para la eficacia de las vacunas sensibles al congelamiento, cuyo rango de conservación crítico es de 2 °C a 8 °C. En este rango se encuentran las vacunas para la influenza estacional, se estima que en Querétaro se aplicarán más de 600 mil dosis contra la influenza. La falta de infraestructura eléctrica fiable en áreas rurales como la sierra queretana y el transporte de la "última milla" representan desafíos logísticos. Este estudio aborda dicha problemática mediante el diseño, construcción y evaluación experimental de un refrigerador portátil basado en el Efecto Peltier, una alternativa compacta y libre de gases refrigerantes como el R22 que se ha demostrado ser extremadamente contaminante. El prototipo fue concebido como una caja aislada térmicamente, utilizando celdas termoeléctricas (TEC), un sistema de disipación forzada de calor y un circuito de control ON/OFF para la modulación de la potencia. Las pruebas experimentales, realizadas a una temperatura ambiente de 25°C, validaron el rendimiento del sistema. Los resultados clave de la investigación muestran una estabilidad térmica dentro del rango de seguridad, mientras que el tiempo en alcanzar ese rango fue de 90 minutos alcanzó un coeficiente de rendimiento (COP) de 0.3 consumiendo 30 W. Investigaciones futuras se centrarán en mejorar el COP mediante un control PID y la optimización de la disipación de calor.

Palabras Clave: Celda Peltier, Vacunas, Cadena de Frío, Refrigerador portátil termoeléctrico

Abstract

According to the World Health Organization (WHO), maintaining the cold chain is essential for the effectiveness of freeze-sensitive vaccines, whose critical storage range is 2°C to 8°C. Seasonal influenza vaccines fall within this range, and it is estimated that more than 600,000 doses of influenza vaccine will be administered in Querétaro. The lack of reliable electrical infrastructure in rural areas such as the Queretaro mountains and "last mile" transportation pose logistical challenges. This study addresses these issues through the design, construction, and experimental evaluation of a portable refrigerator based on the Peltier effect, a compact alternative free of refrigerant gases such as R22, which has been shown to be extremely polluting. The prototype was conceived as a thermally insulated box, using thermoelectric cells (TECs), a forced heat dissipation system, and an ON/OFF control circuit for power modulation. Experimental tests, conducted at an ambient temperature of 25°C, validated the system's performance. Key research results show thermal stability within the safety range, while the time to reach that range was 90 minutes, achieving a coefficient of performance (COP) of 0.3 while consuming 20 W. Future research will focus on improving the COP through PID control and heat dissipation optimization

Keywords: Peltier cell, Vaccines, Cold chain, Thermoelectric portable refrigerator

Introducción

La cadena de frío es un componente fundamental en la infraestructura de salud pública global, siendo crucial para mantener la eficacia terapéutica de las vacunas y otros medicamentos termosensibles (Cuce, 2024). Generalmente, las vacunas requieren un estricto rango de almacenamiento y transporte que oscila entre los 2 °C y 8 °C. La interrupción de este control térmico, conocida como ruptura de la cadena de frío, conduce a la degradación de los biológicos que se traduce en la pérdida de potencia inmunogénica de la vacuna y, consecuentemente, a pérdidas económicas significativas y a una reducción en la confianza de los programas de inmunización (Reid et al., 2023).

Este problema se agrava en zonas rurales o comunidades aisladas que carecen de un suministro eléctrico continuo y fiable, o donde el transporte logístico es complicado (Islam et al., 2017; Guzmán et al., 2020). Los sistemas de refrigeración tradicionales basados en la compresión de vapor, si bien son eficientes, suelen ser voluminosos, requieren mantenimiento constante, contienen refrigerantes que afectan la capa de ozono (CFC/HCFC) y dependen de una fuente de energía eléctrica de alta potencia, lo que los hace inadecuados para soluciones portátiles de "última milla". En este contexto, la refrigeración termoelectrica basada en el Efecto Peltier emerge como una alternativa prometedora. Este fenómeno físico permite la transferencia de calor mediante el paso de una corriente eléctrica a través de la unión de dos materiales conductores distintos, ofreciendo ventajas significativas como la ausencia de partes móviles, un diseño compacto y ligero, operación silenciosa y la eliminación de refrigerantes químicos (Nikam & Hole, 2014). Estas características la hacen ideal para aplicaciones de refrigeración portátil y autónoma (Afshari, 2020). Diversos estudios han explorado el uso de la tecnología termoelectrica para el transporte de

vacunas. Se han diseñado y experimentado cajas transportadoras con Celdas Peltier, a menudo integrando sistemas de energía fotovoltaica para asegurar la autonomía en campo (Khan et al., 2024; Gastelo-Roque, 2022). Investigaciones más recientes han buscado mejorar la eficiencia del sistema mediante la integración de soluciones avanzadas, como el uso de nanofluidos o el acoplamiento directo con energía solar (Cuce, 2024). A pesar de estos avances, la principal limitación de los módulos Peltier es su bajo Coeficiente de Rendimiento (COP) en comparación con los sistemas de compresión, especialmente al requerir grandes diferencias de temperatura (ΔT) o al operar con altas temperaturas ambiente. Por ello, la investigación se ha enfocado en optimizar el diseño del sistema, incluyendo la configuración de las celdas, los materiales de aislamiento y la estrategia de control para maximizar el COP y asegurar la estabilidad térmica requerida (Elnaggara et al., 2024).

El presente trabajo se enfoca en abordar esta necesidad de optimización y confiabilidad. El objetivo de este estudio es el diseño, construcción y evaluación experimental de un prototipo de refrigerador con Celda Peltier, específicamente concebido para el almacenamiento y transporte de vacunas, demostrando su capacidad para mantener de manera estable la temperatura interna dentro del rango crítico de 2 °C a 8 °C bajo condiciones de operación representativas.

Método

El diseño y construcción del prototipo de un refrigerador termoelectrico con Celda Peltier se llevó a cabo siguiendo un enfoque sistemático que incluyó el diseño térmico, el diseño eléctrico, la selección de componentes entre los cuales destacan la celda Peltier y el protocolo de pruebas experimentales, con el objetivo de lograr una temperatura interna estable en el rango de 2 °C a 8 °C requerido para la preservación de vacunas.

Diseño Conceptual

El prototipo se concibió como una caja portátil aislada, optimizada para minimizar la transferencia de calor con el ambiente exterior. En la figura 1 podemos observar el cuerpo Aislado (Gabinete), el cual se diseñó como una caja con un volumen interno específico de 8.8 litros de capacidad para la carga de vacunas. La selección del material de aislamiento es clave para reducir la carga térmica y el consumo energético. Se utilizó aislante térmico con aluminio y fibra de vidrio debido a su bajo coeficiente de conductividad térmica (0.03W/m*k), con un espesor de 30 mm, lo que reduce la potencia necesaria de la Celda Peltier. La unidad Peltier (TEC) se instaló estratégicamente en la cara posterior de la caja para garantizar una transferencia eficiente de calor del lado frío al lado caliente.

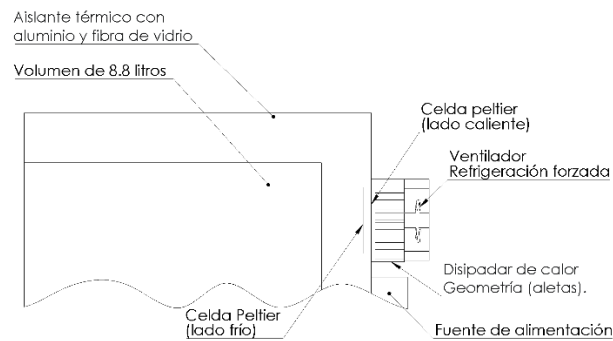


Figura 1. Partes del sistema

Especificación de Componentes

En la tabla 1, se muestra la selección de los componentes y sus especificaciones técnicas, necesarios para la fase de experimentación. La tabla 1, está basada en los cálculos de requerimiento de enfriamiento para contrarrestar la carga térmica por conducción, convección e infiltración.

Componente	Especificaciones
Celda Peltier (TEC)	Módulo de refrigeración portátil 12V – 240 W
Sistema de Disipación de Calor (Lado Caliente)	Material (aluminio). Geometría (aletas). Ventilador de refrigeración forzada.
Sistema de Disipación de Frío (Lado Frío)	Bloque de aluminio para transferir eficientemente el frío al volumen interno.
Sistema de Energía y Control	Microcontrolador Arduino Uno. Sensor de Temperatura (DS18B20). Sensor de voltaje y corriente (INA 219)
Fuente de poder	Fuente de alimentación de 12V CA 110V/220V a CC 0-12V, 40 a 480w

Tabla 1. Selección de componentes

Circuito de Control y Regulación de Temperatura

Se implementó un sistema de control para mantener la temperatura interna con alta precisión.

- Lógica de Control: Se utilizó un control ON/OFF para regular la potencia suministrada a la Celda Peltier. El set-point de temperatura se estableció en 7°C, dentro del volumen de conservación.
- Funcionamiento del Control: El sensor mide la temperatura interna. Si la temperatura supera el límite superior (8°C), o el umbral de control (6°C), el sistema enciende la TEC. Si la temperatura cae por debajo del límite inferior (2°C) o del umbral inferior (4°C), la TEC se apaga para prevenir la congelación.
- Fuente de Alimentación CD: La energía eléctrica para la TEC y el sistema de control fue suministrada por una fuente de 12 V.

Protocolo Experimental

Las pruebas experimentales se diseñaron para evaluar la capacidad del prototipo para cumplir con los requisitos de la cadena de frío.

Configuración de las Pruebas

- Instrumentación: Se colocó el sensor de temperatura dentro del volumen de almacenamiento y en el ambiente externo, además se colocó el sensor de

voltaje y corriente. Se utilizó la tarjeta Arduino Uno para registrar cada 5 minutos los datos de temperatura, así como también para medir el consumo de voltaje y corriente.

- Carga de Prueba: Las pruebas se realizaron con el gabinete vacío para determinar el rendimiento máximo.

Pruebas de Rendimiento

- Prueba de Enfriamiento: Se registró el tiempo que tarda (90 min) el sistema en alcanzar el rango de conservación (2 °C a 8 °C) partiendo de una temperatura ambiente (25 °C) estabilizada.
- Prueba de Estabilidad Térmica: Se monitorea la temperatura interna durante un período de 8 horas con una temperatura ambiente de 25 °C para determinar la variación de temperatura y garantizar que no se produzca congelación.
- Evaluación de la Eficiencia (COP): Se calculó el Coeficiente de Rendimiento (COP) del sistema, definido como la relación entre el calor extraído del lado frío (Q_c) y la energía eléctrica consumida por la TEC (P_{in}).

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}} \text{ (ec. 1)}$$

El valor de (Q_c) se calculó por el método de la curva de enfriamiento.

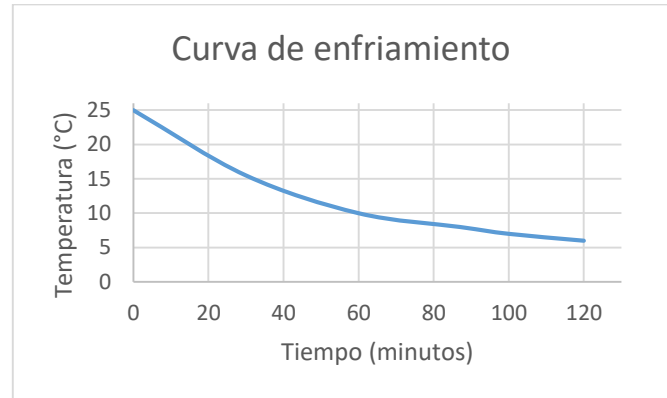
Resultados

Esta sección presenta los datos experimentales obtenidos al evaluar el prototipo del refrigerador con Celda Peltier bajo diferentes condiciones de carga y ambiente, enfocándose en la capacidad del sistema para cumplir con el rango de temperatura requerido para la conservación de vacunas (2 °C a 8 °C).

Pruebas de Enfriamiento Inicial

Como se puede visualizar en la gráfica 1 se reporta la curva de enfriamiento del sistema desde la temperatura ambiente estabilizada a 25 °C hasta

alcanzar el umbral de control de 6 °C. Es necesario mencionar que la adquisición de datos se llevó cada 5 minutos.



