

**Tecnológico Nacional de México**  
Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria



# Revista

# TecnoINTELECTO

*Órgano de divulgación científica*

Publicación académica del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria

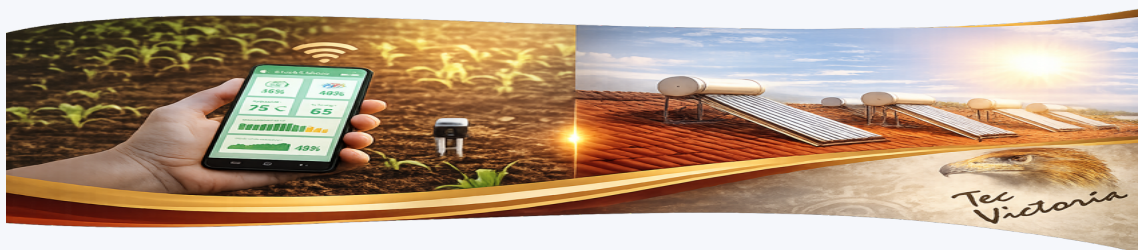
**Volumen 22    Núm. 2    Diciembre 2025    ISSN: 1665-983X**

## INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

---

El papel de los calentadores solares de agua contra la pobreza energética en México	1
Desarrollo de una aplicación móvil para el monitoreo de variables en suelo agrícola	17

---



## DIRECTORIO INSTITUCIONAL

**Dr. Ramón Jiménez López**

Director General del Tecnológico Nacional de México

**Mtra. Deysi Yesica Álvarez Vergara**

Directora del Instituto Tecnológico de Cd. Victoria

**M.I.I. Ana María Magdalena Ortiz Elizalde**

Subdirectora Académica

**Ing. Jorge Luis Reyes Cedillo**

Subdirector de Planeación y Vinculación

**Mtro. José Ángel Nieto Meza**

Subdirector de Servicios Administrativos

## COMITÉ EDITORIAL

Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

## COORDINACIÓN EDITORIAL

Dra. Adriana Mexicano-Santoyo,  
Dr. Jesús Carlos Carmona-Frausto  
Dr. Carlos Eric Llorente Peralta

## ASISTENCIA EDITORIAL

Ing. Jonatan Axel Carrizales-López.

## COMITÉ DE REVISORES

**Dr. Pascual N. Montes-Dorantes**

Universidad Autónoma del Noreste

**Dra. Hilda Castillo-Zacatelco**

Benemérita Universidad Autónoma de  
Puebla

**Dra. Nelva Nely Almanza-Ortega**

Secretaría de Ciencia, Humanidades,  
Tecnología e Innovación (SECIHTI)

**TecnoINTELECTO** (ISSN 1665-983X; reserva de derechos: 04-2004-072626452400-102) es una publicación semestral del Tecnológico Nacional de México–Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Av. Tecnológico No. 1301, C.P. 87010, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México; Tel. (834) 153 20 00 Ext. 364. El contenido y la redacción de los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores. Editor responsable: División de Estudios de Posgrado e Investigación. Apoyo editorial e informático: Dr. Jesús Carlos Carmona-Frausto. Para envío de manuscritos, consultas o correspondencia, dirigirse a: [tecnoin-telecto@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:tecnoin-telecto@cdvictoria.tecnm.mx). Todos los derechos reservados por el Tecnológico Nacional de México–Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. **TecnoINTELECTO**, Vol. 22, Núm. 2, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

Consúltanos en el Índice Latinoamericano [www.latindex.org](http://www.latindex.org) y en el Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias PERIÓDICA [www.dgb.unam.mx/periodica.html](http://www.dgb.unam.mx/periodica.html)



## EL PAPEL DE LOS CALENTADORES SOLARES DE AGUA CONTRA LA POBREZA ENERGÉTICA EN MÉXICO

*Iris Santos-González<sup>1</sup>, Natalie Ortiz-Guerrero<sup>1</sup>, Nelva Nely Almanza-Ortega<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup> *Investigadoras e Investigadores por México/SECIHTI, Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor, Alcaldía Benito Juárez, Ciudad de México, 03940, México*

<sup>1</sup>[iris.santos@secihti.mx](mailto:iris.santos@secihti.mx); [natalie.ortiz@secihti.mx](mailto:natalie.ortiz@secihti.mx); [nelva.almanza@secihti.mx](mailto:nelva.almanza@secihti.mx).

**RESUMEN.** La pobreza energética en México se refiere a la dificultad de los hogares para acceder a servicios energéticos básicos, como el agua caliente, de manera asequible y sostenible. En este contexto, los calentadores solares de agua (CSA) emergen como una solución sostenible y accesible que aprovecha el recurso solar del país para reducir los costos energéticos, mejorando así el bienestar de las familias. El trabajo analiza el impacto económico, social y ambiental de los CSA como una alternativa tecnológica limpia y eficiente para satisfacer la necesidad de agua caliente en los hogares mexicanos. Los CSA pueden reducir el consumo de gas licuado de petróleo (GLP), las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y la dependencia energética, al mismo tiempo que generan ahorros significativos. Se estimó el impacto energético, ambiental y económico de la instalación de CSA, así como el ahorro de combustible, las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas, el tiempo de amortización de la inversión, para evaluar el rendimiento y rentabilidad de la instalación de los CSA. Los resultados muestran que la implementación de CSA puede generar ahorros anuales superiores a \$4,000 pesos en combustible, con recuperación de inversión menor a cuatro años y vida útil mínima de 15 años. Se estimó una reducción de más de 0.54 toneladas de CO<sub>2</sub> al año por sistema, lo que representa un ahorro significativo para las familias, una disminución del impacto ambiental, además de que contribuye a combatir la pobreza energética desde una perspectiva sostenible y socialmente inclusiva. Finalmente, se presenta un programa piloto para la Ciudad de México, con 350,000 viviendas, que evitaría la importación de 818,000 barriles de GLP, reduciría 211,400 toneladas de CO<sub>2</sub> y generaría un ahorro de 52 millones de dólares anuales para los hogares y el país.

**PALABRAS CLAVE:** Calentadores solares de agua, consumo energético, sector residencial.

**Autor de correspondencia:** Dra. Nelva Nely Almanza-Ortega

**Contacto:** [nelva.almanza@secihti.mx](mailto:nelva.almanza@secihti.mx)

**ABSTRACT.** Energy poverty in Mexico refers to the difficulty households face in accessing basic energy services, such as hot water, in an affordable and sustainable manner. In this context, solar water heaters (SWH) emerge as a sustainable and accessible solution that takes advantage the country's solar resources to reduce energy costs, thereby improving the well-being of families. This study analyzes the economic, social, and environmental impact of SWH as a clean and efficient technological alternative to meet the need for hot water in Mexican households. SWH can reduce liquefied petroleum gas (LPG) consumption, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions, and energy dependence, while generating significant savings. The energy, environmental, and economic impact of installing SWH was estimated, as well as fuel savings, avoided CO<sub>2</sub> emissions, and the payback period, in order to evaluate the performance and profitability of installing SWH. The results show that implementing SWH can generate annual savings of more than \$4,000 pesos in fuel, with a return on investment of less than four years and a minimum useful life of 15 years. A reduction of more than 0.54 tons of CO<sub>2</sub> per year per system was estimated, representing significant savings for families, a decrease in environmental impact, and contributing to combating energy poverty from a sustainable and socially inclusive perspective. Finally, a pilot program is presented for Mexico City, with 350,000 households, which would avoid the importation of 818,000 barrels of LPG, reduce 211,400 tons of CO<sub>2</sub>, and generate savings of \$52 million per year for households and the country.

**KEY WORDS:** Solar water heaters, energy consumption, residential sector.

## 1. INTRODUCCIÓN

Con una población de aproximadamente 131 millones de habitantes, una ubicación geográfica estratégica, gran diversidad cultural y abundantes recursos naturales, México se encuentra entre las once economías más grandes del mundo y la segunda más competitiva de América Latina (Schuwab, 2019; Santiago, 2023). No obstante, persisten importantes desigualdades sociales que limitan el acceso equitativo al desarrollo, afectando la calidad de vida de millones de personas (Evalúa, 2022). A pesar de los avances recientes entre 2016 y 2022, más de cinco millones salieron de la pobreza aún persisten brechas significativas en el acceso a servicios básicos (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, s.f.). En este contexto, la pobreza energética impacta a cerca del 40% de la población, entendida como la situación en la que un hogar o individuo carece de acceso adecuado, asequible y sostenible a servicios energéticos esenciales, lo que compromete su bienestar, salud y autonomía, reflejando desigualdades sociales, además de limitar su participación plena en la sociedad (García-Ochoa, 2023).

En México, los sectores con mayor consumo de energía son el transporte, la industria y el residencial. En el caso del sector residencial, los principales usos finales energéticos son la cocción de alimentos, el calentamiento del agua, la calefacción, la iluminación, la refrigeración y el planchado (Secretaría de Energía, 2023,

Schimer et al., 2023), dominando la energía térmica en estos procesos. Según el análisis del consumo energético en el sector residencial por uso final realizado por Contreras et al. (2022), el consumo total de energía en este sector ascendió a 790 petajulios (PJ) en 2018, de los cuales 76% correspondió a energía térmica y 24% a energía eléctrica (Contreras et al., 2022). Dentro del consumo térmico, el calentamiento de agua representó el 19%, siendo la segunda actividad de mayor demanda energética después de la cocción (77%).

El calentamiento del agua es una necesidad básica y el segundo mayor consumo de energía en los hogares, con un estimado de 119 PJ en 2018 (Contreras et al., 2022). Sin embargo, sólo la mitad de la población puede satisfacer adecuadamente estas necesidades. El agua caliente en los hogares aporta a actividades como higiene y limpieza, por lo que la falta de ésta, aumenta la pobreza energética (Asociación de Ciencias Ambientales, 2023). Según la Encuesta Nacional de Consumo de Energía en Viviendas Particulares (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018), sólo el 43,5% de los hogares cuenta con algún tipo de calentador de agua, lo que impacta negativamente en la calidad de vida de la población. En la mayoría de los casos, este proceso depende del GLP, un combustible fósil del que México no es autosuficiente y cuyas importaciones ascendieron a 1,292 millones de dólares en 2021, con un consumo promedio de 66.9 mil barriles diarios (mbd), (Secretaría de Energía, s.f.). Además, el calentamiento de agua

es la tercera fuente de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector residencial, aportando el 15% del total de emisiones (7,31 MtCO<sub>2</sub>e) (Contreras et al., 2022).

Lo anterior evidencia un área estratégica donde tecnologías limpias, como los CSA, representan una solución viable para satisfacer las necesidades energéticas, reducir la dependencia de combustibles fósiles, las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el daño ambiental (Gayen et al., 2023).

El CSA es la tecnología más desarrollada y comercializada para el aprovechamiento de la energía solar térmica, gracias a su factibilidad tecnológica, además de su competitividad económica, es decir, ofrecen una buena relación calidad-precio, siendo asequibles frente a otras alternativas de uso (Al-Mamun et al., 2023); podría satisfacer entre el 50% y el 80% de las necesidades de agua caliente (Ahmed et al., 2021). Impulsado por las preocupaciones medioambientales y la disminución de los costes asociados al uso de combustibles fósiles, su uso se ha extendido por todo el mundo (Alipour et al., 2023). Es una tecnología prometedora que se puede utilizar para calentar espacios, ducharse, limpiar o cocinar (Eze et al., 2024).

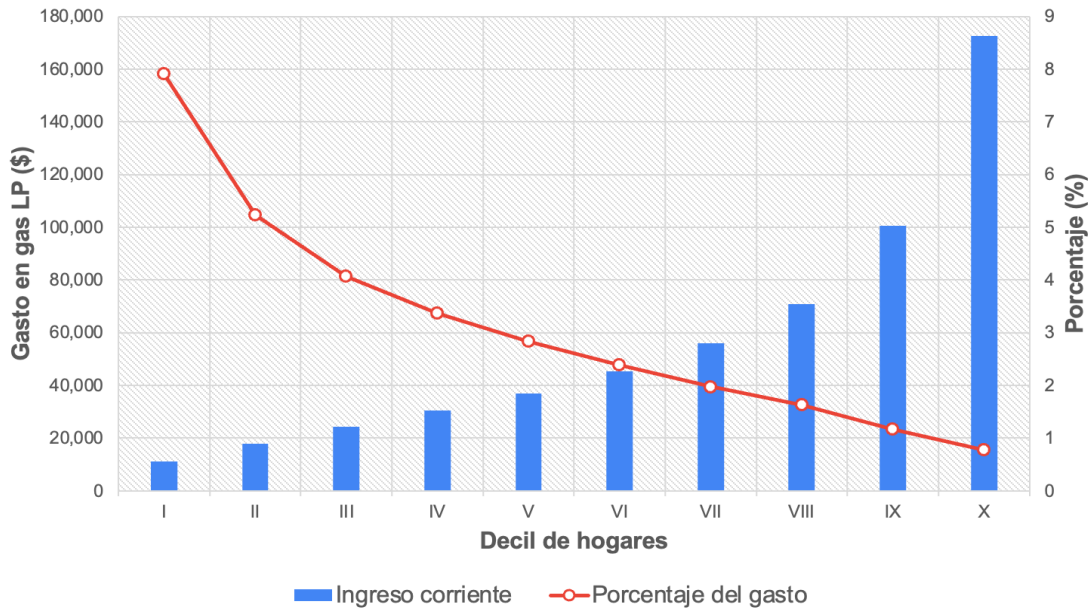
China es el mayor fabricante de CSA, con instalaciones en todo el país, especialmente en las zonas rurales (Urban et al., 2016). En Argentina y Sudáfrica se ha reportado la implementación de CSA en barrios vulnerables, concluyendo que tuvieron impactos socioeconómicos, como ahorros monetarios que podrían destinarse a estrategias de sustento (Naidoo, 2020), y que también resuelven una necesidad relevante para el bienestar de la población (Ibáñez et al., 2022). En las últimas décadas, el gobierno taiwanés implementó programas de CSA, generando un incentivo económico para los usuarios finales (Chang et al., 2006). Según Arefin (2011), un estudio sobre los costos de los CSA en Bangladesh concluyó que esta tecnología es más barata que los métodos convencionales de calentamiento de

agua (Fadzlin et al., 2022; Arefin, et al., 2011). Mostafaeipour et al (2021), en su investigación, introducen un modelo conceptual para el uso de CSA en Yazd, Irán, y concluyen que el gobierno debe abordar cuestiones relacionadas con el apoyo financiero, así como el desarrollo de la infraestructura necesaria para una implementación eficiente (Mostafaeipour et al., 2021). En California, se han establecido programas de incentivos a nivel estatal para promover la adopción de CSA (Sanguinetti et al., 2021).

Algunos países europeos han ofrecido incentivos financieros a los hogares y las comunidades para fomentar el uso de calentadores de agua solares (Jahangiri et al., 2021). Del mismo modo, la Unión Europea está promoviendo activamente la adopción de la energía solar térmica en el sector agrícola del noroeste de Europa (Gambade et al., 2023). Los CSA han demostrado su capacidad para adaptarse a la dinámica social, ya que requieren una atención mínima para su operación y mantenimiento, generan un impacto ambiental positivo y ofrecen beneficios socioeconómicos como el ahorro de energía. Representan un mecanismo para abordar los desafíos de sostenibilidad en áreas vulnerables (Tagle y Álvarez, 2019).

### **1.1 Perspectivas y retos del sector residencial**

El análisis por nivel de ingresos, fundamentado en la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (INEGI, 2022), muestra que existe una relación directa entre los ingresos familiares y el gasto en GLP. Sin embargo, al calcular el porcentaje de gasto respecto al ingreso total, la situación cambia drásticamente: los hogares con menores recursos (Decil I) gastan aproximadamente un 8% en GLP, mientras que los de mayores ingresos (Decil X) destinan menos del 1%. Este fenómeno económico impacta desfavorablemente el bienestar de los grupos más vulnerables, ver Figura 1.