Gráfica 1. Curva de Enfriamiento y Estabilidad Térmica

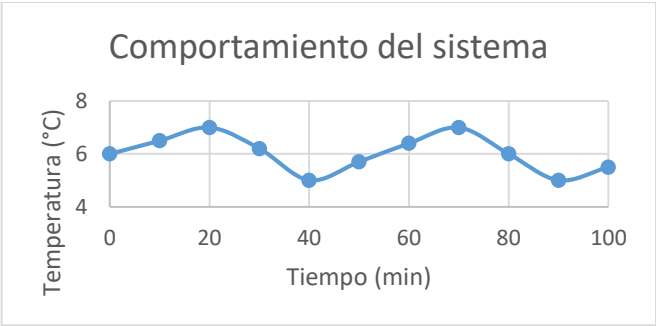
En la gráfica 1 podemos observar que se evaluó la temperatura interna (°C) vs tiempo (min). En la tabla 2 se reporta que el tiempo que tardó el sistema en alcanzar los 8 °C fue de (90 min) y para alcanzar el umbral de control (6 °C) fue de (120 min). La Temperatura Mínima alcanzada en el volumen de almacenamiento fue de (4 °C).

Condición de Carga	Temperatura Ambiente (T_{amb})	Tiempo a 8°C	Tiempo a 6°C
Sin Carga (Vacío)	25°C	90 minutos	120 minutos

Tabla 2. Resumen del desempeño del sistema

Estabilidad Térmica y Control de Temperatura

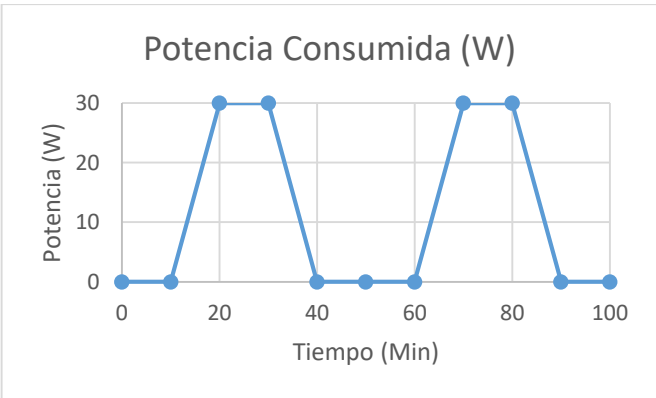
El objetivo de esta prueba consiste en evaluar la efectividad del control (ON/OFF) para mantener la temperatura (variación cíclica de la temperatura) dentro del rango seguro una vez alcanzado el estado estable.



Gráfica 2. Comportamiento del sistema en estado estable

En la gráfica 2 se muestra el rango de oscilación de la temperatura interna a lo largo del tiempo, una vez que se alcanza el estado estable y se reporta un valor de 2 °C. También se puede confirmar en la gráfica 2 que el sistema trabaja dentro del rango de seguridad (2 °C a 8 °C).

En la gráfica 3 se reporta la potencia consumida por la celda al llegar al estado estable y se observa un patrón de onda cuadrada.



Gráfica 3. Potencia eléctrica instantánea de la celda Peltier en estado estable

En la gráfica 3 se presenta la modulación por Estados (Control ON/OFF), se evaluó (Potencia vs. Tiempo), donde la potencia salta de 0W a 30W, indicando la naturaleza binaria del control. Esto muestra que la potencia solo está activa durante el 50% del ciclo.

Rendimiento Energético y Coeficiente de Rendimiento (COP)

El rendimiento termoeléctrico es crucial para el sistema por ello se realizó el cálculo del (COP) promedio del sistema en estado estable.

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}} \text{ (ec. 1)}$$
$$COP = \frac{6 \text{ W}}{30 \text{ W}} = 0.20$$

El valor de del COP fue de 0.2. Este valor representa la carga térmica real del gabinete e indica el alto esfuerzo requerido por el módulo Peltier.

Rendimiento Energético y Coeficiente de Rendimiento (COP)

En la tabla 3 se muestra la métrica referente a la eficiencia del prototipo en su rendimiento energético en el estado estable con carga térmica.

Métrica	Símbolo	Valor Reportado
Temperatura Ambiente Promedio	T _{amb}	25°C
Temperatura Interna Promedio	T _c	6 °C
Diferencia de Temperatura	ΔT=T _{amb} -T _c	19 °C
Potencia Eléctrica Promedio Consumida	P _{in}	30 W
Coeficiente de Rendimiento (COP)	COP	0.20

Tabla 3. Métricas de eficiencia del prototipo en régimen estable

La tabla 3 indica que el gabinete tiene una fuga térmica de 6 W en las condiciones de (ΔT=19 °C) debidas principalmente al aislamiento térmico.

Discusión

El resultado clave del estudio es la confirmación de la estabilidad térmica. El refrigerador demostró exitosamente su capacidad para mantener la temperatura interna consistentemente dentro del rango de (2 °C a 8 °C), un requisito fundamental de la cadena de frío. La baja oscilación de +-1 °C valida la efectividad de la implementación del circuito de control para regular la potencia de la TEC.

Limitaciones y Trabajo Futuro

Control Avanzado: Implementar un control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) en lugar de un control ON/OFF, para lograr una modulación de potencia más fina y reducir aún más las oscilaciones de temperatura en estado estable.

Disipación Activa: Investigar la optimización del disipador de calor del lado caliente para reducir la temperatura de la junta caliente, incrementando así el COP general del sistema.

Bibliografía

Afshari, F. (2020). Experimental study for comparing heating and cooling performance of thermoelectric peltier. *Politeknik Dergisi*, 23(3), 889-894.

Cuce, P. M. (2024). Design and experimental investigation of a thermoelectric vaccine cabinet integrated with photovoltaic and nanofluids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 149, 9955-9965.

Elnaggara, A. E. M., Sharaf, S., Abedel Rehim, Z. S., El-Bayoumi, M. A., Mustafa, H. M. M., & El Zoghby, H. M. (2024). Enhancing COP and Cooling Temperature for Peltier with Decreasing Power, and Chemical Composition Negative Effect by Optimizing Connection, Position Angle, and Voltages. *Egyptian Journal of Chemistry*, 67(SI), 453-459.

Gastelo-Roque, J. A. (2022). Design of a photovoltaic system using thermoelectric Peltier cooling for vaccines refrigeration. *[Título o Conferencia no especificada]*

Guzmán, J. J. M., Braga, S. L., Torres, J. C. Z., & Beltrán, H. J. D. C. (2020). Solar thermoelectric cooling technology applied to transport of vaccines in isolated communities. *E3S Web of Conferences*, 181, 02005.

Islam, M. S., Alam, A., & Kamal, S. M. M. (2017). PRESERVATION OF MEDICINES & VACCINES BY THERMOELECTRIC (PELTIER) REFRIGERATION UNIT IN BANGLADESH PERSPECTIVE. *[Tesis o Reporte, Instituto Militar de Ciencia y Tecnología]*.

Khan, Y., Khan, T. A., & Ilyas, M. (2024). Design and Experimentation of Peltier-Based Thermoelectric Cooling Vaccine Carrier Box. *Journal of Artificial Intelligence and Computing*, 2(1), 23-28.

Nikam, A. N., & Hole, J. A. (2014). A Review on use of Peltier Effects. *PRATIBHA: International Journal of Science, Spirituality, Business and Technology (IJSSBT)*, 2(2).

Reid, E., Barkes, J., Morrison, C., Ung, A., Patel, R., Rebarker, C., & Vasa, S. (2023). Design and Testing of a Thermoelectrically- Cooled Portable Vaccine Cooler. *Jyi Journal of Young Investigators*.

Biotecnologías para la depuración de aguas residuales en espacios educativos

R. Arciga-Pedraza^{1*}; C.G. Atanacio Leyva¹; J. Chávez López¹; P.G. Lezama-Mejía¹; V. Alegría Santillán¹; A. Solares-Basurto¹.

¹ Universidad Tecnológica de San Juan del Río, Querétaro, México.

*E-mail: racigap@utsjr.edu.mx

Resumen

El presente trabajo describe el diseño, construcción y evaluación de humedales artificiales como alternativa de tratamiento de aguas residuales en espacios educativos. Se construyeron dos modelos: un sistema base (humedal sin acoplamiento electroquímico) y un humedal acoplado a un sistema electroquímico con electrodos de aluminio reciclado. Se empleó agua residual sintética y se monitorearon parámetros físico-químicos (pH) y la generación de voltaje a lo largo del experimento. El voltaje del sistema acoplado aumentó desde 34 mV hasta 87 mV, mientras que el pH del sustrato evolucionó desde 9.98 hasta estabilizarse en aproximadamente 7.61–7.5, lo que indica una transición hacia condiciones más favorables para los procesos biogeoquímicos de depuración. Los resultados muestran que el acoplamiento electroquímico mejora la conductividad y la capacidad de extracción de energía del sistema, además de ofrecer un prototipo replicable y económico para uso educativo.

Palabras Clave: Humedal, biotecnología, espacios educativos, aguas residuales.

Abstract

This work presents the design, construction and evaluation of artificial wetlands for wastewater treatment in educational settings. Two models were developed: a base wetland (without electrochemical coupling) and a wetland coupled to an electrochemical system using recycled aluminum electrodes. Synthetic wastewater was used and physicochemical parameters (pH) and voltage generation were monitored during the experiment. Voltage in the coupled system increased from 34 mV to 87 mV, while substrate pH shifted from 9.98 to approximately 7.61–7.5, indicating stabilization toward conditions favorable for biogeochemical treatment processes. Results indicate that electrochemical coupling enhances conductivity and the system's energy recovery potential, providing a low-cost, replicable prototype for educational applications.

Key Words: Constructed wetland, biotechnology, educational spaces, wastewater.

Introducción

Escuelas rurales en México enfrentan deficiencias en sistemas de saneamiento, lo cual genera contaminación en suelos y cuerpos de agua cercanos (CONAGUA, 2020; SEMARNAT, 2021).

Los sistemas biotecnológicos como los humedales artificiales de flujo subsuperficial ofrecen una alternativa sostenible y eficaz, al lograr la remoción de contaminantes orgánicos, nutrientes y patógenos (Álvarez, et al 2019).

Según Álvarez, et al (2019), estos humedales no solo mejoran la calidad del agua tratada, sino que además son herramientas pedagógicas que fortalecen la cultura del agua y la educación ambiental en comunidades escolares. Así, su implementación representa una solución integral que un saneamiento, sostenibilidad y aprendizaje.

En este contexto, el presente trabajo se centra en el diseño, construcción e implementación de un prototipo biotecnológico de tratamiento de aguas residuales mediante un humedal artificial con vegetación macrófita, adaptado a espacios educativos rurales, que permita mejorar la calidad del agua descargada y funcione como herramienta educativa. Este estudio busca despertar la conciencia del cuidado del agua en los jóvenes universitarios explorando su potencial para el tratamiento de aguas residuales generadas dentro de la comunidad.

a) Principios y componentes de un sistema de humedales

Los sistemas de humedales, tanto naturales como contruidos, se caracterizan por su capacidad de integrar procesos físicos, químicos y biológicos que permiten la retención, transformación y eliminación de contaminantes, además de ofrecer servicios ecosistémicos clave como la regulación hídrica, el almacenamiento de carbono y la conservación de biodiversidad (Vymazal, 2011; Nahlik & Fennessy, 2016).

Los principios fundamentales de estos sistemas son:

1. Interacción agua-suelo-vegetación

La dinámica hídrica es el principio rector de los humedales. La saturación del suelo genera condiciones anaerobias que favorecen procesos como la desnitrificación (Hernández & Mitsch, 2007). La vegetación emergente actúa como filtro físico y biológico, promoviendo la retención de sedimentos y nutrientes (Vymazal, 2011).

2. Procesos de autorregulación ecológica

Los humedales poseen mecanismos naturales de resiliencia y restauración, aunque su capacidad puede verse comprometida por alteraciones antrópicas (Moreno-Mateos et al., 2012). La restauración ecológica debe considerar tanto la estructura como la funcionalidad del ecosistema.

3. Escala y contexto paisajístico

El valor ecológico de un humedal depende de su ubicación en el paisaje y su conectividad con otros ecosistemas. Humedales en zonas costeras o ribereñas tienen funciones específicas como la protección contra tormentas o la recarga de acuíferos (Mitsch & Gosselink, 2000).

A partir de estos principios, emergen los componentes clave que estructuran y sostienen el funcionamiento de los humedales. En primer lugar, la hidrología constituye el eje articulador del sistema: el régimen de inundación, la frecuencia y duración del anegamiento, así como la dinámica del flujo hídrico, determinan no sólo la composición biológica del humedal, sino también los procesos de transformación de nutrientes y materia orgánica (Hernández & Mitsch, 2007). Esta base hídrica condiciona el desarrollo de la vegetación, otro componente esencial, cuya presencia no sólo estabiliza el sustrato y reduce la erosión, sino que también actúa como filtro biológico, facilitando la retención de sedimentos, metales pesados y nutrientes (Vymazal, 2011).

El sustrato, por su parte, no es un simple soporte físico: su estructura y composición química influyen directamente en la actividad microbiana, que es responsable de procesos clave como la desnitrificación, la mineralización del fósforo y la degradación de materia orgánica (De la Rosa-Velázquez & Ruiz-Luna, 2023). Esta interacción

íntima entre suelo y microbiota permite que el humedal funcione como un reactor biogeoquímico autorregulado.

A su vez, la fauna asociada, que son, particularmente aves, anfibios, insectos y macroinvertebrados, cumple funciones ecológicas fundamentales, como la dispersión de semillas, el control biológico de plagas y la bioindicación del estado ecológico del sistema (Zedler & Kercher, 2005). La riqueza y diversidad de estas comunidades reflejan la salud del ecosistema y su capacidad de resiliencia frente a perturbaciones.

Finalmente, todos estos componentes convergen en la provisión de servicios ecosistémicos, que constituyen el vínculo tangible entre el humedal y las sociedades humanas. Desde la regulación del clima mediante el secuestro de carbono (Nahlik & Fennessy, 2016), hasta la mitigación de inundaciones, la recarga de acuíferos y el valor cultural y recreativo, los humedales se consolidan como infraestructuras naturales multifuncionales (Costanza et al., 1997; Mitsch & Gosselink, 2000).

Método

1. Diseño del prototipo (dimensiones, selección de materiales, tipo de vegetación)

Los contenedores utilizados fueron de plástico transparente, con medidas de 0.36 m de largo, 0.23 m de ancho y 0.15 m de alto. Primeramente se colocó una capa de piedra caliza de 10 mm de diámetro, posteriormente una capa de piedra caliza de 5 mm, una capa de 1 mm y finalmente una capa de tierra negra que contenía 6 plantas de bambúes de aproximadamente 20 cm de alto. A este primer sistema se le llamó sistema base; posteriormente se realizó un sistema similar intercambiando electrodos de aluminio reciclado después de la capa de 10 mm y el cátodo después de la capa piedra de 1 mm diámetro. Ambos electrodos se conectaron mediante alambre de cobre recubierto para completar el circuito (Figura 1).



Figura 1. Diseño del humedal. Fuente: Elaboración propia.

Se construyeron dos modelos descritos a continuación, utilizando capas de piedra caliza de diámetro de 20 mm, 5 mm y 1 mm. La distribución de capas fue la siguiente:

- **Primera capa:** Se colocaron 2.5 cm de altura de piedra de tamaño de 20 mm en el fondo del contenedor. Esto sirve como material de soporte y mejora la aireación.
- **Segunda capa:** Se añadieron 2.5 cm de altura de piedra caliza de un tamaño de 5 mm de diámetro distribuyendo de manera uniforme sobre la primera capa.
- **Tercera capa:** Se cubrió con 2.5 cm de grosor con piedra caliza de 1 mm de diámetro, distribuyendo de manera uniforme sobre la segunda capa de piedra.
- **Cuarta capa:** Por último, se colocó una capa de tierra negra de 2.5 cm de espesor, que proporcionará soporte a las plantas y microorganismos al sistema.

2. Construcción e instalación del micro humedal

Cada modelo de humedal, tanto el base como el del sistema electroquímico contienen agua residual

sintética. Al modelo del humedal con sistema electroquímico, se le colocaron un ánodo construido de viruta de aluminio reciclado y un cátodo de lámina de aluminio reciclado.

a) Preparación del agua residual sintética:

El agua residual sintética fue una adaptación basada en mezclas comunes de aguas residuales sintéticas usadas en la literatura (Krismastuti & Hamim, 2019), (Lim, et. al. 2012), (American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 2012), combinando rangos prácticos para uso en laboratorio. Como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Información para la preparación del agua sintética.	
Reactivo	Cantidad (g) para 1 litro
Cloruro de calcio (CaCl_2)	0.004
Cloruro de sodio (NaCl)	0.007
Potasio dihidrogenofosfato (KH_2PO_4)	0.028
Extracto de carne	0.11
Urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$)	0.03
Sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0.002
Peptona de carne	0.16

Fuente: Elaboración propia.

b) Suministro de agua residual sintética:

Los sistemas se alimentaron inicialmente con 3 litros de agua residual sintética, dando un tiempo de 72 horas de retención hidráulica.



Figura 2. Modelos de Sistemas de humedales. Fuente: Elaboración propia.

3. Monitoreo físico-químico del agua afluente y efluente

Después de las 72 horas se tomaron muestras de 40 ml de cada sistema para la evaluación de los parámetros fisicoquímicos; pH, Conductividad, Turbidez y Potencial a circuito abierto.

4.- Análisis de datos y evaluación de la eficiencia del sistema

El análisis de datos se realizó mediante el registro del voltaje generado y la medición del pH en ambos sistemas: el humedal base y el humedal acoplado al sistema electroquímico. Los valores de voltaje se obtuvieron con un voltímetro digital conectado a los electrodos de aluminio reciclado, mientras que el pH se determinó con un potenciómetro calibrado. Los resultados se organizaron en tablas y gráficas para comparar la eficiencia entre ambos modelos. El incremento del voltaje y la estabilización del pH hacia valores neutros indicaron un adecuado desempeño electroquímico y biológico del sistema acoplado.

5.- Sistematización y difusión de resultados, incluyendo elaboración de materiales educativos.

Los datos experimentales se sistematizaron mediante registros gráficos y fichas técnicas que documentaron las condiciones de operación, variaciones de pH y voltaje, y observaciones generales. Con el propósito de difundir los resultados, se elaboraron materiales educativos como guías de laboratorio, infografías y presentaciones didácticas que explican el principio de funcionamiento del humedal y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales. Estos recursos

fortalecen el aprendizaje práctico y la conciencia ambiental en los espacios educativos.

Resultados

En la Figura 3, se muestra como el pH de la celda electroquímica inicia en 8.11 y finaliza en 7.55 y el sistema base inicia en 7.98 y termina en 7.45. Cabe mencionar que el agua que se adicionó a los sistemas tenía un pH de 9.98, y los parámetros de aceptación de la NOM-001-SEMARNAT-2021 son de 6 a 9.

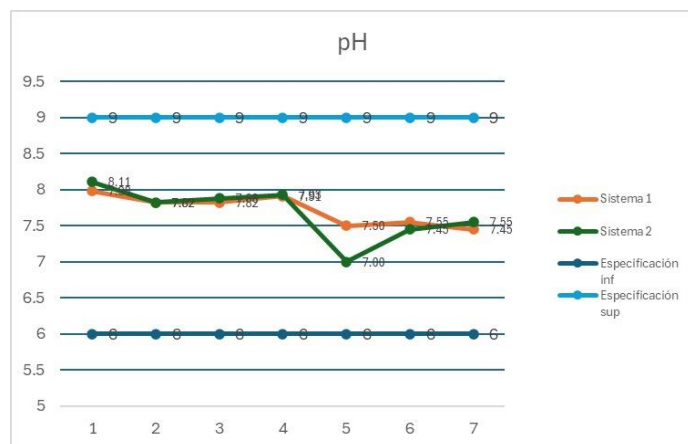


Figura 3. Comportamiento del pH en los sistemas de humedales. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4, se muestra el humedal acoplado a un sistema electroquímico con electrodos de aluminio reciclado, y en la Figura 5 se muestra el sistema base.

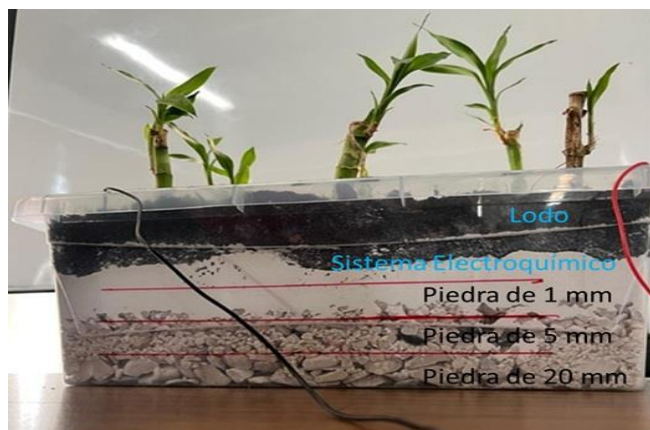


Figura 4. Humedal con sistema electroquímico. Fuente: Elaboración propia.



Figura 5. Humedal sistema base. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6 se muestra el comportamiento de la conductividad al paso del tiempo, en la gráfica se presentan los dos sistemas con los que se trabajó en el presente trabajo, el sistema 1 corresponde al sistema del humedal artificial base y el sistema 2, corresponde al sistema del humedal acoplado al sistema electroquímico. El sistema 1 inicia con una conductividad de 1883 μS y después de 7 mediciones se registró 1971 μS de conductividad. En el caso del sistema 2, se inicia con una conductividad de 1837 μS y finaliza con 1967 μS .

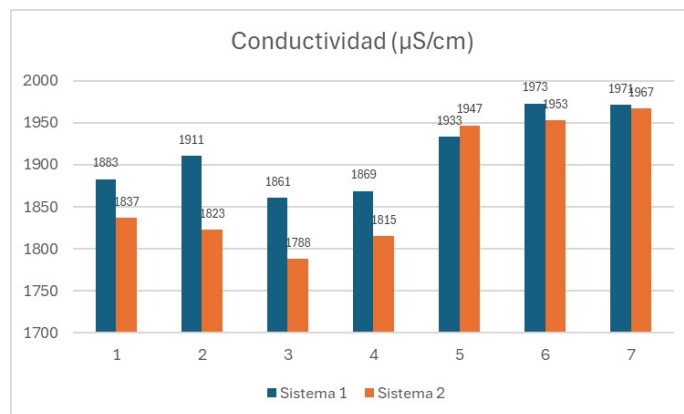


Figura 6. Conductividad eléctrica al paso del tiempo. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 7 se muestra el seguimiento a la turbidez en los sistemas de humedales, la NOM-001-

SEMARNAT-2021 especifica como parámetro de aceptación 5 NTU y en la gráfica se aprecia que el resultado para el sistema 1, inicia con 74.6 ntu y finaliza con 23 NTU, para el sistema 2 la turbidez inicia con 666 NTU y después de 3 mediciones la turbidez es de 44.4 NTU

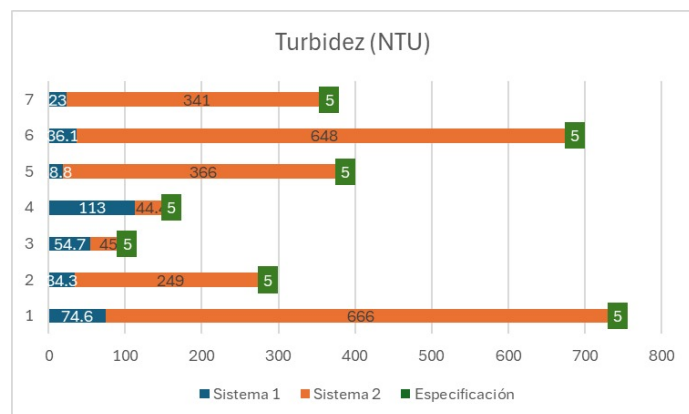


Figura 7. Parámetro de Turbidez en cada muestra. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8, se representa el comportamiento del voltaje en función del tiempo, se muestra el gráfico en aumento, iniciando con un potencial de 34 mV hasta llegar a 87 mV en el humedal con sistema electroquímico, se espera que con el paso del tiempo se obtenga el potencial característicos de los sistemas electroquímicos, llegando al menos a los 200 mV.