**Figura 1.** Ingreso promedio trimestral y porcentaje de gasto en GLP por deciles de hogares en 2020.

**Fuente:** Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2020.

Para hacer frente a estos desafíos, la promoción de las energías renovables, en particular la energía solar, a través de tecnologías tanto eficientes como asequibles, los CSA ofrecen una solución sostenible. El despliegue de estas tecnologías reduciría la dependencia del GLP y los costos de energía de los hogares, además, contribuiría a la transición hacia un modelo energético más sostenible en México.

En este contexto, los principales retos del sector residencial son:

- Reducir la dependencia del GLP, promoviendo fuentes renovables de energía térmica.
- Diseñar políticas públicas diferenciadas que atiendan las brechas urbano-rurales y las desigualdades económicas.
- Impulsar tecnologías accesibles y eficientes, como los CSA, que contribuyan a la seguridad energética, que al mismo tiempo, reduzcan costos para los hogares vulnerables.
- Avanzar hacia un esquema que combine eficiencia energética, sustentabilidad ambiental así como equidad social en el acceso a la energía.

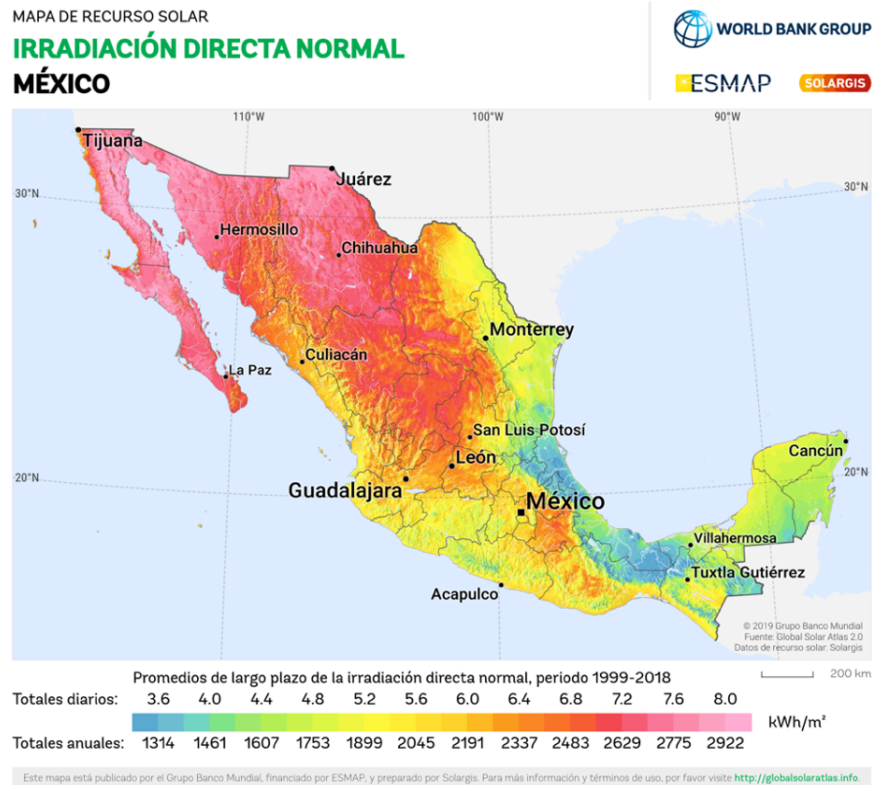
### 1.2 Calentamiento solar de agua para el sector residencial: una alternativa viable y probada

La energía solar es la fuente de energía más abundante, limpia, inagotable y gratuita de la Tierra. México se encuentra entre los países con mayor potencial solar debido a su ubicación privilegiada dentro del “cinturón solar”. La mayor parte de su territorio recibe una irradiación solar global diaria promedio de 5.5 kWh/m<sup>2</sup>, siendo Chihuahua, Sonora y Baja California los estados con mayor irradiación solar, con valores superiores a 6 kWh/m<sup>2</sup> por día (Solar Payback, 2018), (Figura 2).

Una de las maneras de aprovechar la radiación solar es mediante las aplicaciones solares térmicas; se clasifican según su temperatura de funcionamiento (baja, media o alta), cada una de las cuales requiere tecnologías y materiales específicos (García y Figueroa, 2017). Las aplicaciones de baja temperatura (<100 °C) utilizan colectores planos, sistemas autónomos, tubos de vacío o abiertos, principalmente para calentar agua sanitaria y piscinas. En el sector residencial, el sistema termosifónico es el más utilizado. Este sistema consta de un tanque de almacenamiento y un colector solar. Consiste en una superficie expuesta a la luz solar que absorbe la radiación visible transformándola en radiación infrarroja (calor), que es transportada por un fluido. El fenómeno del termosifón ocurre cuando la radiación solar calienta el agua dentro del colector. Debido a la diferencia de densidad, el agua caliente asciende hacia el tanque de

almacenamiento, ubicado sobre el colector, mientras que el agua fría y más densa desciende desde el tanque hasta el fondo del colector, lo que permite la circulación natural del

agua y un calentamiento eficiente (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2014).



**Figura 2.** Irradiación global diaria promedio en México.

**Fuente:** Solargis, 2021.

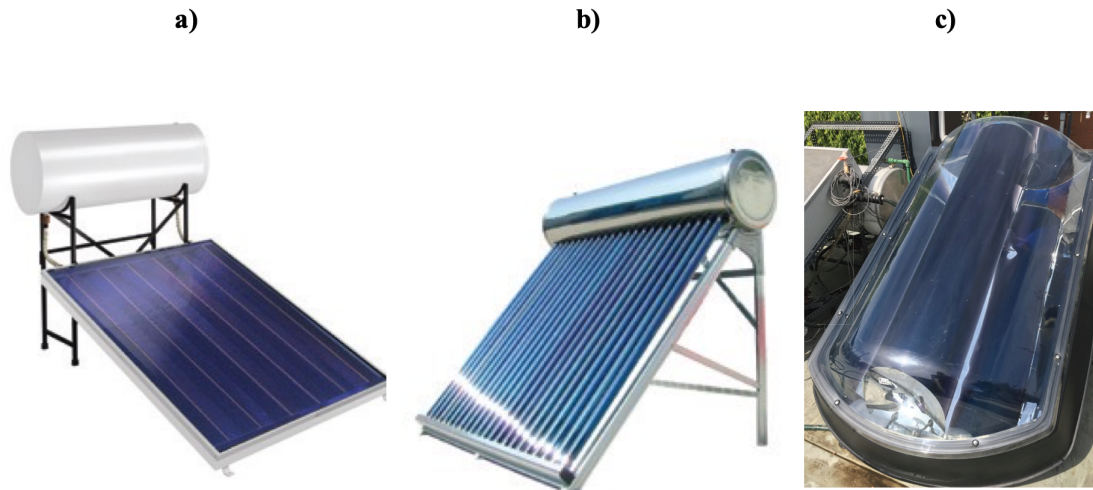
Las principales tecnologías de CSA en el sector residencial son (Figura 3):

a) Colectores de placa plana: poseen una superficie con tubos por donde circula el fluido; pueden estar cubiertos (mayor eficiencia) o descubiertos (usados en piscinas).

b) Colectores de tubos al vacío: emplean dos tubos concéntricos de vidrio con vacío para reducir pérdidas de calor. Pueden ser de flujo

directo (agua pasa por los tubos) o de flujo indirecto/tubo de calor (el calor se transfiere a través de un tubo metálico).

c) Sistemas autónomos: integran colector y almacenamiento en un solo dispositivo; son económicos, adecuados para regiones cálidas. Calientan agua directamente con la radiación solar, aunque su eficiencia disminuye de noche, por lo que requieren uso inmediato o respaldo con gas/electricidad.



**Figura 3.** Tecnologías de calentamiento de agua residencial, a) colectores de placa plana, b) colectores de tubos, c) sistemas autónomos.

**Fuente:** García y Figueroa, 2017.

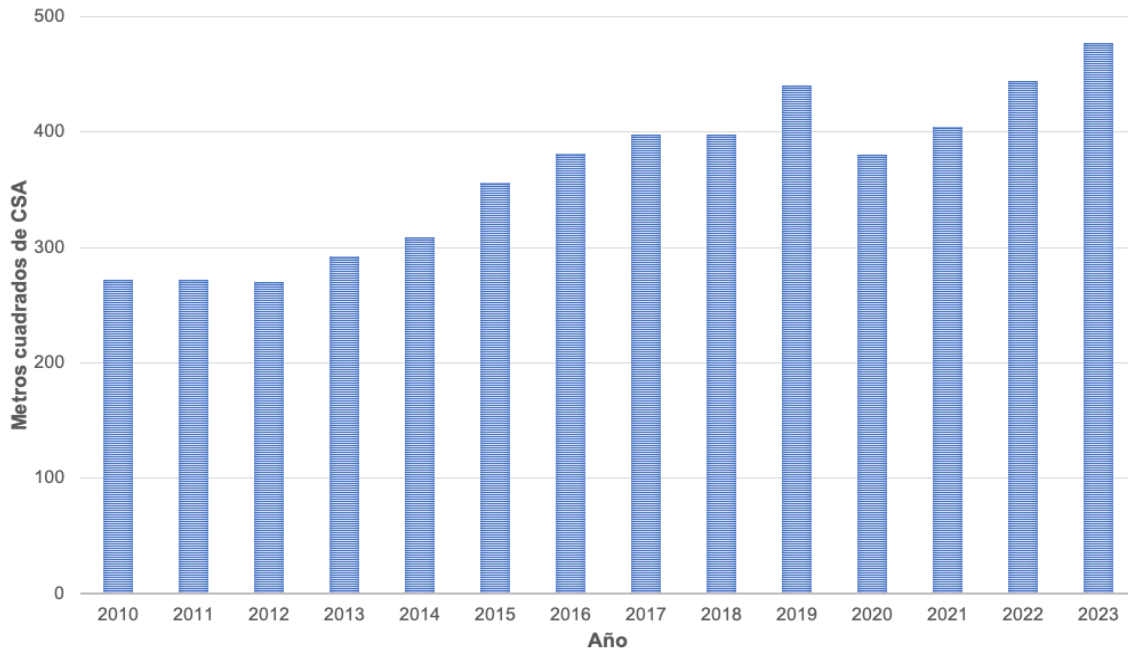
En relación con el crecimiento global de los CSA, en los últimos años, varios países han implementado medidas para acelerar su adopción. En 2022, la superficie total de CSA y calentadores solares de aire en operación alrededor del mundo superó los 775 millones de m<sup>2</sup> de superficie de captación (Solar Heat Worldwide, 2024).

En 2023, la capacidad instalada total en todo el mundo alcanzó los 18 GWt (26 millones de m<sup>2</sup> de superficie de captación), logrando una capacidad termosolar operativa de 560 GWt, equivalente a 800 millones de m<sup>2</sup> de área de captación. Esto supuso un aumento del 3% en comparación con el año anterior, ya que en el 2022 se tenía una capacidad de 542 GWt, equivalente a 744 millones de m<sup>2</sup> de área de captación. Según el informe Solar Heat Worldwide (Solar Heat Worldwide, 2024), la producción anual de energía solar térmica en 2023 ahorró 49.1 millones de toneladas de petróleo y redujo 158.4 MtCO<sub>2</sub>, lo que demuestra la magnitud de los beneficios ambientales de esta tecnología (Solar Heat Worldwide, 2024). Aunque China es el principal impulsor en la fabricación, en el uso y la demanda, México logró avances significativos; para el 2022, se ubicó entre los 10 principales líderes del mercado en esta tecnología.

México lleva varias décadas aprovechando la energía solar térmica; en 2017, el país ocupó el segundo lugar en América Latina, después de Brasil, con un área instalada de 3.7 millones de m<sup>2</sup> de colectores solares térmicos, distribuidos en los sectores residencial, comercial e industrial (Solar Payback, 2018).

El número de colectores solares instalados en México ha aumentado significativamente en la última década. De acuerdo con un informe de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), en colaboración con Fabricantes Mexicanos de Energías Renovables (FAMERAC), los siguientes datos reflejan este crecimiento: en 2010 se instalaron 272,000 m<sup>2</sup> de colectores solares, mientras que en 2020, la cifra aumentó a 380,000 m<sup>2</sup>. La industria nacional alcanzó su nivel más alto en 2019, con un total de 477,000 m<sup>2</sup> instalados. La Figura 4 muestra la evolución de las instalaciones de CSA en México durante el período 2010-2023.

Es importante señalar que el aumento de la superficie instalada de CSA térmicos en el sector residencial se debe en gran medida a los programas de promoción implementados en el país (Secretaría de Energía, 2023).



**Figura 4.** Superficie total de colectores solares instalados en México por año/m<sup>2</sup> de CSA.

**Fuente:** Elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía, 2023.

## 2. Materiales y Métodos/ Metodología

Un primer paso es estimar el impacto energético, ambiental además del impacto económico de una instalación de CSA estándar en las tres regiones climáticas de México: cálida, templada y tropical (Figura 5), (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018).



**Figura 5.** Regiones climáticas.

**Fuente:** Elaboración propia adaptada del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018.

Para cada región, se modeló una familia de cuatro integrantes (tamaño promedio del hogar según el Censo de 2020), asumiendo un consumo de 40 litros por persona (Norma ambiental para el Distrito Federal, 2006) y una temperatura requerida de 45 °C. La simulación utilizó una caldera de GLP (74% de eficiencia;

Norma Mexicana, 2010), un CSA de 150 litros como capacidad mínima (Norma Oficial Mexicana, 2018), un área de recolección solar de 1.8 m<sup>2</sup> y un costo total del proyecto de \$17,400 pesos (precios 2022). A partir de estos supuestos, se realizó una simulación utilizando el "software para el cálculo del ahorro de combustible en vivienda" (García, 2017). Este software incorpora datos climatológicos y curvas de caracterización para el funcionamiento tanto diurno como nocturno del sistema. Los datos de cada sistema se obtienen de acuerdo con el Capítulo 7 de la Norma Mexicana NMX-ES-004-NORMEX-2010, que establece el método de prueba para evaluar y comparar el desempeño térmico de los sistemas de CSA domésticos (Norma Mexicana, 2010).

Las curvas de caracterización se obtienen a través de balances energéticos, utilizando valores registrados de radiación solar, temperatura ambiente promedio y un valor conocido de la temperatura del agua contenida al inicio de las pruebas. Con estos datos se calcula la ganancia neta de energía, que absorbe el volumen de agua contenida dentro del equipo en la prueba diurna además de las pérdidas de energía durante el periodo nocturno. Estas curvas son características de cada sistema, e indican la relación existente entre la energía útil del equipo y la irradiancia

solar. Pueden ser descritas como se muestra en las ecuaciones 1 y 2 (NORMEX, 2010).

$$K_1 - U_{diurno} \frac{(T_{in} - T_{amb})_{diurno}}{H} = \frac{Q_{U,diurno}}{H} = \frac{mC(T_{fin} - T_{in})_{diurno}}{H} \quad (1)$$

$$K_2 - U_{nocturno} \frac{(T_{in} - T_{amb})_{nocturno}}{mC(T_{fin} - T_{in})_{nocturno}} = \quad (2)$$

Donde:

$Q_{U,diurno}$ : Calor útil contenido en el agua almacenada al final del periodo diurno, en MJ.

H: Radiación solar incidente sobre el plano del colector solar en unidades de irradiación y durante el periodo de la prueba diurna, MJ/m<sup>2</sup>.

$K_1$ : Constante del sistema que pudiera representar a un valor equivalente del sistema de una absorptividad por un área de captación, m<sup>2</sup>.

$K_2$ : Constante del sistema que pudiera representar un remanente de energía o bien una diferencia debida a los errores inherentes a las incertidumbres de las mediciones cuando  $T_{in}=T_{amb}$ , MJ.

$U_{diurno/nocturno}$ : Coeficiente de pérdidas del sistema para el periodo diurno/nocturno, MJ/°C.

$T_{ini,diurno/nocturno}$ : Temperatura homogénea del agua contenida en el equipo al inicio de la prueba diurna/nocturna, °C.

$T_{amb,diurno/nocturno}$ : Temperatura promedio del medio ambiente durante el periodo de la prueba diurna/nocturna, °C.

$T_{fin,diurno/nocturno}$ : Temperatura promedio del medio ambiente durante el periodo de la prueba diurna/nocturna, °C.

$m$ : Masa de agua contenida en el equipo, kg.

$C$ : Capacidad calorífica del agua líquida, 0.004186 MJ/(kg °C).

A partir de las curvas características del sistema y los datos climatológicos del sitio, el software calcula la energía obtenida por el CSA día a día a lo largo del año, en comparación con la energía requerida por el usuario. Con esta información se determina mensualmente la contribución del CSA, el ahorro de combustible obtenido, las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas en la atmósfera, el tiempo de amortización de la inversión, la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN). Estos cálculos

permiten evaluar el rendimiento así como la rentabilidad del CSA térmico (García, 2017).

Para determinar la relación entre MJ y kg de GLP, se calcula dividiendo la ganancia de calor del sistema por día, entre el poder calorífico del GLP y la eficiencia de conversión energética mínima. Como se indica en la ecuación 3 (NORMEX, 2010).

$$m_{gas,LP} = \frac{m_v C (T_{fin,nocturna} - T_{ini,diurna})}{PC * EGC} \quad (3)$$

Donde:

$m_{gas,LP}$ : Masa de gas LP en kg.

$m_v$ : Masa de agua contenida en el volumen de termostanque.

$C$ : Capacidad calorífica del agua líquida, 0.004186 MJ/(kg °C).

$T_{ini,diurno/nocturno}$ : Temperatura homogénea del agua contenida en el equipo al inicio de la prueba diurna/nocturna, °C.

$T_{fin,diurno/nocturno}$ : Temperatura promedio del medio ambiente durante el periodo de la prueba diurna/nocturna, °C.

$PC$ : Poder calorífico del gas LP 46.057 MJ/kg.

$EGC$ : Eficiencia de conversión energética ( $EGC=0.74$ ), es la eficiencia mínima de 74% para calentadores de gas de acuerdo a la norma correspondiente.

Al tener la cantidad de combustible al mes, se puede calcular los kilogramos de CO<sub>2</sub> que se evitarían al multiplicar por el factor de emisión correspondiente. Factor de emisión de GLP=3 kg/CO<sub>2</sub>/kg (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2014).

## 2.1 Modelación energética, financiera y ambiental

Con los datos previamente descritos, se realizó una modelación energética, financiera y ambiental para las tres regiones del país. Los resultados muestran que la región templada, requiere un mayor consumo de energía (7,852 MJ); por tanto, para cubrir esta demanda térmica, se necesitarían 303 kg de gas al año. En consecuencia, el clima templado resulta ser el más propicio para la instalación de un CSA, con un ahorro de \$4,944 pesos y un periodo de recuperación de la inversión de 33 meses, en

contraste con los 53 meses que requiere el clima tropical. Respecto a la mitigación de emisiones, el impacto ambiental es superior en la zona templada, donde se evitan 6 tCO<sub>2</sub> en 10 años, lo que resulta congruente con el ahorro de GLP (201 kg) en esa zona. Finalmente, considerando que la rentabilidad aumenta proporcionalmente a la TIR, el valor obtenido del 40% confirma que la inversión es altamente atractiva, ver Tabla 1.

En síntesis, la demanda anual de energía térmica para calentamiento de agua varía según el tipo de clima. En particular, los climas templados tienen la mayor demanda de energía, lo que implica un mayor ahorro económico y beneficios ambientales cuando se utiliza un CSA para satisfacer las necesidades de agua caliente.

**Tabla 1.** Resultados del análisis energético, financiero y ambiental para los climas: cálido, templado y tropical.

<b>Análisis energético, financiero y medioambiental</b>	<b>Cálido</b>	<b>Templado</b>	<b>Tropical</b>
Consumo de energía anual requerido (MJ)	5,425	7,852	4,523
Energía anual entregada por el sistema (MJ)	4,424	5,218	4,020
Consumo de gas sin CSA (kg/año)	163	303	129
Ahorro anual de gas gracias a la energía solar (kg)	133	201	114
Ahorro medio anual de combustible (MXN)	\$3,271	\$4,944	\$2,804
Factor solar medio anual (%)	81	66	88
Tiempo de amortización (meses)	47	33	53
Rentabilidad neta o ahorro a 10 años (MXN)	\$32,718	\$49,446	\$28,044
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas en 10 años (tCO <sub>2</sub> )	4	6	3
TIR a 10 años (%)	27	40	22

Por el contrario, las regiones cálidas y tropicales no necesitan un sistema tan eficiente como el requerido para un clima templado. En estas áreas, el factor solar supera el 80% con un período de recuperación mayor a 47 meses.

Dada la amplia gama actual de sistemas y costos, sería aconsejable seleccionar un sistema adecuado para cada región con el fin de optimizar el tiempo de amortización. Además, el ahorro anual de gas dependerá del tamaño y el rendimiento del sistema de CSA elegido para satisfacer las necesidades específicas de cada hogar.

Para determinar el potencial técnico inicial de un Programa Nacional de CSA, se realizó un análisis basado en información actualizada de los 35 millones de hogares en México, donde

viven 126 millones de personas. El estudio consideró aspectos técnicos clave para la instalación además de la operación óptima de los sistemas, que incluyen: techos de losa, propiedad de viviendas, tanques en la azotea y disponibilidad de agua entubada. Utilizando estos criterios, se identificó un potencial técnico de 14.1 millones de hogares en la zona templada, 3.8 millones en la zona tropical y 2.8 millones en la zona cálida.

Tener en cuenta estos datos para implementar un programa de CSA produciría beneficios que incluyen ahorros significativos de gas, emisiones de CO<sub>2</sub> reducidas y una reducción en la importación de millones de barriles de GLP por año. Estos impactos se detallan en la Tabla 2, destacando el potencial de CSA como una alternativa sostenible y eficiente para el país.

**Tabla 2.** Impactos nacionales de la adopción de CSA por parte de las regiones climáticas.

<b>Región</b>	<b>Viviendas (millones)</b>	<b>Ahorro anual de gas (millones de toneladas)</b>	<b>Importaciones de GLP evitadas (millones de barriles)</b>	<b>CO<sub>2</sub> evitado Anual (MtCO<sub>2</sub>)</b>
Templado	14.1	2.8	32.9	8.5
Tropical	3.8	0.4	5.9	1.1
Cálido	2.8	0.3	4.4	1.1

## 2.2 Propuesta de programa piloto para el oriente de la Ciudad de México

Se analizaron diversas fuentes de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), considerando aspectos técnicos clave para la instalación y operación de un CSA, tales como: tipo de vivienda (propia), disponibilidad de agua y las viviendas que podrían contar con un sistema de respaldo (boiler de gas), entre otros.

Con base en el análisis de la información y los criterios de selección, se destacan:

### 1. Tipo de vivienda:

De acuerdo con el Censo 2020 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2020), en la Ciudad de México existen 2,757,433 viviendas habitadas (privadas y colectivas) y 9,206,306 habitantes. El programa se centra en viviendas privadas habitadas, que suman 2,756,319.

### 2. Construcción de viviendas:

Se consideraron viviendas con losa o viga de concreto y techos de bóveda, de acuerdo con la clasificación del cuestionario ampliado del INEGI. Aplicando este criterio, el número de viviendas elegibles se redujo a 2,563,344.

### 3. Disponibilidad de agua y equipos:

Para garantizar el acceso a servicios básicos como cocinar o bañarse, se analizaron los hogares con ducha, CSA. Se consideraron los hogares con al menos una ducha, reduciendo el total a 2,284,175 hogares.

### 4. Hogares con caldera o calentador de agua:

Se identificaron 2,177,085 hogares con este equipamiento, lo que indica que ya cuentan con servicio de agua caliente.

### 5. Hogares con un CSA instalado:

Se aplicó un criterio de exclusión a los hogares que ya cuentan con un CSA, identificándose 158,803 hogares en esta situación.

Considerando los criterios anteriores, existe un potencial máximo de 2,050,385 hogares en el oriente de la Ciudad de México que podrían estar equipados con la tecnología y que además cuentan con equipos de respaldo existentes para días nublados que no podrían ser cubiertos sólo por el sistema CSA.

Para la implementación de un programa piloto en el oriente de la Ciudad de México, la muestra se limitó a siete distritos: Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco, Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Así, el número máximo cubierto por el programa sería de 927,747 viviendas, lo que podría beneficiar a 3,252,182 personas.

### 6. Vivienda habitada por el propietario:

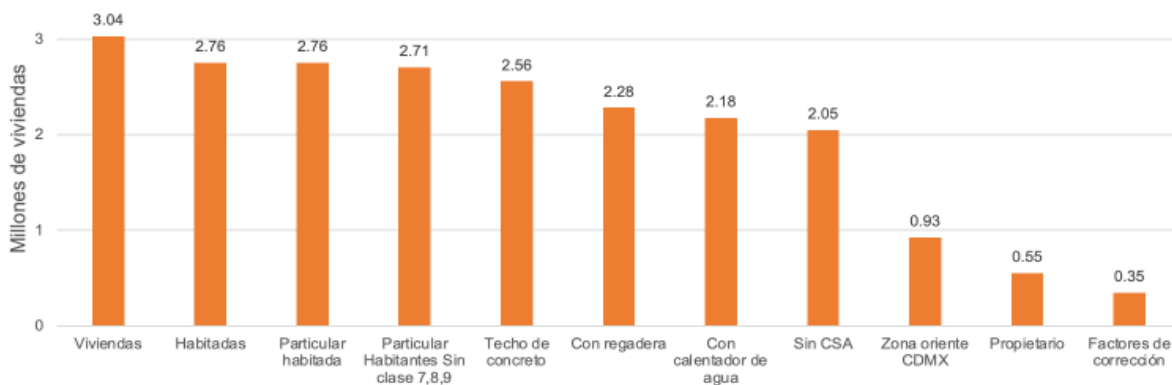
La presencia del propietario es un factor clave en la implementación de programas de eficiencia energética, ya que permite tomar decisiones sobre la propiedad. Considerando sólo las viviendas ocupadas por sus propietarios, el potencial del programa se reduce a 551,619 viviendas, con un total de 2,010,795 personas beneficiadas.

Finalmente, si se toman en cuenta todos los criterios anteriores, el potencial técnico de las viviendas candidatas para el programa piloto de CSA en el oriente de la Ciudad de México alcanzaría las 345,575 viviendas (Figura 6).

El financiamiento de la tecnología es un aspecto clave para impulsar un programa de CSA. Por esta razón, se realizó un análisis considerando los gastos que el Gobierno Federal, a través de Petróleos Mexicanos (Pemex) destinó en 2021 a la importación de GLP para abastecer el mercado interno. Este estudio incluyó la proporción de consumo de GLP utilizada para el calentamiento de agua sanitaria, identificando el potencial de sustitución a través de la instalación de CSA.

Por otro lado, las importaciones de GLP en 2021 ascendieron a 181 mbd, lo que significa que aproximadamente dos de cada tres barriles consumidos en el país se compraron en el extranjero. Esta dependencia de los mercados internacionales representa un riesgo para la seguridad energética de México, ya que aumenta la vulnerabilidad a las fluctuaciones de precios en mercados clave.

Hasta 2015, Pemex era responsable de todas las importaciones de GLP, sin embargo, con la reforma energética, el sector privado comenzó a participar en la importación y distribución de combustibles, creando un mercado más competitivo. Desde entonces, Pemex ha reducido su participación en las importaciones, representando sólo el 36.9% del total en 2021.



**Figura 6.** Desglose de datos para estimar el potencial de los CSA en la ciudad de México por criterio/millones de viviendas.

**Fuente:** Elaboración propia.

Durante ese mismo año, la cantidad de GLP importada por Pemex alcanzó los 66.9 mbd, el mayor volumen registrado desde 2016. Debido al aumento de los precios internacionales, Pemex invirtió \$1,292 millones de dólares en importaciones de GLP para abastecer el mercado interno (Secretaría de Energía, s.f.).

Si consideramos que un programa de CSA podría beneficiar a 350,000 hogares, y tomamos como referencia el volumen —y costo— de las importaciones de Pemex en 2021, así como el ahorro de gas por el uso de CSA, se observarían impactos inmediatos. Suponiendo que el programa tenga un costo de \$350 millones de dólares, esto permitiría un ahorro de 70,350 toneladas de gas al año y una reducción de 211,400 tCO<sub>2</sub>. Además, se eliminaría la importación de 818,000 barriles de GLP al año lo que representaría un ahorro aproximado de 52 millones de dólares al año. En otras palabras, el costo total del programa equivaldría a sólo el 20% del monto destinado por Pemex a las importaciones de GLP en 2021. Esto demuestra que la asignación de recursos a programas de energía renovable, como los CSA, podría generar importantes beneficios económicos, ambientales y sociales.

### 3. Análisis y discusión de resultados

El análisis realizado evidenció que la instalación de calentadores solares de agua puede generar un ahorro energético significativo en los hogares de comunidades vulnerables.

Desde el punto de vista técnico, los modelos evaluados que se presentan en la Tabla 1,

demonstraron una eficiencia adecuada para las condiciones climáticas mexicanas, con un rendimiento óptimo durante la mayor parte del año gracias a la alta radiación solar disponible en las regiones consideradas. Esto confirma que la tecnología es apropiada para su aplicación en el contexto nacional.

Los CSA ofrecen una solución rentable para combatir la pobreza energética al proporcionar energía limpia para calentar el agua. Según Tagle y Álvarez (2019), estos sistemas se han integrado fácilmente en la vida cotidiana debido a su bajo mantenimiento, impacto ambiental positivo y beneficios socioeconómicos.

El uso de CSA contribuye a reducir el consumo y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. Esto, a su vez, impulsaría una transición energética justa y sostenible. Además de generar ahorros económicos, su implementación traería beneficios ambientales al reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, al tiempo que mejoraría la salud pública y promovería la creación de empleos, entre otras ventajas sociales y económicas. Para que México avance hacia el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 de la Agenda 2030 que promueve el acceso a energía asequible, segura y sostenible, es fundamental implementar una política pública sólida, generalizada, centrada en el uso de energías renovables, incluyendo la adopción de CSA (El Poder del Consumidor y Fundación Heinrich Böll, 2023).

Un CSA estándar para una familia con cuatro miembros, puede reducir el consumo de combustibles fósiles entre un 60 y un 80%,

ahorrando más de \$4,000 pesos por hogar por año. Aunque el retorno de la inversión de estos sistemas es inferior a cuatro años, su vida útil es de al menos 15 años, generando beneficios netos superiores a 11 años.

El análisis de un Programa Nacional indica un potencial técnico inicial de 14.1 millones de hogares en la zona templada, 3.8 millones en la zona tropical y 2.8 millones en la zona cálida. De acuerdo con los resultados de la Tabla 2, la adopción de estos sistemas permitiría un ahorro total anual de 3.8 millones de toneladas de gas, con una reducción de 10 MtCO<sub>2</sub>, lo que evitaría la importación de 42 millones de barriles de GLP al año, generando un ahorro aproximado de \$2,744 millones de dólares para el país.