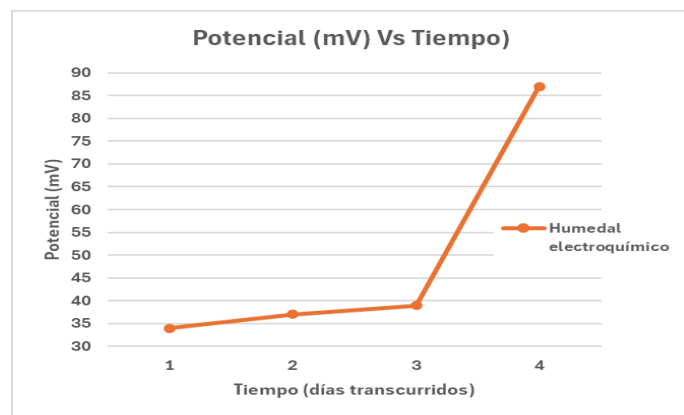


Figura 8. Parámetro de Potencial en el humedal electroquímico. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

La implementación de humedales artificiales acoplados a sistemas electroquímicos en espacios educativos rurales representa una estrategia integral y sostenible para el tratamiento de aguas residuales, la mejora de la calidad del agua y la reducción de contaminantes, con el valor añadido de generar energía limpia. Este enfoque no solo contribuye a mitigar el impacto ambiental de las instituciones educativas, sino que también fortalece la educación ambiental práctica, la apropiación tecnológica y la participación comunitaria. Los resultados obtenidos evidencian el potencial de esta solución para incidir positivamente en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente en lo relativo al acceso al agua limpia (ODS 6), educación de calidad (ODS 4) y acción por el clima (ODS 13). Se recomienda continuar con el desarrollo de proyectos piloto que integren criterios técnicos, pedagógicos y sociales, a fin de consolidar su viabilidad y escalabilidad en contextos rurales.

Agradecimientos

A la Universidad Tecnológica de San Juan del Río por permitir desarrollar este proyecto en sus instalaciones. A CONCYTEQ, por el apoyo económico para la realización del presente trabajo.

Bibliografía

- Álvarez, C., Ramírez, J., & Muñoz, M. (2019). Evaluación de plantas acuáticas en humedales construidos: Un enfoque de fitorremediación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(2), 725–737
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2020). *Programa Nacional Hídrico 2020–2024*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de https://datos.conagua.gob.mx/DatosAbiertos/PNH_Resume_n.pdf.
- Costanza, R., et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- De la Rosa-Velázquez, M. I., & Ruiz-Luna, A. (2023). Valoración social de humedales costeros en el noroeste de

- México. *Acta Universitaria*, 33, 146. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3889>
- Hernández, M. E., & Mitsch, W. J. (2007). Denitrification in created riverine wetlands. *Ecological Engineering*, 30(1), 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.11.001>
 - Krismastuti, F. S. H., & Hamim, N. (2019). Designing a formulation of synthetic wastewater as proficiency testing sample. *Accreditation and Quality Assurance*, 24(6), 311–316. <https://doi.org/10.1007/s00769-019-01399-3>
 - Lim, S., Kim, S., Yeon, K.-M., Sang, B.-I., Chun, J., & Lee, C.-H. (2012). Correlation between microbial community structure and biofouling in a laboratory-scale membrane bioreactor with synthetic wastewater. *Desalination*, 287, 209–215. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.09.030>
 - Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2000). The value of wetlands. *Ecological Economics*, 35(1), 25–33. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00165-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00165-8)
 - Moreno-Mateos, D., et al. (2012). Structural and functional loss in restored wetland ecosystems. *PLoS Biology*, 10(1), e1001247. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001247>
 - Nahlik, A. M., & Fennessy, M. S. (2016). Carbon storage in US wetlands. *Nature Communications*, 7, 13835. <https://doi.org/10.1038/ncomms13835>
 - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2021). *NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación*. Diario Oficial de la Federación. Recuperado de http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/semarnat001-2022_03.pdf
 - Vymazal, J. (2011). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Environmental Science & Technology*, 45(1), 61–69. <https://doi.org/10.1021/es101403q>
 - Zedler, J. B., & Kercher, S. (2005). Wetland resources. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 39–74. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144248>

Aplicación de $\text{ZnO/PrO}_2 + \text{Pr(OH)}_3$ en la degradación de colorantes en agua industrial bajo condiciones solares

Vanessa Olvera González¹, Natalia Correa López¹, Emilio Cruz Barrón¹, Mayte Mendoza Márquez¹, Juan Manuel Olivares-Ramírez¹, María Angélica Luján Vega¹, Víctor Manuel Ovando-Medina², Juan Carlos Santiago Cruz¹, Diana María Amaya Cruz³, Marcela Vargas Hernández³, Andrés Dector⁴, Zulma Flor Estrella Chavero^{1*}

¹Universidad Tecnológica de San Juan del Río, 76800 San Juan del Río, Querétaro, México.

²Ingeniería Química, Coordinación Académica Región Altiplano (COARA), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Carretera a Cedral KM 5+600, San José de las Trojes, Matehuala, 78700 San Luis Potosí, SLP, Mexico.

³Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Campus Amealco, Amealco, Querétaro 76010, México.

⁴SECIHTI-Universidad Tecnológica de San Juan del Río, 76800 San Juan del Río, Querétaro, México.

zfestrellac@utsjr.edu.mx*

Resumen

La síntesis reportada del compuesto $\text{ZnO/PrO}_2 + \text{Pr(OH)}_3$ se probó en la posible fotodegradación de colorantes presentes en agua residual industrial bajo irradiación solar. Se observó que, para una solución de agua industrial con presencia visual de colorantes, se logró el 0.6 % de fotodegradación después de dos días de exposición solar mientras ésta permaneció sin agitación; esta eficiencia aumentó al 36.3 % para cuando se llevó a cabo el mismo experimento, pero para una solución que fue agitada a velocidad constante a 620 nm.

Palabras clave: Fotodegradación; colorantes; irradiación solar; agua industrial textil.

Abstract

The reported synthesis of the $\text{ZnO/PrO}_2 + \text{Pr(OH)}_3$ composite was tested for the potential photodegradation of dyes present in industrial wastewater under solar irradiation. It was observed that for an industrial water solution with visible presence of dyes, 0.6 %, photodegradation was achieved after two days of solar exposure while the solution remained unstirred; this efficiency increased to 36.3 % when the same experiment was carried out for a solution stirred at constant speed at 620 nm.

Keywords: Photodegradation; dyes; solar radiation; textile industrial water.

Introducción

Actualmente diversas industrias, principalmente la textil, son responsables de un impacto ambiental que empeora cada día, especialmente en lo que respecta a la contaminación del agua, siendo la industria textil responsable del 20% de la contaminación del agua a nivel mundial (1). La producción de prendas implica el uso excesivo de agua y a su vez generan efluentes contaminantes, que comúnmente contienen colorantes sintéticos y otros compuestos que son altamente tóxicos para el medio ambiente. Los colorantes utilizados para adherir el color a las fibras, son compuestos que presentan una estabilidad química notable, esto dificulta su eliminación mediante los métodos convencionales que conocemos para tratar aguas residuales (2).

En este sentido, la fotodegradación ha sido reportada como un tratamiento eficaz debido a que los contaminantes orgánicos pueden mineralizarse completamente a CO_2 y agua, además que la disposición final de residuos no es una problemática, como ocurre en otros procesos (3). Anteriormente, se ha reportado la evaluación del nanocompuesto basado en óxido de zinc (ZnO) dopado con praseodimio ($\text{PrO}_2 + \text{Pr}(\text{OH})_3$) como alternativa fotocatalítica para la degradación de colorantes sintéticos (4). El presente trabajo sugiere una posible solución efectiva y sostenible para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria textil. La fotocatalisis heterogénea a través del aprovechamiento de la luz solar empleando las nanopartículas de $\text{ZnO}/\text{PrO}_2 + \text{Pr}(\text{OH})_3$ se presenta como una alternativa para descomponer contaminantes orgánicos como los colorantes en aguas residuales industriales textiles. La determinación por análisis de absorbancia a diferentes longitudes de onda para evaluar la reducción de color, se muestra como una técnica sencilla y rápida que apoya a considerar si la fotocatalisis heterogénea con o sin agitación puede ser considerada como una posible solución técnica y ecológica a un problema que afecta tanto a los ecosistemas como a la salud pública.

Método

A través de la decoloración del agua residual se evaluó el rendimiento fotocatalítico del compuesto $\text{ZnO}/\text{PrO}_2 + \text{Pr}(\text{OH})_3$. Dos experimentos de fotodegradación se llevaron a cabo añadiendo 0.1 g del compuesto $\text{ZnO}/\text{PrO}_2 + \text{Pr}(\text{OH})_3$ a 50 mL de la muestra de agua residual industrial, sonicadas durante 1 min y luego expuestas a la radiación solar natural entre las 10:30 am y las 3:30 pm durante dos días seguidos con una irradiancia de 608 W/m²). El primer experimento se dejó en modo estático durante los dos días, mientras que el segundo recibió agitación constante a 60 rpm durante los dos días, mientras estaban irradiados por el sol. Para ambos experimentos, durante el tiempo que duró el experimento a cada hora se recogieron muestras de aproximadamente 1,5 mL del sobrenadante. Posteriormente, cada día la muestra por triplicado, se analizó en un espectrofotómetro Hach para determinar la absorbancia a una longitud de onda de 436 nm, 525 nm y 620 nm, con el fin de evaluar la fracción residual de colorantes con respecto a la absorbancia a la misma longitud de onda de la solución inicial de colorante y de acuerdo a la NMX-AA-017-SCFI-2020 (5). Para cada experimento, con agitación o sin agitación, los 50 ml correspondientes de agua residual con el compuesto $\text{ZnO}/\text{PrO}_2 + \text{Pr}(\text{OH})_3$ fueron guardados a temperatura ambiente y tapada de la luz ambiental hasta el siguiente día para continuar con la experimentación. Como parte de la caracterización al agua residual se le midió temperatura, pH y conductividad eléctrica.

Resultados

El primer experimento correspondiente a los 50 mL de agua residual industrial con 0.1 g del compuesto $\text{ZnO}/\text{PrO}_2 + \text{Pr}(\text{OH})_3$ en modo estático en el horario de 10:30 am a 3:30 pm por dos días seguidos, mostró los siguientes valores de absorbancia a la longitud de onda de 436 nm, 525 nm y 620 nm para el día 1 según la Tabla 1.

Los valores de la Tabla 1 muestran como la disminución de la absorbancia para los tres valores de longitud de onda 436 nm, 525 nm y 620 nm, para el experimento en modo estático en el día 1 fue progresiva conforme pasaba el tiempo.

Ho ra	Temper atura (°C)	p H	Absorb ancia a 436 nm	Absorb ancia a 525 nm	Absorb ancia a 620 nm
10: 30 (i)	31°C	11 .3	2.013	1.628	3.275
11: 30	36°C	11 .1	2.010	1.628	3.267
12: 30	36°C	11 .0	2.008	1.627	3.264
13: 30	31°C	10 .9	2.007	1.625	3.264
14: 30	36°C	11 .0	1.998	1.622	3.263
15: 30	28°C	11 .0	1.996	1.622	3.254

Tabla 1. Monitoreo de absorbancia, temperatura y pH. Muestra sin agitación, día 1.

Como continuación de la experimentación, el mismo primer experimento correspondiente a los 50 mL de agua residual industrial con 0.1 g del compuesto ZnO/PrO₂ + Pr(OH)₃ en modo estático en el horario de 10:30 am a 3:30 pm expuesta al sol el primer día, se volvió a exponer el segundo día durante el mismo intervalo de tiempo, para este día 2 mostró los siguientes valores de absorbancia a la longitud de onda de 436 nm, 525 nm y 620 nm según la Tabla 2.

La Tabla 2 muestra el comportamiento de la absorbancia para los tres valores de longitud de onda 436 nm, 525 nm y 620 nm, para este día 2 del experimento sin agitación, y se observa como al igual que el primer día, esta absorbancia fue progresiva en disminución conforme pasaba el tiempo.

Ho ra	Temper atura (°C)	p H	Absorb ancia 436 nm	Absorb ancia 525 nm	Absorb ancia 620 nm
10: 30 (i)	22°C	9. 4	1.954	1.702	3.267
11: 30	35°C	9. 3	1.947	1.695	3.258
12: 30	40°C	9. 3	1.922	1.671	3.175
13: 30	43°C	9. 0	1.865	1.573	2.696
14: 30	27°C	8. 5	1.807	1.503	2.517

Tabla 2. Monitoreo de absorbancia, temperatura y pH. Muestra sin agitación, día 2.