A nivel de los hogares, de acuerdo con la Tabla 1, el análisis en las tres regiones del país indica que la demanda anual de energía para calentar agua oscila entre 4,523 y 7,852 MJ, lo que equivale a un consumo de 129 a 303 kg de GLP. Sin embargo, un CSA podría cubrir un promedio del 66 al 88% de esta energía, ahorrando más de \$4,000 pesos en combustible. El periodo de amortización se estima entre 33 y 53 meses, además de que en 10 años cada familia evitaría la emisión de más de 3 toneladas de CO<sub>2</sub>.

Un proyecto piloto de 350,000 viviendas podría ahorrar 70,350 toneladas de gas, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en 211,400 toneladas, disminuyendo la importación de 818,000 barriles de GLP al año, ahorrando aproximadamente 52 millones de dólares anuales, con este tipo de pruebas piloto, se podrían aportar resultados para estudios comparativos con otras estrategias de demanda doméstica de energía y agua. Un costo que no se consideró en los cálculos, fue el tema del mantenimiento, recomendado cada 6 meses, por el mismo usuario (drenar agua de tanque para remover sales y minerales), o cada año por el proveedor considerando el cambio de algún elemento del CSA.

Con base en los resultados obtenidos y para garantizar la implementación exitosa de un programa de CSA, es esencial la colaboración entre varios sectores, incluidos el gobierno, el sector privado, la sociedad y la academia. Esto requiere un enfoque en varios aspectos clave:

**Participación del gobierno.** El Gobierno Federal debe promover el uso de energías renovables,

ya sea a través de CSA u otras tecnologías, mediante la creación de políticas públicas que aseguren el éxito y la sostenibilidad de estos programas.

**Mecanismos de comercialización y financiación.** Uno de los principales obstáculos para la adopción generalizada de CSA es el alto costo de inversión inicial. Por lo tanto, es crucial desarrollar esquemas de financiamiento accesibles, como opciones de contratación flexibles y la integración de más instituciones financieras en estos procesos.

**Fortalecimiento de la industria nacional.** Promover el crecimiento de las empresas manufactureras existentes y la creación de nuevas empresas para aumentar la capacidad de la industria mexicana. Uno de los beneficios sería la creación de empleo en todos los niveles.

**Normativa y certificación.** Los sistemas deben cumplir con la certificación NOM-027-ENER/SCFI-2018, vigente desde 2018, para asegurar la calidad del producto instalado. El programa CSA ayudaría a los organismos de certificación y laboratorios de pruebas a volver a funcionar.

**Calidad de las instalaciones.** Garantizar mediante la contratación de instaladores certificados, capacitados para instalar, operar y dar mantenimiento los sistemas. Esto incluirá la capacitación de técnicos de instalación, supervisores de sitio, distribuidores y otros.

**Formación y participación de los usuarios.** Educar a los usuarios, crear oportunidades para su integración ayudará a tomar decisiones sobre el tipo de CSA más apropiado de acuerdo con sus necesidades, así como aumentar la comprensión del funcionamiento del sistema, lo que a su vez reducirá la desconfianza en torno a su uso.

**Divulgación y sensibilización.** Lanzar campañas de divulgación para concienciar a los usuarios sobre los beneficios, el rendimiento de la tecnología, el ahorro de combustible y las emisiones evitadas. Esta información debe basarse tanto en datos duros como en casos de éxito de los propios usuarios. Esta acción también implica concientizar sobre los costos energéticos y económicos de una actividad básica como es el calentamiento del agua.

Desarrollo de las economías locales. El retorno de la inversión depende del buen rendimiento de los equipos, por lo que se deben desarrollar las economías locales para crear cadenas de suministro, especialmente en regiones remotas.

Monitoreo y seguimiento. Monitorear, documentar los ahorros generados, los impactos reales, las lecciones aprendidas a través del monitoreo, el apoyo brindado a los usuarios para garantizar el rendimiento, la durabilidad de los sistemas, que permitan alcanzar los ahorros esperados.

Estrategias de sostenibilidad. Crear estrategias para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos, así como la capacitación de los usuarios y el personal de mantenimiento del sistema.

### Conclusiones

Los CSA representan una tecnología limpia con un alto potencial para reducir la pobreza energética vinculada a limitaciones económicas, desigualdades sociales y a la dependencia de fuentes de energía convencionales costosas, así como contribuir a una transición energética justa y sustentable en México.

A nivel social, la expansión de esta tecnología no sólo mejoraría la calidad del aire y la salud pública, sino que también fomentaría la creación de empleos y el acceso a las energías renovables. Su adopción permitiría cubrir entre el 66% y el 88% de la demanda energética para el calentamiento de agua en los hogares, lo que se traduce en un ahorro económico de más de \$4,000 pesos anuales por familia, con un retorno de inversión en menos de cuatro años. Además, su implementación a gran escala generaría importantes impactos ambientales, como la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> -más de 10 millones de toneladas anuales- y una reducción considerable de la importación de GLP, lo que podría representar un ahorro de hasta 2,744 millones de dólares anuales tanto para las familias como para el país.

En este trabajo se propone sustituir los subsidios del GLP, destinados al uso doméstico,

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la aportación del Mtro. Juan Ignacio Navarrete Barbosa.

por esquemas de financiamiento para facilitar la adquisición e instalación de CSA en los hogares de bajos ingresos. Esta opción contribuiría a reducir la demanda e importación de gas y disminuiría de manera importante la emisión de gases de efecto invernadero.

Un reto importante es que el CSA se fabrique en México a un costo de producción inferior en comparación con los importados de otros países, lo que incrementaría la competitividad de los productos nacionales.

Actualmente, varias tecnologías se comercializan en nuestro país sin certificación vigente (NOM-027-ENER/SCFI-2018), lo que pone en riesgo la confiabilidad de la tecnología.

Finalmente, es fundamental promover el desarrollo de calentadores de agua autónomos, ya que prometen sistemas de menor costo, representando una opción para las comunidades rurales con falta de sistemas de respaldo.

### Nomenclatura

°C	Grados Celsius
GWt	Gigavatio Térmico
kg	Kilogramo
kWh/m <sup>2</sup>	Kilovatio-hora por metro cuadrado
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
MtCO <sub>2</sub>	Millones de Toneladas de Dióxido de Carbono
MJ	Megajulio
PJ	Petajulio
tCO <sub>2</sub>	Tonelada de Dióxido de Carbono
US\$	Dólares Americanos
\$ /	
MXN	Pesos Mexicanos

### REFERENCIAS

Ahmed, S. F., Khalid, M., Vaka, M., Walvekar, R., Numan, A., Rasheed, A. K., y Mubarak, N. M. 2021. Progreso reciente en calentadores de agua solares y colectores solares: una

- revisión exhaustiva. Progreso de la ciencia e ingeniería térmica, 25, 100981. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100981>
- Alipour, M., Zare, S. G., Taghikhah, F. y Hafezi, R. 2023. Predictores sociodemográficos e individuales del comportamiento de adopción de calentadores de agua solares residenciales. Investigación energética y ciencias sociales, 101, 103155. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103155>
- Al-Mamun, M. R., Roy, H., Islam, M. S., Ali, M. R., Hossain, M. I., Aly, M. A. S., Khan, M. Z. H., Marwani, H. M., Islam, A., Haque, E., Rahman, M. M. y Awual, M. R. 2023. Estado del arte en sistemas solares de calentamiento de agua (SWH) para la utilización sostenible de energía solar: una revisión exhaustiva. Energía solar, 264, 111998. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111998>
- Arefin, M., Hasan, M. y Azad, A. 2011. Características y análisis de costos de un sistema solar automático de agua caliente en Bangladesh. Int Proc Chem Biol Environ Eng, 6.
- Asociación de Ciencias Ambientales (ACA) 2023. <https://www.cienciasambientales.org.es/index.php/ique-es-la-pobreza-energetica>
- Chang K., Lee T. y Chung K. 2006. Calentadores de agua solares en Taiwán. Energía renovable, 31(9), 1299-1308. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.07.003>
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). 2014. "Calentamiento Solar de Agua-Programa de Calentamiento Solar de Agua 2014-2018". <https://www.gob.mx/conuee/acciones-yprogramas/calentamiento-solar-de-agua-programa-de-calentamientosolar-de-agua-2014-2018>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (s.f.). <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/PobrezalInicio.aspx>
- Contreras, M., Serrano-Medrano, M. y Masera, O. 2022. Patrones de consumo energético en el sector residencial de México: un análisis desde la perspectiva de usos finales. México: Pronace ecc-Conahcyt. [https://secihti.mx/wp-content/uploads/pronaces/micrositios/energia\\_y\\_cambio\\_climatico/energia/cuadernos\\_tematicos/Cuaderno\\_Tematico\\_I\\_Pronaces\\_ECC\\_ISBN\\_final.pdf](https://secihti.mx/wp-content/uploads/pronaces/micrositios/energia_y_cambio_climatico/energia/cuadernos_tematicos/Cuaderno_Tematico_I_Pronaces_ECC_ISBN_final.pdf)
- El Poder del Consumidor y Fundación Heinrich Böll. 2023. Hacia una transición energética justa: Fomentando el uso de calentadores solares de agua en México. <https://elpoderdelconsumidor.org/wp-content/uploads/2023/10/d-2310-hi-hacia-una-transicion-energetica-justa-fomentando-el-uso-de-calentadores-solares-d-agua.pdf>
- Evalúa, M. 2022. Seremos más libres si tenemos acceso a energía limpia y asequible. México Evalúa. <https://www.mexicoevalua.org/seremos-mas-libres-si-tenemos-acceso-a-energia-limpia-y-asequible/>
- Eze, F., Egbo, M., Anuta, U. J., Ntiriwaa, O. R., Ogola, J. y Mwabora, J. 2024. Una revisión sobre la tecnología de calentamiento solar de agua: impactos de parámetros y estudios tecnoeconómicos. Boletín del Centro Nacional de Investigación/Boletín del Centro Nacional de Investigación, 48(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-024-01187-1>
- Fadzlin, W. A., Hasanuzzaman, M., Rahim, N. A., Amin, N. y Said, Z. 2022. Desafíos globales de las tecnologías actuales de calentamiento solar de agua integrado en edificios y sus perspectivas: una revisión exhaustiva. Energías, 15(14), 5125. <https://doi.org/10.3390/en15145125>
- Gambade, J., Noël, H., Glouannec, P. y Magueresse, A. 2023. Modelo numérico de producción intermitente de agua caliente solar. Energía renovable, 218, 119368. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119368>
- García Ochoa, R. 2023. Pobreza energética en el hogar. Ciencias y Humanidades (7), 34-47. [https://secihti.mx/wp-content/uploads/publicaciones\\_conacyt/ciencias\\_y\\_humanidades/07\\_Ciencias\\_y\\_Humanidades.pdf](https://secihti.mx/wp-content/uploads/publicaciones_conacyt/ciencias_y_humanidades/07_Ciencias_y_Humanidades.pdf)
- García Valladares, O. 2017. Fordecyt 190603: Estudio sobre el uso de la energía solar en

- aplicaciones residenciales, industriales y comerciales en diferentes estados del país. <http://www.fordecyt.ier.unam.mx/>
- García Valladares, O., y Pilatowsky Figueroa, I. (coords.). 2017. Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial. Primera edición-Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Energías Renovables. <http://www.fordecyt.ier.unam.mx/pdf/pdfTermoSolar.pdf>
- Gayen, D., Chatterjee, R. y Roy, S. 2023. Una revisión de los impactos ambientales de la energía renovable para el desarrollo sostenible. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Ambiental*, 21(5), 5285-5310. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05380-z>
- Ibáñez Martín, M. M., Zabaloy, M. F., Reyes Pontet, M. D., Chaz Sardi, M. C. y González, F. A. I. 2022. ¿Cómo aliviar la pobreza energética a partir de energías renovables? Diseño de un ensayo aleatorio en barrios vulnerables. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, 12(1), e110. <https://doi.org/10.24215/18537863e110>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2014). "Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México". [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC\\_2014\\_FE\\_tipos\\_combustibles\\_fosiles.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2018. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI). INEGI <https://www.inegi.org.mx/programas/encevi/2018/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2020. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2020. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nic/2020/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2022. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2022. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nic/2022/>
- Jahangiri, M., Akinlabi, E. T. y Sichilalu, S. M. 2021. Evaluación y modelado de la aplicación de calentadores de agua solares a escala doméstica en Zambia: análisis técnico, ambiental y energético. *Revista Internacional de Fotoenergía*, 2021, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2021/6630338>
- Mostafaeipour, A., Zarezade, M., Soltani, S. R. K., Dehshiri, S. J. H., Dehshiri, S. S. H., Xuan, H. A., Dhanraj, J. A., Techato, K., Chowdhury, S. e Issakhov, A. 2021. Un nuevo modelo conceptual para el uso de calentadores de agua solares en regiones cálidas y secas. *Tecnologías y evaluaciones de energía sostenible*, 49, 101710. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101710>
- Norma ambiental para el Distrito Federal (NADF). 2006. Norma ambiental para el Distrito Federal NADF008-AMBT-2005 que establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en albercas, fosas de clavados, regaderas, lavamanos, usos de cocina, lavanderías y tintorerías. *Gaceta Oficial del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente (Sedema)*. 7 de abril de 2006. <https://paot.org.mx/centro/normas/NADF-008-AMBT-2005.pdf>
- Naidoo, A. 2020. Los impactos socioeconómicos de los calentadores de agua solares comparados en dos comunidades: Un estudio de caso de Cato Manor. *Revisión de energía renovable y sostenible*, 119, 109525. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109525>
- Norma Mexicana (NMX). 2010. Declaratoria de vigencia de la Norma Mexicana NMX-ES-004-NORMEX-2010. Energía solar-evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua-método de prueba. *Diario Oficial de la Federación*. 12 de abril de 2010. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5138268&fecha=12/04/2010#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5138268&fecha=12/04/2010#gsc.tab=0)

- Norma Oficial Mexicana (NOM). 2018. Norma Oficial Mexicana NOM-027-ENER/SCFI-2018, Rendimiento térmico, ahorro de gas y requisitos de seguridad de los calentadores de agua solares y de los calentadores de agua solares con respaldo de un calentador de agua que utiliza como combustible gas l.p. o gas natural. Especificaciones, métodos de prueba y etiquetado. [payback.com/wp-content/uploads/2018/06/Solar-Payback\\_Calor-Solar-para-la-Industria\\_Mexico.pdf](https://www.payback.com/wp-content/uploads/2018/06/Solar-Payback_Calor-Solar-para-la-Industria_Mexico.pdf)
- Sanguinetti, A., Outcault, S., Alston-Stepnitz, E., Moezzi, M. e Ingle, A. 2021. Calentamiento solar de agua residencial: adoptantes de California y sus experiencias. *Energía renovable*, 170, 1081-1095. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.031>
- Santiago, J. 2023. México ya es la economía número 11 a nivel mundial: Raquel Buenrostro. *El Economista*, Consultado en 16 octubre de 2023. <https://www.economista.com.mx/economia/Mexico-ya-es-la-economia-11-a-nivel-mundial-Raquel-Buenrostro-20231025-0085.html>
- Schimer, S. R., Weiss, M., Lampis, A., Bermann, C., Hallack, M. 2023. Pobreza Energética en Los Hogares y su Relación con Otras Vulnerabilidades en América Latina: El Caso de Argentina, Brasil, Colombia, Perú y Uruguay. BID. <http://dx.doi.org/10.18235/0004702>
- Schuwab, K. 2019. El Informe de Competitividad Global 2019. Foro Económico Mundial. ISBN-13: 978-2-940631-02-5
- Secretaría de Energía (SENER). s.f. Sistema de Información Energética. <https://sie.energia.gob.mx/>
- Secretaría de Energía (SENER). 2023. Balance Nacional de Energía 2023. México: SENER. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/977268/Balance\\_Nacional\\_de\\_Energ\\_a\\_2023.FINAL06.02.2025.1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/977268/Balance_Nacional_de_Energ_a_2023.FINAL06.02.2025.1.pdf)
- Solar Heat Worldwide (SHW). 2024. Solar Heat Worldwide. Obtenido de <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2024.pdf>
- Solar Payback. 2018. Calor Solar para la Industria: México. [https://www.solar-payback.com/wp-content/uploads/2018/06/Solar-Payback\\_Calor-Solar-para-la-Industria\\_Mexico.pdf](https://www.solar-payback.com/wp-content/uploads/2018/06/Solar-Payback_Calor-Solar-para-la-Industria_Mexico.pdf)
- Solargis. 2021. Mapa ©de recursos solares 2021 Solargis. <https://solargis.com/es/resources/free-maps-and-gis-data?locality=mexico>
- Tagle Zamora, D. y Álvarez Castañón, L. 2019. Calentadores solares de agua para viviendas vulnerables en Guanajuato: ¿estrategia socioambiental? *Vivienda y comunidades sustentables* (5), 11-21. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i5.98>
- Urban, F., Geall, S. y Wang, Y. 2016. Calentadores de agua solares fotovoltaicos y solares en China: diferentes caminos hacia la energía baja en carbono. *Reseñas de energía renovable y sostenible* 64, 531-542. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.023>

## DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA EL MONITOREO DE VARIABLES EN SUELO AGRÍCOLA

*Jesús Carlos Carmona Frausto<sup>1</sup>, Adriana Mexicano Santoyo<sup>1\*</sup>, Jesús Alejandro Reyna Chavira<sup>1</sup>, Lilia Mexicano Santoyo<sup>2</sup>, Tarsicio Medina Saavedra<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Boulevard Emilio Portes Gil No. 1301 C. P. 87010 Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.*

<sup>2</sup> *Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra, Celaya, Guanajuato, México*

<sup>1</sup>[jesus.cf@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:jesus.cf@cdvictoria.tecnm.mx); [adriana.ms@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:adriana.ms@cdvictoria.tecnm.mx); [mg-2538002@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:mg-2538002@cdvictoria.tecnm.mx).

<sup>2</sup>[l.mexicano@ugto.mx](mailto:l.mexicano@ugto.mx); [tarsicioms@ugto.mx](mailto:tarsicioms@ugto.mx).

---

**RESUMEN.** El propósito de este trabajo fue desarrollar una aplicación móvil destinada al monitoreo de datos recopilados por un dispositivo instalado en cultivos en un área urbana. En el presente artículo, se expone la estructura general de la aplicación móvil desarrollada, así como la arquitectura del sistema del que se encuentra conectada. Los servicios en la nube de la aplicación se encargan de clasificar los datos históricos obtenidos por el dispositivo para generar recomendaciones oportunas para el tratamiento del cultivo en tiempo real, así como de monitorear el estado del cultivo mediante imágenes tomadas de este. La aplicación móvil desarrollada posibilitó la recomendación oportuna de valores irregulares, así como el envío de notificaciones con el uso de servicios en la nube, mediante una clasificación de acuerdo con su importancia

---

**PALABRAS CLAVE:** Notificaciones Inteligentes, Internet de las cosas, Agricultura de Precisión.

**Autor de correspondencia:** Dra. Adriana Mexicano Santoyo

**Contacto:** [adriana.ms@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:adriana.ms@cdvictoria.tecnm.mx)

**ABSTRACT.** The purpose of this work was to develop a mobile application for monitoring data collected by a device installed on crops in an urban area. This article describes the general structure of the mobile application developed, as well as the architecture of the system to which it is connected. The application's cloud services are responsible for classifying the historical data obtained by the device to generate timely recommendations for crop treatment in real time, as well as monitoring the status of the crop through images taken of it. The mobile application developed enabled the timely recommendation of irregular values, as well as the sending of notifications using cloud services, through classification according to their importance.

**KEYWORDS:** Smart Notifications, Internet of Things, Precision Agriculture.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el contexto contemporáneo, la gestión de los cultivos se ha visto confrontada a desafíos significativos relacionados con el uso eficiente de recursos y la necesidad de maximizar la productividad. Diversos factores, tales como la calidad del aire, la disponibilidad de luz solar y las propiedades fisicoquímicas del sustrato, ejercen un impacto notable en el desarrollo de los cultivos (Pire y Pereira, 2003). La variabilidad de estas condiciones, aunada a la necesidad de responder de manera oportuna ante cambios adversos, ha impulsado la búsqueda de soluciones tecnológicas que permitan un monitoreo continuo y preciso.

En respuesta a estos desafíos, se han implementado diversas soluciones tecnológicas con el propósito de determinar las necesidades específicas de los cultivos. Algunas de estas soluciones han implementado teledetección para el monitoreo a gran escala (Samreen et al., 2022), clasificación de imágenes basada en redes neuronales diseñadas para identificar enfermedades visibles en hojas (Suri et al., 2025), y la estimación de maduración de cultivos utilizando imágenes multiespectrales mediante vehículos aéreos no tripulados (Pezoa et al., 2024). Sin embargo, una de las técnicas más relevantes en el ámbito del cuidado de cultivos es la utilización de sensores instalados directamente en el suelo de las plantas, cuyo propósito es la obtención de información en tiempo real sobre las características del sustrato en el que se encuentran plantadas.

Esta técnica permite detectar y reaccionar ante cambios o irregularidades del suelo de manera inmediata, lo que se traduce en una mayor eficiencia en la gestión de los recursos hídricos, optimización en el uso de fertilizantes y un incremento de la productividad agrícola. En

consecuencia, se ha consolidado el concepto de Agricultura de Precisión (AP), que permite la realización de operaciones inteligentes mediante el uso de sensores especializados, fundamentales para la toma de decisiones basadas en datos objetivos y actualizados. La agricultura de precisión se fundamenta en seis tipos de sensores clave: de ubicación, ópticos, electroquímicos, mecánicos, de propiedades del suelo y atmosféricos, siendo estos últimos especialmente relevantes en la agricultura en entornos al aire libre (Soussi et al., 2024).

El monitoreo de las propiedades del suelo resulta particularmente importante en la agricultura sostenible, ya que permite evaluar la salud del suelo para garantizar la productividad a largo plazo, analizar la efectividad de las prácticas de gestión implementadas, optimizar el uso de fertilizantes y nutrientes, y guiar estratégicamente la gestión de la producción agrícola (Sobhy y Anandhi, 2025). Los parámetros más relevantes incluyen la humedad volumétrica, el pH, la temperatura y la disponibilidad de macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), los cuales determinan en gran medida el potencial productivo del cultivo.

A pesar de los avances tecnológicos en este campo, persisten desafíos significativos relacionados con la accesibilidad económica de los sistemas de monitoreo, la complejidad de su implementación y operación, y la necesidad de interfaces que permitan a usuarios sin conocimientos técnicos avanzados interpretar y actuar sobre los datos recopilados. La mayoría de las soluciones comerciales disponibles presentan costos elevados que limitan su adopción por parte de pequeños productores, mientras que las soluciones de código abierto frecuentemente requieren conocimientos especializados para su configuración y mantenimiento.

En este contexto, el presente trabajo presenta el desarrollo de una aplicación móvil integrada con un sistema IoT de bajo costo, dedicada al monitoreo continuo de variables fisicoquímicas del suelo mediante el uso de un dispositivo equipado con sensores capacitivos, sensores NPK, medidores de pH y temperatura, además de un módulo de captura de imágenes. El sistema implementa almacenamiento en la nube y un mecanismo de notificaciones clasificadas por prioridad, con la finalidad de que el usuario final pueda responder de manera oportuna a cambios repentinos que puedan afectar negativamente al cultivo. La solución propuesta busca democratizar el acceso a tecnologías de agricultura de precisión mediante una interfaz intuitiva y un costo de implementación accesible.

El artículo está organizado en seis secciones principales. En la primera se establece el contexto del problema y la relevancia de la agricultura de precisión. La segunda sección describe detalladamente la construcción del dispositivo IoT utilizado para la recopilación de datos, incluyendo la selección de componentes, ensamblaje e integración con servicios en la nube. La tercera sección presenta la arquitectura general del sistema, explicando la interacción entre las diferentes capas. La cuarta sección detalla la metodología empleada en el desarrollo de la aplicación móvil, incluyendo la definición de requerimientos, diseño de interfaz y fase de desarrollo. En la quinta sección se presentan los resultados obtenidos durante las pruebas de campo realizadas en un cultivo de ajo, incluyendo el análisis de parámetros fisicoquímicos y de macronutrientes. Finalmente, la sexta sección expone las conclusiones y direcciones de trabajo futuro.

## 2. CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVO

La construcción del dispositivo IoT constó de tres fases principales: la selección de componentes, el ensamblaje donde se integraron los componentes electrónicos seleccionados, y la implementación con la base de datos donde se comprobó la conexión del dispositivo con los servicios en la nube. Este dispositivo constituye el elemento fundamental del sistema, ya que es responsable de la adquisición y transmisión de datos que posteriormente serán procesados y visualizados en la aplicación móvil.

### 2.1 Selección de Componentes

La selección de componentes fue crucial para la implementación del dispositivo de monitoreo, ya que determina la calidad de los datos recopilados y la confiabilidad del sistema completo. Los principales componentes seleccionados fueron:

- **Microcontrolador ESP32:** elegido por su conectividad Wi-Fi y Bluetooth, bajo consumo energético y capacidad de procesamiento adecuada para la adquisición y envío de datos.
- **Sensor de suelo capacitivo:** utilizado por su resistencia a la corrosión y mayor durabilidad frente a sensores resistivos.
- **Módulo de cámara OV2640:** empleado para capturar imágenes del cultivo y apoyar el análisis visual.
- **Módulo convertidor TTL a RS485:** se utiliza para convertir las señales del sensor el cual utiliza comunicación RS485 a una que pueda ser leída por el microcontrolador, en este caso TTL.
- **Módulo SIM7080 (SIM 4G):** empleado para conexión alternativa mediante red celular cuando el Wi-Fi no está disponible.

La selección se basó en criterios de costo-efectividad, compatibilidad entre componentes, consumo energético optimizado y facilidad de integración con los servicios en la nube.

### 2.2 Ensamblaje de Componentes

En esta fase se integraron todos los sensores y módulos con el microcontrolador mediante las conexiones correspondientes, lo que incluyó la configuración de pines digitales y analógicos, la integración del sensor capacitivo mediante conversión analógica-digital, la conexión del módulo de cámara a través del bus I2S y la realización de pruebas individuales para verificar la correcta lectura de cada sensor. Finalmente, todo el conjunto fue ensamblado en una carcasa protectora diseñada para resistir humedad, polvo y exposición solar, garantizando al mismo tiempo una adecuada ventilación para el funcionamiento óptimo del dispositivo.

En la Figura 1 se muestra el diagrama de conexión de los componentes del sistema, en el que se representan los cables de alimentación en rojo, los de tierra en negro y los de datos en otros colores.

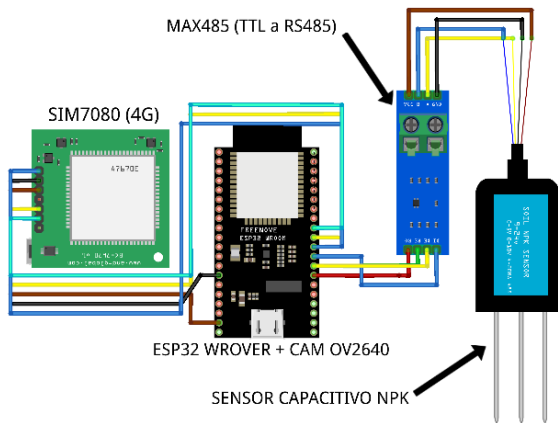


Fig. 1. Representación de la conexión de componentes

### 2.3 Implementación con la Base de Datos

La integración con la nube se realizó mediante el uso de tres servicios principales de Firebase: Firebase Realtime Database para el almacenamiento de datos de sensores, Firebase Storage para el almacenamiento de imágenes, y Firebase Authentication para la gestión de usuarios y dispositivos. Esta implementación permitió establecer una comunicación segura y eficiente entre el dispositivo IoT y la aplicación móvil.

Durante esta etapa se verificó el envío correcto de las lecturas capturadas por los sensores cada 30 minutos, la carga adecuada de imágenes al almacenamiento en la nube con compresión optimizada, el registro y autenticación de dispositivos mediante credenciales únicas generadas desde la aplicación móvil, así como el uso eficiente del ancho de banda para asegurar un desempeño óptimo durante la operación en campo, especialmente cuando se utiliza conectividad celular 4G.

El dispositivo fue programado para gestionar automáticamente los intentos de reconexión en caso de pérdida temporal de conectividad, almacenando datos localmente hasta que la comunicación se restablezca. Esta integración garantizó la disponibilidad continua de los datos y la sincronización en tiempo real entre los diferentes componentes del sistema, aspecto fundamental para cumplir con los objetivos de monitoreo establecidos.

### 2.4 Arquitectura del Sistema

El sistema desarrollado implementa una arquitectura de tres capas que facilita la comunicación eficiente entre el dispositivo IoT, los servicios en la nube y la aplicación móvil, como se muestra en la Figura 2. Esta arquitectura modular permite la escalabilidad del sistema y facilita el mantenimiento independiente de cada componente.

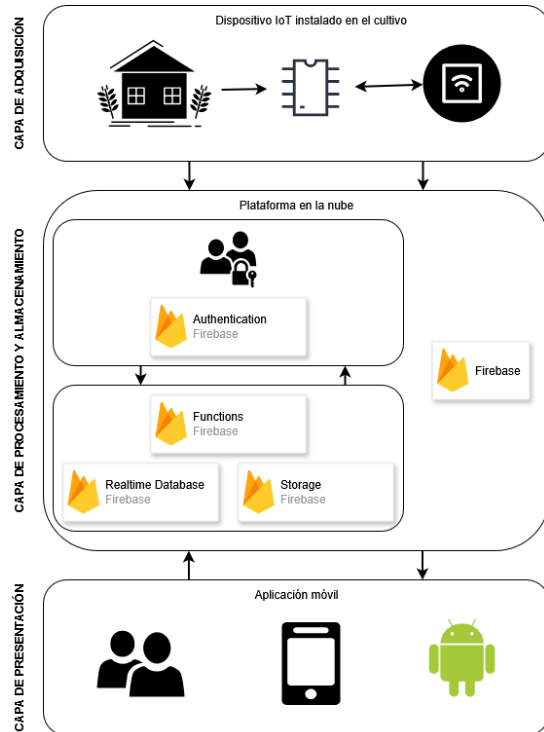


Fig. 2. Diagrama de comunicación entre servicios

**Capa de Adquisición:** Esta capa está conformada por el dispositivo IoT instalado en el cultivo, el cual integra el microcontrolador ESP32, el sensor capacitivo de humedad del suelo, sensores NPK para medición de macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), sensor de pH, sensor de temperatura y el módulo de cámara OV2640. El dispositivo realiza lecturas periódicas cada 30 minutos y transmite los datos a través de conectividad Wi-Fi o red celular 4G mediante el módulo SIM7080.