Por otra parte, el segundo experimento en modo agitación correspondiente a los 50 mL de agua residual industrial con 0.1 g del compuesto ZnO/PrO₂ + Pr(OH)₃ expuesto al sol en un horario de 10:30 am a 3:30 pm pm por dos días seguidos, mostró los siguientes valores de absorbancia a la longitud de onda de 436 nm, 525 nm y 620 nm para el día 1 según la Tabla 3.

Ho ra	Temper atura (°C)	p H	Absorb ancia a 436 nm	Absorb ancia a 525 nm	Absorb ancia a 620 nm
10: 30 (i)	31°C	11 .3	1.996	1.705	3.275
11: 30	35°C	11 .2	1.987	1.616	3.257
12: 30	36°C	11 .0	1.981	1.607	3.217
13: 30	30°C	11 .0	1.964	1.591	3.209
14: 30	35°C	11 .0	1.953	1.586	3.151
15: 30	28°C	10 .9	1.918	1.580	3.003

Tabla 3. Monitoreo de absorbancia, temperatura y pH. Muestra con agitación, día 1.

Así mismo para llevar a cabo la continuación de la experimentación el día 2, el mismo experimento en agitación correspondiente a los 50 mL de agua residual industrial con 0.1 g del compuesto $\text{ZnO/PrO}_2 + \text{Pr(OH)}_3$ se volvió a exponer al sol en el horario de 10:30 am a 3:30 pm, para este día 2 mostró los siguientes valores de absorbancia a la longitud de onda de 436 nm, 525 nm y 620 nm según la Tabla 4.

Ho ra	Temper atura (°C)	p H	Absorb ancia a 436 nm	Absorb ancia a 525 nm	Absorb ancia a 620 nm
10: 30 (i)	22°C	9. 3	1.948	1.693	3.245
11: 30	34°C	9. 3	1.865	1.594	2.672
12: 30	38°C	9. 2	1.728	1.469	2.328
13: 30	39°C	9. 0	1.698	1.421	2.219
14: 30	28°C	8. 6	1.655	1.358	2.067

Tabla 4. Monitoreo de absorbancia, temperatura y pH. Muestra con agitación, día 2.

Discusión

Al igual que en el primer experimento en este segundo experimento con agitación constante para el día 1 y el día 2 arrojó una disminución de la absorbancia para los tres valores de longitud de onda 436 nm, 525 nm y 620 nm, demostrando que está ocurriendo una degradación de los colorantes.

Es notable que el día 2, para ambos experimentos: estático o con agitación, el valor de la absorbancia al comenzar el experimento no fue la misma con la que se frenó el experimento en el día 1; lo anterior puede deberse a que al frenarse la reacción que se manifiesta por medio de la activación de la luz solar, los contaminantes presentes en el agua siguen interactuando entre si creando complejos nuevos.

Sin embargo, como se describió para ambos experimentos al final del día 2, la disminución de la absorbancia para los tres valores de longitud de onda 436 nm, 525 nm y 620 nm en el experimento estático respecto al día 1 y día 2, demuestra que se está llevando una degradación de los colorantes. Esto fue demostrado por Ovando-Medina et al., cuando se llevó a cabo la foto degradación solar de mezclas de colorante aniónico RR-120 y catiónico MB; por lo cual pudiera estar sucediendo algo similar en este trabajo realizado con agua residual industrial real. En ese trabajo los autores explicaban que los colorantes RR-120 y MB bajo irradiación solar natural utilizando el compuesto sintetizado $\text{ZnO/PrO}_2 + \text{Pr(OH)}_3$ como catalizador, mostraron una decoloración casi total después de 45 min de irradiación solar para el colorante RR-120, mientras que para el colorante catiónico MB se observó una alta decoloración después de 120 min. La decoloración fue explicada mediante disminución de espectros de picos correspondientes a anillos aromáticos y al cromóforo azoico de la molécula de colorante catiónico, respectivamente y a grupos azo, para el caso del colorante RR-120. Y se explicó, que la ruptura de enlaces $\text{N}=\text{N}$ da como resultado la formación de aminas o amidas; aminas que pueden aceptar protones en condiciones de acidez débil y pueden adsorberse en sitios con carga negativa. Y que la oxidación de las amidas conduce a la producción de derivados carboxílicos cambiando las condiciones a acidez débil. El nitrógeno en los enlaces $\text{N}=\text{N}$ se puede reducir y, al aceptar hidrógeno, el enlace azo se convierte en un enlace simple y luego en aminas (6).

En nuestro caso, la absorbancia para el primer experimento (estático) y el segundo experimento (con agitación constante) en los tres valores de longitud de onda 436 nm, 525 nm y 620 nm disminuyó para el agua residual industrial como se observa en la figura 1a. En esta figura se observa que la agitación constante favoreció un aumento de la eficiencia del

proceso, lo cual puede ser debido a la dispersión homogénea de las nanopartículas, lo cual aseguro una mejor exposición de las mismas al sol, algo que no ocurrió con la muestra estática y en la cual las nanopartículas al pasar el tiempo se asentaron en el fondo.

De la misma manera, en este caso del agua residual industrial, se observó un cambio visual en la coloración del agua después de la exposición al sol para el primer experimento (estático) y segundo experimento (con agitación constante), siendo más notorio en éste último, según la Figura 1b, lo que sugiere resultados eficientes.

Conclusiones

El tratamiento utilizando un nanocompuesto de $\text{ZnO/PrO}_2 + \text{Pr(OH)}_3$ con exposición a la luz solar empleado en este proyecto, puede ser una solución para eliminar colorantes sintéticos de las aguas residuales generadas por la industria textil. Es decir, que la fotocatalisis heterogénea resultó ser una técnica alternativa y ecológica prometedora para abordar la contaminación de este tipo de agua del sector textil.

Los resultados muestran que el uso del nanocompuesto $\text{ZnO/PrO}_2 + \text{Pr(OH)}_3$ en presencia de luz solar mejora significativamente la eficiencia en la degradación de colorantes, especialmente cuando se usa agitación, lo que representa un gran avance hacia la búsqueda de tecnologías más sostenibles. Este proyecto coloca las bases para una posible implementación de este tratamiento a escalas mayores que no solo ayudaría a reducir la contaminación en las fuentes de agua, sino que también podría mejorar la salud de los ecosistemas acuáticos.

Bibliografía

1. Parlamento Europeo. (2020, 8 de diciembre). *El impacto de la producción textil y de los residuos en el medio ambiente*. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20201208STO93327>
2. Forgacs, E., Cserhádi, T., & Oros, G. (2004). Removal of synthetic dyes from wastewaters: A review. *Environment International*, 30(7), 953–971. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.02.001>
3. Lima, C. S., Batista, K. A., García Rodríguez, A., Souza, J. R., & Fernandes, K. F. (2015). [Artículo sobre energía solar]. *Solar Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.01.038>
- (Nota: El título completo del artículo no aparece en la referencia original; si lo tienes, puedes integrarlo para mayor precisión.)
4. Ovando-Medina, V. M., Villabona-Leal, E. G., Antonio-Carmona, I. D., Martínez-Gutiérrez, H., Romero-Galarza, A., Dector, A., Mendoza-León, H. F., & Olivares-Ramírez, J. M. (2023). Synthesis of $\text{ZnO/PrO}_2 + \text{Pr(OH)}_3$ nanoparticles for solar photodegradation of anionic and cationic mixed dyes. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 34, 1004. <https://doi.org/10.1007/s10854-023-10424-8>
5. Secretaría de Economía. (2020). *NMX-AA-017-SCFI-2020: Análisis de agua – Medición de color verdadero en aguas naturales, residuales y residuales tratadas: Método de prueba*. Diario Oficial de la Federación, 17 de julio de 2020. https://www.asf.gob.mx/Trans/Informes/IR2021a/Documentos/Auditorias/2021_0337_a.pdf
6. Tahir, H. (2017). [Artículo en Journal of Environmental Science and Natural Resources International]. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 2(2). <https://doi.org/10.19080/ijesnr.2017.02.555583>

Aceites esenciales en el desarrollo de protectores solares: aplicaciones, retos y perspectivas futuras

Anaya-Moreno GC¹, Santos-Cruz GA¹, Trejo-Chacón M¹, Vélez-Cervantes KD¹, González-Lugo RA¹, Olguín-López NB¹

¹División de Química y Energías Renovables, Universidad Tecnológica de San Juan del Río

Correspondencia: nbolguinl@utsjr.edu.mx

Resumen

A lo largo de la historia, los seres humanos han recurrido continuamente a extractos de plantas y flores como elementos esenciales en el desarrollo y uso de productos cosméticos destinados al cuidado de la piel. El interés por alternativas naturales a los foto-protectores sintéticos ha impulsado la investigación sobre el potencial de los aceites esenciales en la protección solar. Los aceites esenciales poseen actividades antifúngicas, antimicrobianas, antivirales, anticancerígenas y antioxidantes, y pueden tratar la inflamación de la piel, ayudar a evitar cicatrices, disminuir imperfecciones, suavizar arrugas y hacer desaparecer las manchas de la edad. Recientemente, diversos estudios han revelado que ciertos aceites esenciales, también pueden mejorar el factor de protección solar (FPS) en formulaciones cosméticas y farmacéuticas. Este artículo revisa la evidencia más reciente sobre el empleo de aceites esenciales en bloqueadores solares, sus funciones en las formulaciones y su aplicabilidad clínica, haciendo énfasis en extractos como los de *Melaleuca*, *Lavandula* y *Lippia*, adicionalmente discute sus ventajas y limitaciones frente a los filtros tradicionales.

Palabras clave: Aceites esenciales, bloqueadores solares, protección UV, antioxidantes, fotoprotección, FPS

Abstract

Throughout history, humans have continuously turned to plant and flower extracts as essential elements in the development and use of cosmetic products intended for skin care. Interest in natural alternatives to synthetic photoprotectors has driven research into the potential of essential oils in solar protection. Essential oils possess antifungal, antimicrobial, antiviral, anticancer, and antioxidant activities, and they can treat skin inflammation, help prevent scarring, reduce imperfections, smooth wrinkles, and make age spots disappear. Recently, several studies have revealed that certain essential oils can also enhance the sun protection factor (SPF) in cosmetic and pharmaceutical formulations. This article reviews the most recent evidence on the use of essential oils in sunscreens, their roles within formulations, and their clinical applicability, emphasizing extracts such as those from *Melaleuca*, *Lavandula* and *Lippia*. It also discusses their advantages and limitations compared to traditional filters.

Keywords: Essential oils, sunscreens, UV protection, antioxidants, photoprotection, SPF

Introducción

La radiación ultravioleta (UV) es una de las principales causas del envejecimiento prematuro de la piel y del desarrollo de cánceres cutáneos como el melanoma (OMS). La radiación UV solar se clasifica en UV-A, UV-B y UV-C, siendo la UV-A y la UV-B las únicas que penetran la atmósfera y dañan la piel, mientras que la UV-C es absorbida. UV-B causa principalmente quemaduras y daños superficiales, y UV-A penetra más profundamente en la piel, contribuyendo al envejecimiento y al daño celular, incluyendo el riesgo de cáncer cutáneo (Lohani et al., 2019). El uso de protectores solares en cosmecéuticos para el cuidado de la piel es una estrategia eficaz para reducir el daño cutáneo mediado por especies reactivas de oxígeno (ROS) generadas por la radiación ultravioleta (UV). La efectividad de un protector solar se expresa mediante el factor de protección solar (FPS). Según la FDA, el FPS es una medida de cuánta radiación UV se necesita para producir quemaduras en la piel protegida (con protector solar) en relación con la cantidad necesaria para producir quemaduras en la piel desprotegida. Un valor de FPS más alto indica una mayor eficacia en la protección contra las quemaduras solares (FDA). Aunque

el uso de bloqueadores solares es fundamental para la prevención del daño fotoinducido, las preocupaciones ambientales y sanitarias asociadas al uso crónico de ciertos filtros sintéticos han motivado la búsqueda de alternativas con ingredientes derivados de fuentes naturales, como los aceites esenciales.

Los aceites esenciales han tenido un papel importante durante siglos en distintas culturas, ya que se han utilizado por sus beneficios tanto medicinales como terapéuticos, mejorando la vida de las personas en ámbitos cosmecéuticos, nutricionales y religiosos (Udourioh et al., 2025). Estos, son mezclas complejas con numerosos beneficios terapéuticos y cosméticos; se emplean en cremas y lociones para tratar y prevenir problemas de la piel, y su capacidad antioxidante los convierte en una alternativa natural frente a ingredientes sintéticos que pueden ser perjudiciales para la salud

(Guzman y Lucia, 2021). La composición química de cada aceite esencial determina su pureza y valor terapéutico, pues cada mezcla de componentes produce diferentes efectos biológicos. Gracias a esta versatilidad, los aceites esenciales han sido objeto de numerosas investigaciones sobre sus posibles aplicaciones, demostrando actividades antifúngicas, antimicrobianas, antivirales, anticancerígenas y antioxidantes. Además, pueden tratar inflamaciones de la piel, favorecer la cicatrización, reducir imperfecciones y suavizar arrugas y manchas de la edad (de Souza et al., 2023). Por lo general, pueden añadirse a cremas, lociones o aceites portadores para uso tópico, y su aplicación diaria ayuda con dermatitis, psoriasis, irritaciones, alteraciones pigmentarias y quemaduras solares. Estas múltiples actividades sustentan su empleo en aromaterapia, cosmética y medicinas complementarias (Lohani et al., 2019). La capacidad antioxidante de los aceites esenciales es especialmente valiosa en cosméticos porque protege los ingredientes del producto y contribuye a prevenir daños en la piel, retrasando el envejecimiento y mejorando su aspecto. El uso de aceites esenciales como antioxidantes naturales es relevante principalmente porque ciertos antioxidantes sintéticos, como el BHT y el BHA, se consideran potencialmente nocivos para la salud (EFSA, 2012; Lanigan y Yamarik 2002). Por ello, en este estudio se revisó y sintetizó la literatura científica disponible para identificar, analizar y comparar los estudios que evalúan el uso de aceites esenciales en el cuidado de la piel, enfocándose en sus mecanismos de acción, las principales especies que han sido evaluadas y los retos para el empleo de estos en productos cosméticos.



Figura 2. Principales aceites esenciales estudiados en el cuidado de la piel

Metodología

La metodología para este artículo de revisión incluyó:

Búsqueda bibliográfica sistemática en bases de datos científicas reconocidas (PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar) utilizando palabras clave relevantes: “aceites esenciales”, “protección UV”, “anti envejecimiento”, “cicatrizante”, “antiinflamatorio”, así como términos relacionados con el cuidado de la piel. Se establecieron criterios de inclusión y exclusión para seleccionar estudios originales, revisiones y meta-análisis relacionados con los efectos, mecanismos de acción y aplicaciones de los aceites esenciales en productos dermocosméticos.

La extracción de datos incluyó: autores, año de publicación, tipo de estudio, principales aceites esenciales evaluados, efectos destacados (UV, anti envejecimiento, cicatrizante, antiinflamatorio), mecanismos de acción de los efectos farmacológicos y funciones de los aceites esenciales en formulaciones cosméticas.

Función de los aceites esenciales en formulaciones para el cuidado de la piel

Los protectores solares son productos de aplicación tópica que sirven para resguardar la piel de los daños provocados por la radiación ultravioleta (UV). Los efectos nocivos de la luz solar UV sobre la piel —como el envejecimiento irreversible y diversas patologías dérmicas— se acumulan con el tiempo, no pueden revertirse y representan actualmente un serio problema de salud. Esta

radiación puede generar cambios bioquímicos y fisiológicos, como la alteración de las fibras de colágeno y elastina, la pérdida del tejido adiposo subcutáneo y modificaciones con potencial cancerígeno. Además de prevenir el cáncer de piel, los protectores solares evitan otras afecciones cutáneas relacionadas con la radiación solar, tales como envejecimiento prematuro, formación de arrugas, pigmentación no deseada y disminución del colágeno. En zonas con alta exposición solar, su uso constituye una medida preventiva muy efectiva para reducir estos riesgos (Cefali et al., 2016).

Los aceites esenciales pueden cumplir varias funciones dentro de estas formulaciones:

- Aumentar el FPS: Su inclusión incrementa el factor de protección solar de las cremas.
- Potenciar la acción antioxidante: Reducen lesiones genéticas inducidas por UV y previenen la formación de productos foto-inducidos en el ADN.
- Atenuar la carga sintética: Permiten reducir las concentraciones de filtros sintéticos.
- Mejorar las propiedades sensoriales: Su aroma y efecto refrescante hacen más atractiva la aplicación tópica.
- Uso de aceites esenciales en bloqueadores solares.

Propiedades y mecanismos de acción

La radiación UVA puede provocar diversas respuestas biológicas, que van desde el eritema hasta el fotoenvejecimiento, debido a que este componente del espectro UV solar penetra la dermis y alcanza el tejido subcutáneo, afectando tanto la epidermis como la dermis. Además, induce la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) como oxígeno singlete, radical hidroxilo, anión superóxido y peróxido de hidrógeno, junto con la liberación de hierro libre, lo que ocasiona altos niveles de estrés oxidativo. El oxígeno singlete recibe especial atención por su papel en el daño solar cutáneo, ya que es probablemente la especie más abundante tras la exposición a la radiación solar. Ciertas moléculas presentes de

forma natural en la piel (como triptófano o riboflavina) o introducidas de forma externa (mediante filtros UV) pueden absorber radiación UVB y UVA, transferir esa energía al oxígeno y generar oxígeno singlete. Esta especie reactiva interactúa rápidamente con las moléculas próximas, alterando la estructura celular y la matriz extracelular (Cefali et al., 2016). Las células de la piel llamadas queratinocitos poseen una amplia reserva de antioxidantes y enzimas protectoras contra el estrés oxidativo. No obstante, cuando la radiación UVA genera grandes cantidades de ROS, estas defensas pueden ser superadas, ocasionando daños extensos en las células (Tarozzi et al., 2005). Las cantidades excesivas de especies reactivas de oxígeno (ROS) pueden provocar la peroxidación de lípidos, glicación, oxidación o nitración de proteínas, inactivación de enzimas, daño al ADN y otras alteraciones en los orgánulos celulares (Hadi et al., 2007).

Los aceites esenciales se caracterizan por contener mezclas variables de compuestos bioactivos, principalmente terpenoides, en especial monoterpenos y sesquiterpenos. Algunos de ellos también contienen compuestos no terpénicos que se generan a través de la vía del fenilpropanoide, como el eugenol, la cinamaldehído y el safrol (Dhifi et al., 2016). Estos compuestos contribuyen tanto a la absorción de radiación UV como a atrapar radicales libres e inhibir el crecimiento de nuevos radicales, este proceso actúa como un mecanismo de "terminación" de la cadena de reacciones de oxidación, frenando el daño oxidativo en la piel, complementando su acción como filtros solares (Malik et al., 2022). Además, los aceites esenciales y sus componentes han demostrado actividades antibacterianas, antifúngicas, antivirales y antiparasitarias, sustentadas en su capacidad de alterar membranas, inhibir enzimas y modular señales celulares (de Souza et al., 2023).

La piel se compone principalmente de epidermis y dermis, actuando como barrera protectora frente a infecciones y factores ambientales. La degradación de colágeno y elastina en la dermis por acción de metaloproteinasas favorece la aparición de arrugas y envejecimiento cutáneo. La tirosinasa, esencial en la producción de melanina, puede causar manchas

si está desregulada. Por ello, ingredientes inhibidores de collagenasa, elastasa y tirosinasa, como el aceite esencial de canela, resultan relevantes para el cuidado de la piel y la prevención del envejecimiento y la hiperpigmentación (Wanakhachornkrai et al., 2020). Por otro lado, la melanina, el pigmento principal de la piel, juega un papel esencial en la protección frente a la radiación ultravioleta. No obstante, su sobreproducción y acumulación pueden originar manchas pigmentadas y alteraciones en la coloración cutánea como el melasma, las pecas, la melanodermia postinflamatoria y el lentigo solar. La biosíntesis de melanina está regulada por enzimas del proceso de melanogénesis, especialmente la tirosinasa, que cataliza dos reacciones clave. Así, la tirosinasa es una enzima reguladora e indispensable para el control de la melanogénesis y se ha reportado que los aceites esenciales de *Alpinia zerumbet* ejercen actividades antioxidantes, antienvjecimiento y antimelanogénicas al inhibir la tirosinasa y reducir la síntesis de melanina (Be Tu y Tawata, 2015). Además, el timol y el carvacrol, componentes principales de diversos aceites esenciales, también son capaces de actuar en las tres fases de la cicatrización de heridas. En la primera fase, muestran un efecto modulador sobre las citocinas inflamatorias, controlan el estrés oxidativo y poseen un notable poder antimicrobiano. Durante la segunda fase, favorecen la reepitelización, la angiogénesis y el desarrollo del tejido de granulación. Finalmente, en la tercera fase, mejoran el depósito de colágeno y regulan el crecimiento de fibroblastos y queratinocitos (Costa et al., 2019). Respecto a la respuesta inflamatoria, esta se inicia con la activación celular y la liberación de mediadores como las citocinas proinflamatorias (TNF- α , IL-1 β , IL-6, IL-8), que estimulan la actividad de macrófagos y mastocitos. Estos, a su vez, activan células endoteliales, aumentan la permeabilidad vascular, provocan la salida de líquidos y proteínas, e inducen la migración de células inmunitarias al sitio afectado. Si este proceso no se regula adecuadamente, puede derivar en daño tisular. En este contexto, numerosos estudios han documentado los beneficios de los aceites esenciales en el control de la inflamación,

respaldo que proviene tanto de la medicina tradicional como de investigaciones científicas recientes. La acción antiinflamatoria de los aceites se explica por diferentes mecanismos: inhibición de la liberación de mediadores inflamatorios por células inmunes, interacción con receptores sensoriales, supresión del inflammasoma NLRP3, regulación de la vía de señalización NF- κ B y el equilibrio de la microbiota y la función de la barrera intestinal (de Souza et al., 2023).

Aceites esenciales: propiedades y usos en el cuidado de la piel



Figura 2. Aceites esenciales: propiedades y usos en el cuidado de la piel

Los aceites esenciales mas estudiados para el cuidado de la piel

Los aceites esenciales como la lavanda (*Lavandula angustifolia*), árbol de té (*Melaleuca alternifolia*), manzanilla (*Matricaria chamomilla*), menta (*Mentha piperita*), cáñamo (*Cannabis sativa*), *Euphorbia characias*, hierba de San Guillermo (*Agrimonia eupatoria*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*) son ampliamente utilizados en dermocosmética debido a sus variadas propiedades terapéuticas (Pezantes-Orellana et al., 2025).

El aceite de lavanda destaca por sus efectos calmantes, antiinflamatorios y antimicrobianos, lo que lo hace eficaz para tratar el acné, aliviar irritaciones y favorecer la reparación de la barrera cutánea (Mori et al., 2016). El aceite de árbol de té, rico en terpenos como el terpinen-4-ol, es un potente agente antibacteriano y antifúngico, empleado frecuentemente en productos para el acné y el cuero cabelludo (Radice et al. 2016). Un estudio evidenció que cuando el aceite fue

incorporado a nanoemulsiones tópicas, logró una mejora del FPS respecto al control sin aceite y mostró actividad antioxidante significativa (IC50 para ABTS de 5.30 μ g/mL para la nanoemulsión), así como selectividad citotóxica contra células de melanoma sin dañar células normales (de Souza et al., 2023). El aceite de manzanilla, gracias a su alto contenido de bisabolol, reduce el enrojecimiento y la inflamación, siendo especialmente útil en pieles sensibles o con tendencia al eccema (Sah et al., 2022). Los aceites de menta y eucalipto aportan sensación refrescante y efectos antimicrobianos; suelen incorporarse a productos para piel grasa o congestionada por su capacidad para regular la producción de sebo y combatir el exceso microbiano (Taherpour et al. 2017). Además, aceites como los de *Agrimonia eupatoria*, *Bursera morelensis* y *Jatropha neopauciflora* favorecen la cicatrización y regeneración de tejidos. Para la fotoprotección y el tratamiento de la hiperpigmentación, aceites como *Astragalus gombiformis* y *Euphorbia characias* ofrecen una alta protección ante los rayos UV, actuando como filtros solares naturales. En el caso de la despigmentación cutánea, aceites como los de *Aerva lanata* y *Schisandra chinensis* muestran una potente acción anti-tirosinasa, disminuyendo la síntesis de melanina y mejorando el tono disparejo de la piel (Radice et al. 2016).

Adicionalmente, otros estudios han reportado FPS elevados con aceites de semilla de zanahoria (FPS hasta 18.80 en evaluaciones espectrales) y semilla de frambuesa (FPS entre 28 y 50), comparables a filtros minerales. Estas formulaciones han demostrado absorción en el rango UVA y UVB, contribuyendo tanto a la prevención de daño oxidativo como a la eficacia protectora ante la radiación (Siddique, 2024).