**Capa de Procesamiento y Almacenamiento:** Implementada mediante Firebase, esta capa proporciona tres servicios fundamentales. Firebase Realtime Database gestiona el almacenamiento y sincronización en tiempo real

de las lecturas de sensores, permitiendo acceso instantáneo desde múltiples clientes. Firebase Storage almacena las imágenes capturadas por el módulo de cámara, optimizando su compresión para reducir el consumo de ancho de banda. Firebase Authentication administra la autenticación de usuarios y dispositivos, garantizando que solo usuarios autorizados puedan acceder a los datos del sistema (Tomás et al., 2019).

**Capa de Presentación:** Constituida por la aplicación móvil Android, esta capa proporciona la interfaz de usuario mediante la cual los agricultores interactúan con el sistema. La aplicación permite visualizar datos en tiempo real mediante gráficos interactivos, consultar históricos de mediciones, recibir notificaciones clasificadas por prioridad cuando se detectan anomalías, acceder a recomendaciones agronómicas generadas automáticamente y exportar datos en formato Excel para análisis externos.

El flujo de datos en el sistema se inicia cuando el dispositivo IoT captura mediciones y las envía a la base de datos en tiempo real de Firebase. La aplicación móvil mantiene una conexión persistente con la base de datos mediante *listeners* que detectan cambios en tiempo real. Cuando se registra un nuevo dato, el sistema evalúa si los valores se encuentran dentro de los rangos óptimos predefinidos en el servicio Firebase Functions. En caso de detectar anomalías, se genera una notificación clasificada mediante Firebase Cloud Messaging (FCM) que se envía inmediatamente al dispositivo móvil del usuario (Tomás et al., 2019).

Las notificaciones generadas por el sistema se clasifican en diferentes niveles de prioridad para optimizar la toma de decisiones. Es importante señalar que los datos obtenidos por los sensores se comparan con valores mínimos y máximos previamente establecidos en la base de datos, que varían en función del tipo de cultivo registrado. Por ejemplo, se activa una notificación crítica cuando la humedad del suelo desciende por debajo del 20 %, lo que indica un riesgo inmediato para el cultivo. Se genera una notificación de alta prioridad cuando el pH se encuentra fuera del rango óptimo (5,5-7,5). Se emite una notificación media cuando se detectan tendencias descendentes en nutrientes como el

nitrógeno, y una notificación baja cuando se reciben recomendaciones generales, como sugerencias de monitoreo preventivo. Esta clasificación permite al usuario priorizar su atención según la urgencia del evento detectado.

### 3. METODOLOGÍA

Durante el desarrollo del sistema se empleó el modelo de desarrollo en cascada debido a la definición clara de requerimientos desde etapas iniciales (Pressman, 2010), estructurado en cuatro fases principales del ciclo de vida del software: definición de requerimientos, diseño de la interfaz, desarrollo de la aplicación y pruebas de funcionamiento. Cada una de estas fases permitió abordar de manera sistemática la construcción de la aplicación móvil y su integración con el sistema IoT, asegurando el cumplimiento de los objetivos planteados.

#### 3.1. Definición de Requerimientos

En esta fase, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de las necesidades de la aplicación de monitoreo agronómico. Los requerimientos constituyen las descripciones detalladas de las funciones que el sistema está llamado a desempeñar, de acuerdo con las necesidades expresadas por el cliente. Los requerimientos funcionales se definen como enunciados que especifican los servicios que el sistema debe proporcionar a entradas particulares y la manera en que debe gestionarlas (Sommerville, 2011). Se han identificado los siguientes requerimientos funcionales:

1. La aplicación debe permitir que el usuario inicie sesión con un correo electrónico y una contraseña.
2. La aplicación debe permitir que los nuevos usuarios se registren con una dirección de correo electrónico y una contraseña.
3. La aplicación debe permitir conectarse a la red wifi desplegada por el dispositivo de monitorización y registrarse en una red con conexión a internet.
4. La aplicación debe permitir visualizar una imagen tomada por el dispositivo de monitorización.
5. La aplicación debe permitir visualizar en tiempo real los valores obtenidos por el

dispositivo instalado en los cultivos representados en gráficos.

6. La aplicación debe permitir exportar los valores dentro de un rango de tiempo y los valores seleccionados a un archivo Excel.

Los requerimientos no funcionales se definen como las limitaciones sobre el sistema, incluyendo las restricciones del proceso, como impuestas por estándares, estos suelen ser aplicados como un todo más que características o servicios individuales (Sommerville, 2011). Se contemplaron los siguientes aspectos:

1. El sistema debe estar conectado a un servicio en la nube para realizar las consultas.
2. La aplicación debe ser compatible con dispositivos que tengan la versión de Android 10 o superior.
3. Debe tener un diseño responsivo, adaptable a cualquier tamaño de pantalla de dispositivo, y ser fácil de usar para el usuario final.

Estos requerimientos solo forman parte del funcionamiento de la aplicación móvil.

En cuanto a la alimentación de energía del dispositivo IoT, este fue diseñado para operar mediante una fuente de alimentación estable de corriente directa, suministrada a través de un regulador de voltaje que garantiza la entrega adecuada de energía a todos los componentes, incluyendo el microcontrolador ESP32, sensores y módulos de comunicación. Adicionalmente, el sistema implementa mecanismos de reconexión automática y almacenamiento local temporal de datos, lo que garantiza que la información no se pierda ante cortes momentáneos de energía o conectividad.

### 3.2. Diseño de la interfaz

El diseño de la interfaz se centró en el desarrollo de la interfaz de usuario, se fundamentó en principios de usabilidad y experiencia de usuario (UX) (Norman, 2013), priorizando la presentación clara de información crítica para la toma de decisiones agronómicas. Se elaboraron *wireframes* representaciones de la estructura básica de las pantallas de usuario.

La Figura 3 muestra dos diagramas correspondientes a las pantallas iniciales de la aplicación. En el apartado A se observa la pantalla principal, que incluye el título y dos botones para acceder a las secciones de inicio de sesión y registro. Por último, el apartado B muestra la pantalla de registro, que contiene un formulario para introducir el nombre, los apellidos, la dirección de correo electrónico y la contraseña, así como un botón para confirmar el registro.



A) Imagen de la pantalla de inicio

B) Imagen de la pantalla de registro

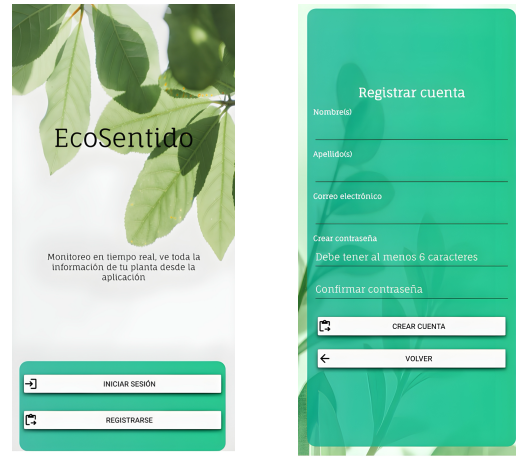
Fig. 3. Diagramas wireframe de las primeras pantallas de la aplicación

La Figura 4 presenta dos diagramas correspondientes al sistema principal. En el apartado A se muestra la pantalla inicial, que incluye los datos actuales del sistema, como la actividad del dispositivo, la imagen más reciente capturada y un bloque con recomendaciones, seguido de recuadros que contienen valores recientes. Finalmente, el apartado B exhibe las pantallas con gráficos que representan los datos almacenados y un gráfico adicional para el análisis visual.



A) Imagen de la pantalla inicio para usuarios B) Imagen de los gráficos de monitoreo

Fig. 4. Diagramas wireframe de las pantallas de usuario de la aplicación



A) Pantalla de inicio de usuarios B) Pantalla de registro de usuarios

Fig. 5. Captura de las primeras pantallas de la aplicación

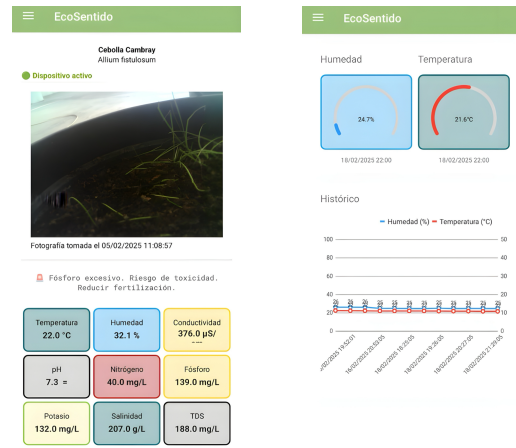
El diseño siguió las guías *Material Design* (Smyth et al., 2024) para Android, garantizando coherencia visual y patrones de interacción familiares.

### 3.3. Desarrollo de la aplicación

La implementación se realizó utilizando Android Studio como entorno de desarrollo integrado (IDE) y el lenguaje de programación Kotlin, aprovechando sus características modernas de seguridad de tipos y concisión de código. La arquitectura de la aplicación siguió el patrón Model-View-ViewModel (MVVM) recomendado por Google para aplicaciones Android, lo que permitió una separación clara entre la lógica de negocio, la interfaz de usuario y el manejo de datos.

La comunicación con el *backend* se estableció mediante las librerías oficiales de Firebase SDK para Android, que se integran directamente en el entorno de desarrollo Android Studio. La Figura 5 muestra las capturas de pantalla implementadas, diseñadas según los diagramas previamente elaborados.

La Figura 6 presenta las capturas de las pantallas del sistema principal, diseñadas conforme a los diagramas previamente descritos en la Figura 4.



A) Pantalla de inicio para usuarios B) Pantalla de gráficos de monitoreo

Fig. 6. Captura de las pantallas de usuario de la aplicación.

Los servicios en la nube incluyeron: base de datos en tiempo real para almacenamiento de datos del dispositivo IoT, almacenamiento en la nube de imágenes, servicio de notificaciones push mediante Firebase Cloud Messaging (FCM) clasificadas por prioridad (crítica, alta, media,

baja), y sistema de recomendaciones inteligentes basado en modelos de aprendizaje automático entrenados con datos históricos.

Los datos históricos se clasificaron mediante un sistema de clasificación supervisada que permitió identificar patrones anómalos y generar notificaciones ante desviaciones respecto a los rangos óptimos definidos para cada cultivo. Estos patrones incluyen disminuciones sostenidas de la humedad, alteraciones del equilibrio químico del suelo y tendencias de agotamiento de nutrientes. A partir de su detección, el sistema emite notificaciones con distintos niveles de prioridad, previamente definidos, que orientan al usuario para que aplique acciones correctivas oportunas, como se muestra en la Figura 7.

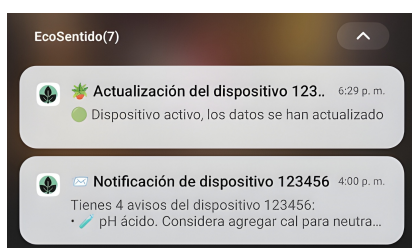


Fig. 7. Captura de las notificaciones generadas por el sistema

### 3.4. Pruebas de Funcionamiento

La fase de pruebas incluyó pruebas de integración verificando la comunicación entre módulos y servicios en la nube bajo diversos escenarios de conectividad, pruebas de interfaz de usuario en emuladores Android con diferentes tamaños de pantalla y versiones de sistema operativo, pruebas de rendimiento evaluando tiempos de respuesta, consumo de memoria y pruebas de campo en condiciones reales (ISO, 2016).

## 4. RESULTADOS

Para validar el funcionamiento integral del sistema se realizaron pruebas en una planta de ajo (*Allium sativum*) plantada aproximadamente un mes antes del inicio de las mediciones. El monitoreo se llevó a cabo desde el 27 de febrero a las 2:49 pm hasta el 1 de marzo de 2025 a las 10:55 pm, con un intervalo de registro de 30 minutos entre cada lectura. Con el propósito de

evaluar la capacidad del sistema para detectar cambios en las condiciones del suelo, se realizó un riego al inicio del periodo de monitoreo, lo que permitió observar la evolución temporal de los parámetros medidos.

### 4.1. Análisis de Parámetros Físicoquímicos del Suelo

Los valores iniciales registrados antes del riego, como se observa en la Tabla 1, indicaron una temperatura del suelo de 20.6°C, humedad volumétrica de 26.6% y pH de 6.8. Inmediatamente después de la irrigación, la temperatura experimentó un ligero incremento a 21°C, atribuible al aporte de agua a temperatura ambiente. La humedad del suelo mostró un aumento significativo hasta alcanzar 45.5%, mientras que el pH registró una leve disminución a 6.3, fenómeno común debido a la disolución de compuestos presentes en el sustrato.

En las mediciones subsecuentes, la temperatura se mantuvo relativamente estable en 21.1°C, mientras que la humedad mostró una tendencia descendente gradual, alcanzando valores de 42.2% y 42.1% en las lecturas posteriores. Este comportamiento es consistente con procesos de evapotranspiración y drenaje natural del sustrato. El pH experimentó una recuperación parcial, registrando valores de 6.9 y 6.8, lo que sugiere una capacidad buffer adecuada del suelo.

El historial de datos mostrado en la Figura 8 corresponde a los registros obtenidos por el dispositivo. Las fechas del eje x están separadas por dos fechas para facilitar su visualización. El evento de irrigación se muestra como una línea punteada en el gráfico. Se observa que la humedad aumenta significativamente durante el riego y que el pH y la humedad disminuyen ligeramente. La temperatura disminuye gradualmente durante la noche y aumenta durante el día, mientras que la humedad disminuye gradualmente debido a los procesos de evapotranspiración. Se observa un comportamiento cíclico, con descensos durante la noche y ascensos durante el día. Por su parte, el pH se mantiene relativamente estable, sin cambios bruscos.

**Tabla 1.** Datos iniciales de los parámetros fisicoquímicos del suelo

Estado	Fecha	Hora	Temperatura (°C)	Humedad (%)	pH
Inicio de monitoreo	27/02/2025	2:49:01 P.M.	20.6	26.6	6.8
Riego de cultivo	27/02/2025	3:20:01 P.M.	21	45.5	6.3
-	27/02/2025	3:50:01 P.M.	21.1	43	6.6
-	27/02/2025	4:20:06 P.M.	21.1	42.1	6.8

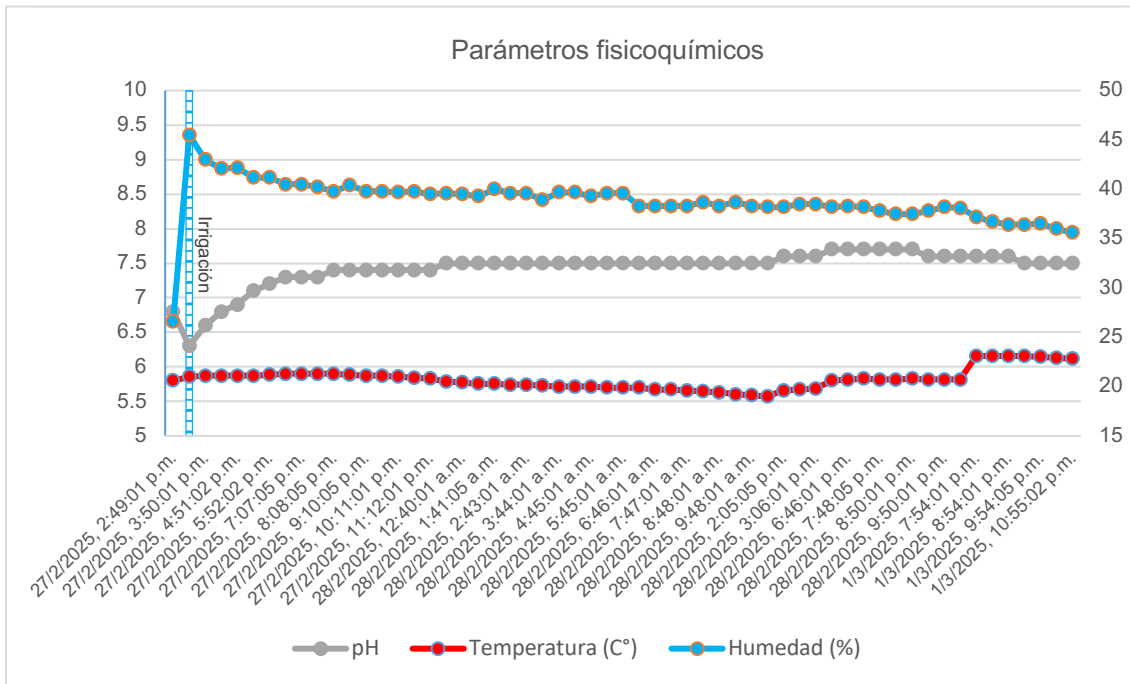


Fig. 8. Gráfico del historial de parámetros fisicoquímicos

#### 4.2. Análisis de Macronutrientes (NPK)

El monitoreo de macronutrientes reveló variaciones significativas asociadas al evento de riego, como se presenta en la Tabla 2. Las concentraciones iniciales de nitrógeno, fósforo y potasio fueron de 60mg/L, 186mg/L y 176mg/L, respectivamente. Posterior al riego, estos valores se incrementaron considerablemente: nitrógeno alcanzó 221mg/L (incremento del 268%), fósforo llegó a 558mg/L (incremento del 200%) y potasio a 555mg/L (incremento del 215%).