Destaca también el empleo de aceites esenciales de especies del género *Lippia*, que han demostrado efectos antigenotóxicos y mejoría en la integridad celular tras exposición ultravioleta (Quintero et al., 2017).

Limitaciones y retos

Aunque los aceites esenciales suelen ser seguros en los productos cosméticos y han demostrado eficacia en ensayos científicos, su regulación es escasa ya que la FDA no exige aprobación previa mientras se cumpla con el etiquetado (Pezantes-Orellana et al., 2025). El interés en alternativas naturales ha impulsado su uso, pero para evitar efectos adversos, la Asociación Internacional de Fragancias ha establecido normas sobre niveles y tipos de ingredientes alergénicos permitidos. Por otro lado, la mayoría de los aceites esenciales muestran factores de protección solar (FPS) inferiores a los mínimos recomendados para utilizarse como exclusivos filtros solares ($FPS \geq 15$) (Vella et al., 2021). Además, la variabilidad en composición, estabilidad y seguridad dermatológica limita su empleo a coadyuvantes en formulaciones fotoprotectoras, y no como sustitutos. Por ello, es necesario realizar estudios clínicos adicionales para confirmar su eficacia y seguridad en la población, así como para evaluar posibles riesgos de toxicidad cutánea a largo plazo.

Conclusión

Los aceites esenciales representan una opción valiosa y sostenible para potenciar la actividad protectora de las formulaciones solares, actuando fundamentalmente como aditivos antioxidantes y coadyuvantes en la mejora del FPS. Aunque su eficacia como únicos filtros es limitada, su integración racional con filtros aprobados permite el desarrollo de productos más seguros para el usuario y menos dañinos para el medio ambiente. La investigación futura debe centrarse en la estandarización, control de calidad y validación clínica de estas formulaciones.

Referencias

Be Tu, P. T., & Tawata, S. (2015). Anti-oxidant, anti-aging, and anti-melanogenic properties of the essential oils from two varieties of *Alpinia zerumbet*. *Molecules*, 20(9), 16723-16740.

Cefali, L. C., Ataide, J. A., Moriel, P., Foglio, M. A., & Mazzola, P. G. (2016). Plant-based active photoprotectants for sunscreens. *International Journal of Cosmetic Science*, 38(4), 346-353.

Costa, M. F., Durço, A. O., Rabelo, T. K., Barreto, R. D. S. S., & Guimarães, A. G. (2019). Effects of Carvacrol, Thymol and essential oils containing such monoterpenes on wound healing: A systematic review. *Journal of pharmacy and pharmacology*, 71(2), 141-155.

de Sousa, D. P., Damasceno, R. O. S., Amorati, R., Elshabrawy, H. A., de Castro, R. D., Bezerra, D. P., ... & Lima, T. C. (2023). Essential oils: Chemistry and pharmacological activities. *Biomolecules*, 13(7), 1144.

Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., & Mnif, W. (2016). Essential oils' chemical characterization and investigation of some biological activities: A critical review. *Medicines*, 3(25).

EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). (2012). Scientific opinion on the reevaluation of butylated hydroxy- toluene BHT (E 321) as a food additive. *EFSA Journal*, 10, 2588-2630.

Guzmán, E., & Lucia, A. (2021). Essential oils and their individual components in cosmetic products. *Cosmetics*, 8(4), 114.

Hadi, S., Bhat, S., Azmi, A., Hanif, S., Shamim, U., & Ullah, M. (2007). Oxidative breakage of cellular DNA by plant polyphenols: A putative mechanism for anticancer properties. *Seminars in Cancer Biology*, 17, 370-376.

Lanigan, R. S., & Yamarik, T. A. (2002). Final report on the safety assessment of BHT. *International Journal of Toxicology*, 21, 19-94.

Lohani, A., Mishra, A. K., & Verma, A. (2019). Cosmeceutical potential of geranium and calendula essential oil: Determination of antioxidant activity and in vitro sun protection factor. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 18(2), 550-557.

Malik, P., & Upadhyay, P. R. A. S. H. A. N. T. (2022). GC-MS chemical profile, antioxidant activity, and sun protection factor of essential oil of tea tree (*Melaleuca alternifolia*) and rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Oriental Journal of Chemistry*, 38(5).

Mori, H., Kawanami, H., Kawahata, H., & Aoki, M. (2016). Wound healing potential of lavender oil by acceleration of granulation and wound contraction through induction of TGF- β in a rat model. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16, 144.

Pezantes Orellana, C., German Bermúdez, F. A., Montalvo, J., Packer, T., & Orellana-Manzano, A. (2025). Evaluating efficacy, safety, and innovation in skin care applications of essential oils: A systematic review. *Frontiers in Medicine*, 12, 1589691.

Quintero Ruiz, N., Cordoba Campo, Y., Stashenko, E. E., & Fuentes, J. L. (2017). Antigenotoxic effect against ultraviolet

radiation-induced DNA damage of the essential oils from *Lippia* species. *Photochemistry and Photobiology*, 93(4), 1063–1072.

Radice, M., Manfredini, S., Ziosi, P., Dissette, V., Buso, P., Fallacara, A., et al. (2016). Herbal extracts, lichens and biomolecules as natural photo-protection alternatives to synthetic UV filters: A systematic review. *Fitoterapia*, 114, 144–162.

Sah, A., Naseef, P., Kuruniyan, M., Jain, G., Zakir, F., & Aggarwal, G. A. (2022). Comprehensive study of therapeutic applications of chamomile. *Pharmaceuticals*, 15, 1284.

Siddique, I. (2024). The effect of the addition of carrot seed oil and raspberry seed oil on the UV intensity of a sunscreen. *Journal of the South Carolina Academy of Science*, 21(3), 8.

Taherpour, A., Khaef, S., Yari, A., Nikeafshar, S., Fathi, M., & Ghambari, S. (2017). Chemical composition analysis of the essential oil of *Mentha piperita* L. from Kermanshah, Iran by hydrodistillation and HS/SPME methods. *Journal of Analytical Science and Technology*, 8, 1–6.

Tarozzi, A., Marchesi, A., Hrelia, S., Angeloni, C., Andrisano, V., Fiori, J., ... & Hrella, P. (2005). Protective effects of cyanidin-3-O- β -glucopyranoside against UVA-induced oxidative stress in human keratinocytes. *Photochemistry and Photobiology*, 81(3), 623–629.

U.S. Food and Drug Administration. (2017, July 13). Sun protection factor (SPF). <https://www.fda.gov/about-fda/center-drug-evaluation-and-research-cder/sun-protection-factor-spf>

Udourioh, G. A., Bazza, B. M., Pilani, M. P., & Solomon, M. M. (2025). Therapeutic characteristics of essential oils: Historical and scientific considerations. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 29(2), 569–579.

Wanakhachornkrai, O., Banglao, W., Thongmee, A., & Sukplang, P. (2020). Determination of antioxidant, anti-aging and cytotoxicity activity of the essential oils from *Cinnamomum zeylanicum*. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 10(3), 436–440.

App web reporte ciudadano: App web para reportes de servicios municipales

Mendoza Ramírez Isaac ^{*a}, Olvera Martínez Diego Ahmed ^{*b}, Martínez Escandón Miriam Liliana ^{*c}, Ponce Montoya Cristian ^{*d}, Trejo Reséndiz Maribel ^{*e}, Ibarra Pérez Juan ^{*f}, Morado Huerta Ma. Guadalupe ^{*g},

^{a,b,c,d,e,f,g} Universidad Tecnológica de San Juan del Río, 76800, San Juan del Río, Querétaro, México.

mtrejor@utsjr.edu.mx

RESUMEN

La gestión eficiente de incidencias en servicios públicos constituye un pilar fundamental de la calidad de vida urbana y la confianza ciudadana en las instituciones gubernamentales. Los canales tradicionales de reporte, tales como líneas telefónicas y ventanillas de atención presencial, frecuentemente presentan limitaciones significativas en términos de demoras en la respuesta, opacidad en el seguimiento y ausencia de trazabilidad sistemática. Este artículo describe el diseño, implementación y evaluación de Reporte Ciudadano, una solución integral de gobierno digital compuesta por una aplicación móvil para la ciudadanía, una interfaz operativa para personal de campo y un panel web de administración municipal. La arquitectura propuesta se fundamenta en los servicios de Backend como Servicio de Firebase, incluyendo Authentication para gestión de identidades, Firestore como base de datos en tiempo real, Cloud Storage para evidencias multimedia, Cloud Functions para automatización de procesos, Cloud Messaging para notificaciones push y App Check para protección contra abusos. El modelo de datos está orientado a eventos con geolocalización precisa, incorpora flujos de trabajo con acuerdos de nivel de servicio diferenciados por categoría y habilita analítica operativa para la toma de decisiones basada en evidencia. El caso de uso se contextualiza en Querétaro, México, una zona metropolitana con alta urbanización y penetración de conectividad móvil. Se proponen métricas operativas y de experiencia ciudadana, un diseño de evaluación cuasi-experimental antes-después con grupos de control, y lineamientos de gobernanza de datos alineados al marco legal mexicano de transparencia y protección de datos personales. Los beneficios esperados incluyen la reducción del tiempo de primera respuesta y tiempo a resolución, incremento en la transparencia percibida y capacidad analítica para planeación urbana. Se identifican riesgos críticos como la brecha digital, sesgos de participación territorial y sostenibilidad operativa, proponiendo estrategias de mitigación que incluyen diseño inclusivo, canales alternativos no digitales y acuerdos de nivel de servicio realistas calibrados a la capacidad institucional.

Palabras clave: gestión de incidencias; sistemas 311; participación ciudadana; ciudad inteligente; gobierno electrónico; Firebase; Open311; Querétaro; gobierno digital; interoperabilidad.

ABSTRACT

Efficient management of public service incidents constitutes a fundamental pillar of urban quality of life and citizen trust in governmental institutions. Traditional reporting channels, such as telephone hotlines and in-person service windows, frequently exhibit significant limitations in terms of response delays, tracking opacity, and absence of systematic traceability. This article describes the design, implementation, and evaluation of Reporte Ciudadano (Citizen Report), a comprehensive digital government solution composed of a mobile application for citizens, an operational interface for field personnel, and a web-based municipal administration panel. The proposed architecture is based on Firebase Backend as a Service, including Authentication for identity management, Firestore as a real-time database, Cloud Storage for multimedia evidence, Cloud Functions for process automation, Cloud Messaging for push notifications, and App Check for abuse protection. The data model is event-oriented with precise geolocation, incorporates workflows with service level agreements differentiated by category, and enables operational analytics for evidence-based decision-making. The use case is contextualized in Querétaro, Mexico, a metropolitan area with high urbanization and mobile connectivity penetration. We propose operational and citizen experience metrics, a quasi-experimental before-after evaluation design with control groups, and data governance guidelines aligned with the Mexican legal framework for transparency and personal data protection. Expected benefits include reduction in first response time and time to resolution, increased perceived transparency, and analytical capacity for urban planning. Critical risks such as digital divide, territorial participation biases, and operational sustainability are identified, proposing mitigation strategies including inclusive design, alternative non-digital channels, and realistic service level agreements calibrated to institutional capacity.

Keywords: incident management; 311 systems; citizen participation; smart city; e-government; Firebase; Open311; Querétaro; digital government; interoperability.

1. INTRODUCCIÓN

Los mecanismos tradicionales de reporte ciudadano presentan limitaciones estructurales documentadas. Las líneas telefónicas operan con horarios restringidos, tiempos de espera prolongados y capacidad limitada para documentar evidencia visual. Las ventanillas presenciales requieren desplazamiento físico y ambos canales carecen de transparencia en el seguimiento.

La expansión de conectividad móvil y plataformas de Backend como Servicio habilitan nuevos modelos de interacción gobierno-ciudadanía. Reporte Ciudadano propone una solución integral con tres objetivos centrales: facilitar reportes geolocalizados con evidencia multimedia, estandarizar procesos mediante flujos configurables y generar indicadores para toma de decisiones basada en evidencia.

1.1. Objetivos y Contribuciones

Este artículo presenta cuatro contribuciones principales. Primero, documenta una arquitectura modular basada en Firebase que habilita tres roles diferenciados con interfaces apropiadas. Segundo, define un modelo de datos estructurado para incidencias georreferenciadas con mejores prácticas de bases de datos NoSQL. Tercero, especifica métricas y protocolo de evaluación riguroso con diseño cuasi-experimental. Cuarto, propone lineamientos de gobernanza alineados a la Ley General de Transparencia y la Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados.

2. MÉTODO

2.1. Estado del Arte

Los sistemas 311 han evolucionado en tres generaciones. La primera consistía en líneas telefónicas centralizadas. La segunda incorporó portales web con formularios estructurados, ejemplificada por plataformas como SeeClickFix y FixMyStreet. La tercera generación aprovecha dispositivos móviles y Backend como Servicio para experiencias nativas con geolocalización automática, evidencia multimedia y notificaciones bidireccionales, incorporando estándares como Open311 GeoReport.

La literatura documenta beneficios significativos: reducción de tiempos de resolución, incremento en confianza ciudadana por transparencia y capacidad analítica para identificar patrones espaciotemporales. Sin embargo, advierte sobre riesgos críticos. El sesgo de participación socioeconómica puede concentrar reportes en barrios con mayor nivel educativo. La brecha digital persiste según edad, nivel educativo y ubicación geográfica. El riesgo de sobrecarga operativa puede deteriorar tiempos de respuesta si el volumen de solicitudes supera capacidad institucional.

2.2. Estándar Open311

El estándar Open311 GeoReport define interfaz RESTful que estandariza interacción con sistemas de reporte ciudadano. Ofrece tres beneficios estratégicos: reduce cautiverio de proveedor permitiendo integración de aplicaciones de terceros, facilita integración con sistemas preexistentes sin reemplazo completo y permite agregación y análisis comparativo entre jurisdicciones.

3. RESULTADOS

3.1. Contexto de Implementación

Querétaro presenta población de dos millones cien mil habitantes concentrados en zona metropolitana con urbanización dinámica. La heterogeneidad territorial implica demandas diferenciadas: el centro histórico requiere mantenimiento especializado, desarrollos recientes demandan atención a áreas verdes y zonas periféricas necesitan servicios básicos con desafíos de accesibilidad.

La penetración de telefonía móvil supera noventa por ciento con cobertura de redes 4G en zona urbana. Sin embargo, persisten brechas digitales significativas por edad, nivel socioeconómico y ubicación geográfica, requiriendo canales alternativos no digitales y diseño accesible.

3.2. Marco Institucional y Legal

La gestión municipal involucra múltiples dependencias: Servicios Públicos Municipales gestiona alumbrado y recolección de residuos, Obras Públicas atiende bacheo y mantenimiento vial, la Comisión de Aguas maneja fugas y Protección Civil atiende riesgos inmediatos. Esta fragmentación requiere enrutamiento inteligente y mecanismos de reasignación.

El marco legal mexicano establece obligaciones de transparencia proactiva y protección de datos personales. El diseño debe garantizar minimización de datos, consentimiento informado, anonimización para datos abiertos y mecanismos para ejercer derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición.

4. METODOLOGÍA Y DISEÑO

4.1. Arquitectura General

El sistema se estructura en cuatro capas. La capa de presentación comprende aplicación móvil ciudadana, interfaz de campo para personal operativo y panel web de administración. La capa de lógica de negocio utiliza Cloud Functions para asignación automática, cálculo de cumplimiento de acuerdos de nivel de servicio y generación de agregaciones estadísticas. La capa de datos emplea Cloud Firestore con colecciones para usuarios, reportes, categorías, asignaciones y eventos. Cloud Storage almacena evidencias multimedia con reglas de seguridad granulares.

4.2. Modelo de Datos

La colección de reportes incluye identificador único, referencia al ciudadano, categoría, descripción textual, objeto de ubicación con latitud, longitud y geohash, estado actual, fechas de creación y resolución, asignación a personal operativo, evidencias multimedia, calificaciones ciudadanas y nivel de prioridad. El geohash habilita consultas eficientes de proximidad espacial.

La colección de eventos implementa auditoría inmutable documentando tipo de evento, actor responsable, marca temporal y metadatos específicos. Este diseño permite reconstrucción completa de evolución de reportes y análisis de patrones temporales.

4.3. Flujos de Trabajo

El ciclo de vida sigue estados bien definidos. Los reportes se crean en estado pendiente, se asignan automáticamente o encolan para asignación manual, transicionan a en proceso cuando personal operativo acepta, cambian a resuelto al completar intervención y cierran automáticamente tras período sin actividad. Los ciudadanos califican

servicio y pueden reabrir reportes si consideran resolución inadecuada.

Los acuerdos de nivel de servicio se definen por categoría, especificando tiempos objetivo de primera respuesta y resolución. Cloud Functions evalúan cumplimiento periódicamente, generan alertas preventivas y registran incumplimientos para análisis de causas raíz.

4.4. Seguridad y Privacidad

La seguridad implementa defensa en profundidad. Firebase Authentication garantiza acceso únicamente a usuarios con credenciales válidas. Las reglas de Firestore validan roles en cada operación: ciudadanos acceden solo a reportes propios, personal operativo a asignados y administradores tienen permisos amplios. Firebase App Check protege contra acceso desde aplicaciones no autorizadas mediante atestación de dispositivos.

La privacidad se garantiza mediante minimización de datos, avisos de privacidad claros y controles de precisión geográfica configurables. Las políticas de retención conservan reportes con datos personales por doce a veinticuatro meses, después se anonimizan para analítica histórica y datos abiertos.

4.5. Interoperabilidad Open311

La implementación expone endpoints RESTful estándar: catálogo de servicios, definición de servicio, creación de solicitudes y consulta con filtrado. El mapeo bidireccional entre taxonomía interna y códigos Open311 permite evolución independiente preservando estabilidad de interfaz. La autenticación utiliza API keys para aplicaciones confiables o tokens OAuth 2.0 para terceros actuando en nombre de usuarios.

4.6. Instrumentación y Analítica

Los indicadores se agrupan en cuatro categorías. Indicadores operativos cuantifican tiempo de primera respuesta, tiempo a resolución, cumplimiento de acuerdos de nivel de servicio, reasignaciones y reaperturas. Indicadores de experiencia capturan calificación promedio, satisfacción y claridad de comunicación. Indicadores de cobertura identifican densidad de reportes por colonia, correlación con variables socioeconómicas y disparidades de atención. Indicadores técnicos monitorean latencia, tasa de errores, uso de recursos Firebase y costos proyectados.

5. PROTOCOLO DE EVALUACIÓN

5.1. Diseño Cuasi-Experimental

La implementación progresiva habilita comparación entre zonas de tratamiento temprano y control. El diseño de series de tiempo interrumpidas compara trayectorias de indicadores antes y después de implementación. El análisis de diferencias en diferencias compara cambios entre zonas de tratamiento y control, controlando tendencias temporales mediante efectos fijos por zona y período.

5.2. Métricas y Fuentes de Datos

Las métricas primarias incluyen tiempo promedio de primera respuesta y tiempo a resolución para categorías de alta frecuencia, con hipótesis de reducciones de treinta y veinte por ciento respectivamente. Las métricas secundarias complementan con cumplimiento de acuerdos de nivel de servicio, satisfacción ciudadana y tasa de adopción.

Los datos operativos se extraen de Firestore anonimizando identificadores. Las encuestas de satisfacción combinan encuestas in-app y telefónicas. Los grupos focales con personal

operativo y entrevistas con funcionarios capturan perspectivas cualitativas.

5.3. Análisis de Equidad

El análisis desagregado por índice de marginación evalúa si impactos difieren según contexto socioeconómico. El análisis de densidad identifica sobre o sub-representación geográfica. Los mapas de calor visualizan si zonas periféricas experimentan demoras mayores, verificando equidad en tiempos de servicio.

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

6.1. Limitaciones

Realmente intentamos poner en marcha el proyecto, sin embargo, ningún gobierno nos dio los permisos para adaptarlo a su municipio y ponerlo a prueba, a pesar de haber enviado a más de 2000 municipios de México, ninguno nos dio la opción de ponerlo a prueba.

Este trabajo presenta diseño prospectivo sin resultados empíricos de implementación real. Los beneficios estimados se basan en literatura y experiencias comparables. La validación empírica mediante piloto es crítica para confirmar supuestos. El protocolo enfrenta desafíos metodológicos: aleatorización perfecta frecuentemente es inviable, la contaminación entre zonas complica inferencia y el horizonte de cuatro meses puede ser insuficiente para observar efectos de largo plazo como cambios sostenidos en satisfacción ciudadana o institucionalización de prácticas de transparencia.

6.2. Trabajo Futuro

La clasificación automática mediante aprendizaje automático puede reducir carga de categorización y mejorar encaminamiento. La priorización inteligente puede optimizar asignación de recursos considerando múltiples factores simultáneamente.

La analítica predictiva identifica infraestructura en riesgo de falla antes de ocurrencia, guiando mantenimiento preventivo. Las capacidades offline avanzadas habilitan operación con conectividad intermitente. La integración con sistemas legados mediante adaptadores Open311 extiende alcance de modernización incremental. La publicación de datos abiertos anonimizados fomenta ecosistema de innovación cívica.

6.3. Recomendaciones

Los municipios deben enfatizar preparación organizacional tanto como capacidad técnica. El liderazgo comprometido es condición necesaria para éxito sostenible. La co-creación con usuarios finales mejora relevancia y usabilidad. La comunicación transparente gestiona expectativas realistas. La mejora continúa basada en retroalimentación garantiza relevancia sostenida. La sostenibilidad financiera requiere integración en presupuesto operativo regular con partidas claramente asignadas.}

7. AGRADECIMIENTOS

El desarrollo se benefició de contribuciones del equipo MIDAS (Miriam Liliana Martínez Escandón, Issac Mendoza Ramírez, Diego Pérez Bustamante, Diego Ahmed Olvera Martínez, Cristian Ponce Montoya).

Un saludo en especial a Issac Mendoza y Ahmed Olvera, quienes a pesar de las dificultades se aferraron a concluir completamente con este proyecto demostrando su capacidad de adaptación, aprendizaje y desarrollo del programa bajo presión.

Agradecimiento especial al L.I Juan Ibarra Pérez por su ayuda como profesor y guía para poder aprender.

Gracias a la Doctora Ma. Guadalupe Morado Huerta por ayudarnos en la elaboración de este artículo científico.

Este proyecto no fuese posible sin la intervención de nuestra tutora y encargar del proyecto I.S.C. Maribel Trejo Reséndiz, quien no solo estuvo con nosotros a lo largo de la elaboración del proyecto, si no quien también nos ayudó con sus conocimientos a hacerlo posible, nos apoyó y siempre estuvo al pendiente, maestra, muchísimas gracias, de parte del equipo de MIDAS un gran agradecimiento.

8. DISPONIBILIDAD

El esquema de Firestore y reglas de seguridad se publicarán bajo licencia de código abierto. Un conjunto anonimizado de datos generados durante piloto se publicará para fines académicos. La especificación OpenAPI del endpoint Open311 se publicará como documentación técnica estándar.

9. FINANCIAMIENTO

Este trabajo fue desarrollado con recursos propios del equipo de investigación sin financiamiento externo específico que pudiera constituir conflicto de interés.

10. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de interés financieros, profesionales o personales. Las recomendaciones técnicas se basan exclusivamente en evaluación objetiva de capacidades, costos y alineación con requisitos.

REFERENCIAS

Accela. (2015). Accela adquiere PublicStuff. Comunicado de prensa.

Consejo Nacional de Población. (2020). Índice de marginación por localidad 2020. CONAPO.

Dai, Y., Zhang, W., Wang, R., & Zhang, X. (2024). Una revisión sistemática de literatura sobre la ciudad inteligente. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101536.

Firebase (Google Cloud). Documentación oficial de Cloud Firestore, Cloud Functions, Cloud Messaging y App Check.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). Panorama sociodemográfico de Querétaro: Censo 2020. INEGI.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024). ENDUTIH 2023: Comunicado 372/24. INEGI.

H. Congreso de la Unión. (2015). Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

H. Congreso de la Unión. (2017). Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados.

Open311. GeoReport v2: Especificación abierta para reportes cívicos colaborativos.

Pak, B., Chua, A., & Vande Moere, A. (2017). FixMyStreet Bruselas: Desigualdad sociodemográfica en participación cívica. *Journal of Urban Technology*, 24(2), 65-87.

San Francisco 311. (2020). Características de servicios de ciudad inteligente. Oficina del Controlador.

SeeClickFix. (2019). Informe de impacto comunitario 2019.