Este aumento sustancial se explica por la mayor solubilización de nutrientes en presencia de agua, lo que incrementa su disponibilidad en la

solución del suelo. En las mediciones subsecuentes se observó una tendencia al alza continua, alcanzando concentraciones máximas de 281mg/L de nitrógeno, 697mg/L de fósforo y 695mg/L de potasio. Para el cultivo de ajo en fase vegetativa temprana, estos niveles de nitrógeno se consideran dentro del rango óptimo, favoreciendo el desarrollo foliar. Las concentraciones de fósforo y potasio, aunque elevadas, no representan toxicidad para el cultivo y contribuyen al desarrollo radicular y la resistencia a estrés.

El historial de datos mostrado en la Figura 9 corresponde a los registros obtenidos por el dispositivo. Las fechas del eje x se presentan de

forma segmentada para facilitar su visualización, y el evento de irrigación se indica mediante una línea punteada en el gráfico. Se observa que, tras el riego del cultivo, los valores de macronutrientes aumentan significativamente al inicio de las mediciones y posteriormente disminuyen de manera gradual. Asimismo, se

identifica un ligero incremento entre los días 28 de febrero y 1 de marzo, seguido de una tendencia descendente. Este comportamiento puede atribuirse a procesos de absorción por parte de la planta y a la dinámica natural del suelo (Havlin et al., 2014).

**Tabla 2.** Datos iniciales de los parámetros de macronutrientes (NPK)

Estado	Fecha	Hora	Nitrógeno (mg/L)	Fosforo (mg/L)	Potasio (mg/L)
<b>Inicio de monitoreo</b>	27/02/2025	2:49:01 P.M.	60	186	176
<b>Riego de cultivo</b>	27/02/2025	3:20:01 P.M.	221	558	555
-	27/02/2025	3:50:01 P.M.	281	697	695
-	27/02/2025	4:20:06 P.M.	274	680	672

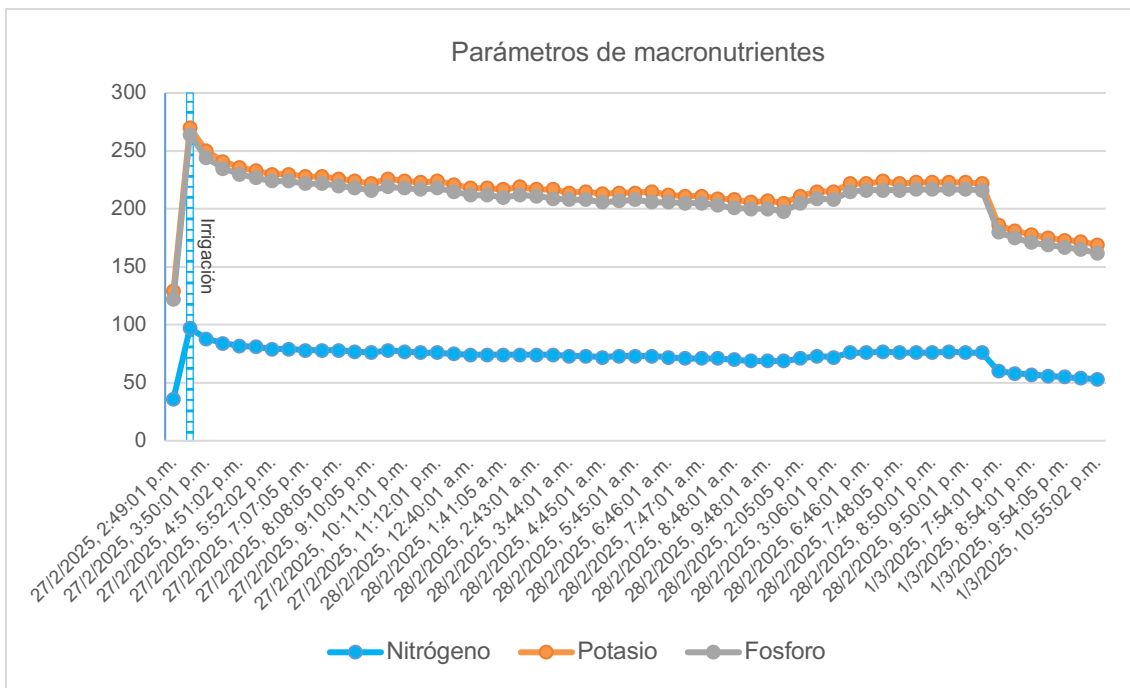


Fig. 9. Gráfico del historial de parámetros de macronutrientes.

**4.3. Análisis de Notificaciones Generadas por el Sistema**

Con el fin de evaluar el rendimiento del sistema de alertas, se analizaron las notificaciones generadas durante el periodo de supervisión, que se muestran en la Figura 10. Estas notificaciones corresponden a eventos detectados por el

sistema cuando los valores de los parámetros del suelo superan los rangos óptimos establecidos.

Se observa que, durante el período evaluado, se generaron múltiples notificaciones relacionadas con niveles excesivos de macronutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo. Estas alertas se clasificaron como de alta prioridad, lo que indica un riesgo potencial de toxicidad para el

cultivo y recomienda reducir la aplicación de fertilizantes.

La frecuencia de estas notificaciones coincide con el comportamiento observado en los datos de macronutrientes, donde se registraron aumentos significativos tras el riego.

01/03/2025	08:00:04	<p>Nitrógeno excesivo. Riesgo de toxicidad. Reducir fertilización.</p> <p>Fósforo excesivo. Riesgo de toxicidad. Reducir fertilización.</p>
01/03/2025	00:00:03	<p>Nitrógeno excesivo. Riesgo de toxicidad. Reducir fertilización.</p> <p>Fósforo excesivo. Riesgo de toxicidad. Reducir fertilización.</p>
28/02/2025	16:00:03	<p>Nitrógeno excesivo. Riesgo de toxicidad. Reducir fertilización.</p> <p>Fósforo excesivo. Riesgo de toxicidad. Reducir fertilización.</p>
28/02/2025	08:00:03	<p>Nitrógeno excesivo. Riesgo de toxicidad. Reducir fertilización.</p> <p>Fósforo excesivo. Riesgo de toxicidad. Reducir fertilización.</p>
28/02/2025	00:00:04	<p>Nitrógeno excesivo. Riesgo de toxicidad. Reducir fertilización.</p> <p>Fósforo excesivo. Riesgo de toxicidad. Reducir fertilización.</p>
27/02/2025	16:00:04	<p>Nitrógeno excesivo. Riesgo de toxicidad. Reducir fertilización.</p> <p>Fósforo excesivo. Riesgo de toxicidad. Reducir fertilización.</p>

Fig. 10. Notificaciones generadas por el sistema durante el periodo de monitoreo.

## 5. CONCLUSIONES

El presente proyecto demostró exitosamente la viabilidad técnica y funcional de integrar una aplicación móvil con un sistema IoT para el monitoreo en tiempo real de cultivos agrícolas en entornos urbanos. La combinación de sensores capacitivos de humedad, sensores NPK, medidores de pH y temperatura, junto con un módulo de captura de imágenes, proporcionó un conjunto de datos suficientemente robusto para caracterizar las condiciones del sustrato y generar recomendaciones agronómicas fundamentadas.

Los resultados obtenidos durante el periodo de monitoreo evidenciaron que el sistema es capaz de detectar y registrar variaciones significativas en los parámetros del suelo, como los incrementos en humedad y disponibilidad de nutrientes posteriores al riego. La respuesta temporal del sistema, con intervalos de medición de 30 minutos y latencias de notificación inferiores a 4 segundos, resulta adecuada para aplicaciones de agricultura de precisión a pequeña escala.

La implementación de servicios en la nube mediante Firebase demostró ser una solución escalable y económicamente accesible, eliminando la necesidad de infraestructura de

servidor propia y facilitando la sincronización en tiempo real entre múltiples dispositivos. El sistema de notificaciones clasificadas por prioridad permitió optimizar la atención del usuario hacia eventos de mayor relevancia, reduciendo la fatiga por exceso de alertas.

La aplicación móvil desarrollada cumplió satisfactoriamente con los requerimientos funcionales establecidos, proporcionando una interfaz intuitiva que no requiere conocimientos técnicos avanzados por parte del usuario final. Las funcionalidades de visualización gráfica, exportación de datos y consulta de recomendaciones fueron validadas exitosamente durante las pruebas de campo.

## 6. REFERENCIAS

- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L. y Nelson, W. L. 2014. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Pearson, Boston. 516 pp.
- ISO. 2016. *ISO/IEC 25010: Systems and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)*. International Organization for Standardization, Geneva.
- Norman, D. A. 2013. *The Design of Everyday Things*. Basic Books, New York. 384 pp.
- Pezoa, C. M., P. Palacios, J., C. Azurdia, M, D. Zabala, B., M. Ijaz y I. Sánchez. 2024. Design and Evaluation of a Visible Light Communication System under Varied Atmospheric Conditions for Smart and Sustainable Farming. *IEEE Access*, 12: 194871-194880.
- Pire, R y A. Pereira. 2003. Propiedades físicas de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. *Propuesta metodologica. Bioagro*, 15: 55-64.
- Pressman, R. S. 2010. *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGraw-Hill, New York. 880 pp.
- Samreen, T., Ahmad, M., Baig, M. T., Kanwal, S., Nazir, M. Z., y Sidra-Tul-Muntaha. 2022. Remote Sensing in Precision Agriculture for Irrigation Management. *Environmental Sciences Proceedings*, 23: 31.

- Smyth, N. 2024. Android Studio Iguana Essentials - Java Edition: Developing Android Apps Using Android Studio 2023. Payload Media, Estados Unidos. 724 pp.
- Sobhy, D. M., y Anandhi, A. 2025. Soil Nutrient Monitoring Technologies for Sustainable Agriculture: A Systematic Review. Sustainability, 17: 8477.
- Sommerville. I., 2011. Ingeniería de Software. Pearson Educación. 134 pp.
- Soussi, A., Zero. E., Sacile, R., Trincherro, D. y Fossa, M. 2024. Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review. Sensors, 24: 2647.
- Suri, S., y Shao, Y. 2025. Automated Multi-Class Crop Pathology Classification via Convolutional Neural Networks: A Deep Learning Approach for Real-Time Precision Agriculture. arXiv.
- Tomás, J., Carbonell, V., Bataller, J. y Lloret, J. 2019. Firebase: trabajar en la nube. Alpha Editorial, Colombia. 404 pp.



# División de Estudios de Posgrado e Investigación

## Oferta de Posgrado

El Tecnológico Nacional de México, campus Ciudad Victoria, invita a egresados de nivel licenciatura a integrarse a los programas de posgrado del Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Si tienes interés en la investigación y deseas formar parte del desarrollo científico y tecnológico de la región, estos programas están diseñados para ti. Están orientados a la generación de conocimiento con impacto social y requieren que los aspirantes cuenten preferentemente con formación afín al área de estudio. El periodo de recepción de solicitudes es de febrero a mayo de 2026 y se cuenta con la posibilidad de acceder a becas a través del Sistema Nacional de Posgrados (SNP) del CONAHCYT. En este espacio académico podrás fortalecer tus capacidades, desarrollar nuevas ideas y contribuir activamente a la innovación y crecimiento de tu entorno.

## Programas disponibles

Doctorado en Ciencias en Biología	30
Maestría en Ciencias en Biología	34
Maestría en Sistemas Computacionales	38
Maestría en Ingeniería Industrial	42



# Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Cd. Victoria

División de Estudios de Posgrado e  
Investigación

## DOCTORADO EN CIENCIAS EN BIOLOGÍA

SISTEMA NACIONAL DE POSGRADOS (SECIHTI - 003351)

Becas disponibles

### Líneas de investigación:

1. Manejo y Conservación de Recursos Naturales
2. Biodiversidad y Ecología



## Recepción de solicitudes:

Febrero - Mayo de 2026

El programa de doctorado en ciencias en biología está orientado a profesionistas para actualizar y fortalecer conocimientos en Ciencias Naturales, promoviendo el equilibrio entre desarrollo económico y sustentabilidad ambiental. Tiene un enfoque de investigación, formando estudiantes capaces de diseñar y evaluar soluciones para el manejo, conservación y uso de recursos naturales. Cuenta con un núcleo académico multidisciplinario en áreas como sistemática, conservación, mejoramiento de cultivos, percepción remota, ecología cuantitativa, impacto ambiental y biología experimental.

### PERFIL DE INGRESO

Dirigido a egresados con maestría en áreas afines a Ciencias Naturales (Biología, Biotecnología, Agronomía, Ciencias Ambientales, Forestales, de la Salud, Química, Bioquímica, Veterinaria, entre otras), preferentemente con experiencia en investigación que facilite el planteamiento de hipótesis, análisis de datos, discusión académica y elaboración de tesis con rigor científico.

### PLAN DE ESTUDIOS

Programa con duración de cuatro años, en el que el estudiante debe cumplir con la estructura académica establecida, desarrollar su tesis y completar los requisitos de evaluación correspondientes.

### REQUISITOS DE INGRESO Y DOCUMENTACIÓN

- Carta de aceptación de un profesor del Núcleo Académico Básico como Director de Tesis, indicando que no excede el número reglamentario de estudiantes y que el tema se alinea con sus líneas de generación y aplicación

del conocimiento.

- Carta compromiso de dedicación de tiempo completo durante el programa.
- Solicitud por escrito (formato libre) con los motivos académicos para ingresar al doctorado.
- Carta de recomendación emitida por un investigador.
- Copia del título profesional.
- Copia de la cédula profesional o comprobante de trámite.
- Copia del certificado de estudios de maestría con promedio general mínimo (7.8 nacionales, 8.0 extranjeros).
- Currículum Vitae con documentos probatorios.
- Copia de identificación oficial (INE).
- Acta de nacimiento original.
- Copia de CURP.
- Dos fotografías tamaño credencial.
- Para aspirantes extranjeros: documento de convalidación de estudios en México.
- Carta de liberación de beca, en caso de contar con apoyo previo.

## Planta docente e informes

### PLANTA DOCENTE

El programa cuenta con una planta docente integrada por especialistas con formación académica de alto nivel y experiencia en distintas áreas de las ciencias biológicas y ambientales.

**Dra. Ludivina Barrientos Lozano**

University of Wales - College of Cardiff · Entomología Aplicada

**Dr. Jesús García Jiménez**

UANL · Micología y Entomología

**Dr. Gonzalo Guevara Guerrero**

UANL · Biotecnología y Micología

**Dr. Jorge Homero Rodríguez Castro**

Universidad Autónoma de Tamaulipas · Biología Pesquera

**Dr. Crystian Sadiel Venegas Barrera**

CIBNOR · Ecología de Comunidades

**Dr. Ausencio Azuara Domínguez**

Colegio de Posgraduados · Control de Insectos Plaga

**Dr. Juan Flores Gracia**

UANL · Genética y Biotecnología

**Dr. Othón Javier González Gaona**

ITESM · Manejo Integrado de Plagas Agrícolas

**Dr. Jorge Víctor Horta Vega**

CINVESTAV-IPN · Neurociencias y Entomología

**Dr. José Antonio Rangel Lucio**

Colegio de Posgraduados · Biodiversidad y Ecología

**Dra. Aurora Yazmín Rocha Sánchez**

TecNM - Campus Cd. Victoria · Manejo y Conservación de Recursos Naturales · Biodiversidad y Ecología de Insectos (Orthoptera)

**Dra. Itzel Rubí Rodríguez de León**

TecNM - Campus Cd. Victoria · Biodiversidad y Ecología de Hymenoptera (Formicidae)

**Dr. Uriel Jeshua Sánchez Reyes**

TecNM - Campus Cd. Victoria · Influencia ambiental y antropogénica en la distribución de especies de importancia agrícola y forestal

**Dr. Leccinum García Morales**

Manejo de Recursos Naturales · Biogeografía, ecología, taxonomía y sistemática de Lepidoptera



y Coleoptera

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Cd. Victoria

---

## INFORMES

---



### **TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria  
División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Avenida Tecnológico No. 1301  
Cd. Victoria, Tamaulipas, C.P. 87010  
Tels. (834) 153–2000 Ext. 385

### **SITIO WEB**

<https://www.cd victoria.tecnm.mx/oferta/doctorado.html>

### **CONTACTO**

#### **Dra. Ludivina Barrientos Lozano**

Coordinadora de la Maestría en Biología  
[doctorado@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:doctorado@cdvictoria.tecnm.mx)

#### **Dra. Adriana Mexicano Santoyo**

Jefa de la División de Posgrado  
[dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx)



# Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Cd. Victoria

División de Estudios de Posgrado e  
Investigación

## MAESTRÍA EN CIENCIAS EN BIOLOGÍA

SISTEMA NACIONAL DE POSGRADOS (SECIHTI - 002408)

Becas disponibles

**Líneas de investigación:**

1. Biodiversidad y Ecología
2. Manejo de Agroecosistemas



## Recepción de solicitudes:

Febrero - Mayo 2026

El programa de maestría en ciencias en biología brinda a profesionistas de la región y del país la oportunidad de actualizar y fortalecer sus conocimientos en Ciencias Naturales, promoviendo un desarrollo equilibrado entre el ambiente y la economía. Su enfoque está orientado a la investigación, formando estudiantes capaces de diseñar y evaluar propuestas para la solución de problemas relacionados con el manejo, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales. El Núcleo Académico Básico está integrado por profesores con actividad científica en áreas como sistemática, conservación, mejoramiento de cultivos de especies comerciales, percepción remota, ecología cuantitativa, impacto ambiental y biología experimental.

### PERFIL DE INGRESO

Los aspirantes deberán contar con licenciatura en Biología, Biotecnología, Agronomía, Ciencias Ambientales, Forestales, de la Salud, Química, Bioquímica, Veterinaria o áreas afines. Se valorará experiencia en investigación, favoreciendo el planteamiento de hipótesis, análisis de datos, discusión académica y elaboración de tesis con rigor científico.

### PLAN DE ESTUDIOS

El programa tiene una duración de dos años e incluye cuatro materias básicas (Bioestadística, Fundamentos en Biología, Sistemática y Taxonomía General y Biología de la Conservación), cuatro optativas y tres seminarios de investigación.

### REQUISITOS DE INGRESO Y DOCUMENTACIÓN

- Carta de profesor del Núcleo Académico básico donde: acepta la dirección de tesis, declara no exceder carga de tesis-tas reglamentaria y congruencia del tema con su Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento
- Carta compromiso de dedicación de tiempo completo
- Solicitud (formato libre) con motivos académicos de ingreso
- Carta de recomendación de un investigador
- Copia de título profesional y cédula (o comprobante de trámite)
- Certificado de licenciatura con promedio mínimo (7.8 mexicanos, 8.0 extranjeros)
- Currículum Vitae con documentos probatorios
- Copia de credencial de elector, acta de nacimiento y CURP
- Dos fotografías tamaño credencial
- Aspirantes extranjeros: convalidación de estudios en institución mexicana

## Planta docente e informes

### PLANTA DOCENTE

El programa cuenta con una planta docente integrada por especialistas con formación académica de alto nivel y experiencia en distintas áreas de las ciencias biológicas y ambientales.

**Ph. D. Ludivina Barrientos Lozano**

University of Wales - College of Cardiff · Entomología Aplicada

**Dr. Jesús García Jiménez**

UANL · Micología y Entomología

**Dr. Gonzalo Guevara Guerrero**

UANL · Biotecnología y Micología

**Dr. Jorge Homero Rodríguez Castro**

Universidad Autónoma de Tamaulipas · Biología Pesquera

**Dr. Crystian Sadiel Venegas Barrera**

CIBNOR · Ecología de Comunidades

**Dr. Ausencio Azuara Domínguez**

Colegio de Posgraduados · Control de Insectos Plaga

**Dr. Juan Flores Gracia**

UANL · Genética y Biotecnología

**Dr. Othón Javier González Gaona**

I.T.E.S.M. · Manejo integrado de plagas agrícolas

**Dr. Jorge Víctor Horta Vega**

CINVESTAV-IPN · Neurociencias y Entomología

**Dr. José Antonio Rangel Lucio**

Colegio de Posgraduados · Biodiversidad y Ecología

**Dra. Itzel Rubí Rodríguez de León**

ITCV · Biodiversidad y Ecología

**Dr. Leccinum Jesús García Morales**

UANL · Manejo de Recursos Naturales

**Dra. Aurora Yazmin Rocha Sánchez**

ITCV · Biodiversidad y Ecología



## INFORMES

---



### **TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria  
División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Avenida Tecnológico No. 1301  
Cd. Victoria, Tamaulipas, C.P. 87010  
Tels. (834) 153–2000 Ext. 325

### **SITIO WEB**

<https://www.cd victoria.tecnm.mx/oferta/mbiologia.html>

### **CONTACTO**

#### **Dra. Itzel Rubí Rodríguez de León**

Coordinadora de la Maestría en Biología  
[posgrado.biologia@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:posgrado.biologia@cdvictoria.tecnm.mx)

#### **Dra. Adriana Mexicano Santoyo**

Jefa de la División de Posgrado  
[dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx)



## Recepción de solicitudes:

Febrero - Mayo 2026

El programa de Maestría en Sistemas Computacionales forma profesionistas de alto nivel en computación y tecnologías de la información, con énfasis en ingeniería de software, analítica de datos e inteligencia artificial. Desarrolla capacidades para investigar, diseñar e implementar soluciones innovadoras, promoviendo el pensamiento crítico y el aprendizaje autónomo para atender problemáticas en contextos tecnológicos actuales.

### PERFIL DE INGRESO

El programa de Maestría en Sistemas Computacionales está dirigido a aspirantes que cuenten con estudios de licenciatura en áreas afines, como Sistemas Computacionales, Informática, Telecomunicaciones u otras disciplinas relacionadas. Se requiere un promedio mínimo de 80 y una formación básica que permita el desarrollo de habilidades en el ámbito de la computación y las tecnologías de la información.

### PLAN DE ESTUDIOS

El programa está diseñado para concluirse en un periodo de dos años. Durante este tiempo, el estudiante deberá cursar cuatro materias básicas, cuatro optativas y tres seminarios de investigación, además del desarrollo de tesis. El trabajo de tesis inicia desde el primer semestre y se acredita una vez que el estudiante presenta y aprueba el examen de grado.

### REQUISITOS DE INGRESO Y DOCUMENTACIÓN

- Acreditar el proceso de admisión (curso

propedéutico, examen de conocimientos y entrevista).

- Presentar currículum vitae con documentos probatorios.
- Presentar dos cartas de recomendación.
- Contar preferentemente con 350 puntos TOEFL como evidencia de conocimiento del idioma inglés.

### REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO

- Aprobar la totalidad de los créditos del programa.
- Obtener un promedio general mínimo de 80 en una escala de 0 a 100.
- Generar una publicación derivada del proyecto de tesis (artículo arbitrado o presentación y publicación en congreso nacional o internacional).
- Acreditar 450 puntos TOEFL como evidencia de conocimiento del idioma inglés.
- Presentar el trabajo de tesis totalmente concluido y aprobar el examen de grado.

## Planta docente e informes

### PLANTA DOCENTE

El programa cuenta con una planta docente integrada por especialistas con formación académica de alto nivel y experiencia en distintas áreas de las ciencias computacionales.

**Mtro. Francisco Argüelles Granados**

Maestría en Sistemas Computacionales(ITCV) · Ingeniería del Software

**Dr. Jesús Carlos Carmona Frausto**

SNII Nivel C · Doctorado en Ciencias en Computación (CINVESTAV) · Inteligencia Artificial, Ingeniería de Software, Optimización

**Dra. Lilia del Carmen García Mundo**

Doctorado en Tecnologías Informáticas (Universidad de Castilla-La Mancha) · Ingeniería del Software

**Dr. Francisco Cervantes Alvarez**

Doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica (CINVESTAV) y Doctorado en Ciencias Computacionales (Universidad de Grenoble) · Inteligencia Artificial

**Dr. Mario Alberto Gómez Rodríguez**

Doctorado (CINVESTAV) · Inteligencia Artificial, Ingeniería de Software, Optimización

**Dra. Tania Judith Hernández López**

SNII Nivel C · Doctorado (UAT) · Taxonomía florística, interacción planta-polinizador

**Dr. Gerardo Maximiliano Méndez**

SNII Nivel I · Doctorado (UANL) · Inteligencia Artificial, Lógica Difusa, Sistemas Inteligentes

**Dra. Adriana Mexicano Santoyo**

SNII Nivel I · Doctorado en Ciencias de la Computación (CENIDET) · Optimización combinatoria, Inteligencia Artificial e Ingeniería de Software

**Dra. Alejandra Moreno Barcenás**

SNII Nivel I · Doctorado (CINVESTAV)

**Dr. Pascual Noradino Montes Dorantes**

SNII Nivel C · Doctorado en Planeación y Liderazgo Educativo (Universidad Autónoma del Noroeste) · Inteligencia Artificial

**Dra. Sandra Edith Olmeda de la Fuente**

SNII Nivel C · Doctorado (UAT) · Zoología marina, biotecnología

**Dr. Uriel Jeshua Sánchez Reyes**

SNII Nivel I · Doctorado (ITCV) · Distribución de especies, interacciones ecológicas

**Dr. Juan Antonio Vargas Enríquez**

Doctorado (Universidad de Castilla-La Mancha) · Ingeniería del Software



**Dr. Luis Antonio Vázquez Ochoa**

SNII Nivel C · Doctorado (ITCV) · Recursos naturales, cambio climático, ingeniería química

**Dr. José Ángel Villarreal Hernández**

Doctorado en Ciencias de la Ingeniería (ITCM) · Agentes Inteligentes, Negociación Automática

**Dr. Carlos Eric Llorente Peralta**

Doctorado en Ciencias de la Computación (ITT) · Inteligencia Artificial Explicable, Modelos Neuro-Simbólicos

**INFORMES**

---



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria  
División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Avenida Tecnológico No. 1301  
Cd. Victoria, Tamaulipas, C.P. 87010  
Tels. (834) 153–2000 Ext. 327

**SITIO WEB**

<https://www.cd victoria.tecnm.mx/oferta/msistemas.html>

**CONTACTO**

**Dra. Lilia del Carmen García Mundo**

Coordinadora de la Maestría en Sistemas Computacionales  
[c.msc@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:c.msc@cdvictoria.tecnm.mx)

**Dra. Adriana Mexicano Santoyo**

Jefa de la División de Posgrado  
[dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx)



# Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Cd. Victoria

División de Estudios de Posgrado e  
Investigación

## MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

SISTEMA NACIONAL DE POSGRADOS (SECIHTI - 005821)

Becas disponibles

**Líneas de investigación:**

1. Mejoramiento de los Sistemas de Calidad
2. Optimización e innovación



## Recepción de solicitudes:

Febrero - Mayo 2026

El programa de Maestría en Ingeniería Industrial forma profesionistas capaces de analizar, diseñar y mejorar sistemas de producción de bienes y servicios. Desarrolla competencias en el uso de herramientas cuantitativas, investigación aplicada e innovación tecnológica para la solución de problemáticas en diversos contextos. Promueve el pensamiento analítico y sistémico, así como el liderazgo, la ética profesional y el uso eficiente de recursos.

### PERFIL DE INGRESO

Dirigido a egresados de licenciatura en Ingeniería Industrial y áreas afines. Se requiere formación en análisis de sistemas productivos, optimización y gestión de procesos, así como habilidades de razonamiento analítico y sistémico. Aspirantes de otras disciplinas podrán participar, previa evaluación y aprobación del Consejo de Posgrado.

### PERFIL DE EGRESO

Los egresados de la Maestría en Ingeniería Industrial serán capaces de analizar y resolver problemas en sistemas productivos con un enfoque sistémico. Desarrollarán soluciones en áreas como manufactura, optimización y calidad, utilizando herramientas modernas de la ingeniería. Asimismo, podrán conducir investigación aplicada, proponer mejoras innovadoras y participar eficazmente en equipos interdisciplinarios.

### REQUISITOS DE INGRESO Y DOCUMENTACIÓN

- Solicitud por escrito (formato libre) justificando el interés de ingresar a la Maes-

tría en Ingeniería Industrial.

- Solicitud de admisión (disponible en la página oficial).
- Copia del título de licenciatura (ambos lados) o acta de examen profesional.
- Copia de cédula profesional de licenciatura o comprobante de trámite en curso.
- Certificado de estudios de licenciatura con promedio mínimo de 8 (80 en escala de 0 a 100).
- Currículum vitae, preferentemente con documentos probatorios de proyectos realizados.
- Carta de recomendación emitida por profesor, jefe o superior inmediato.
- Acreditar el curso propedéutico.
- Comprobante de acreditación del idioma inglés (mínimo 450 puntos TOEFL).
- Copia de acta de nacimiento, CURP y documento de identificación oficial.
- Para aspirantes extranjeros: carta de recomendación de la institución de origen en hoja membretada y enviada desde correo institucional, así como convalidación de estudios ante las autoridades correspondientes en México.

## Planta docente e informes

### PLANTA DOCENTE

El programa cuenta con una planta docente integrada por especialistas con formación académica de alto nivel y experiencia en distintas áreas de la ingeniería industrial.

**Dra. Adriana Mexicano Santoyo**

(CENIDET) · Optimización combinatoria / Inteligencia artificial / Ingeniería de software

**Dr. Jesús Carlos Carmona Fraustro**

(CINVESTAV-IPN) · Metaheurísticas / Reconocimiento de patrones / Optimización / Complejidad computacional

**Dr. Edgar Pérez Arriaga**

(Facultad de Ingeniería “Arturo Narro Siller”) · Desarrollo sustentable y ambiental / Optimización / Sistemas de calidad

**Dr. Luis Antonio Vázquez Ochoa**

(TecNM - Campus Ciudad Victoria) · Gestión de recursos naturales / Cambio climático

**Dra. Araceli Maldonado Reyes**

(CINVESTAV-IPN Unidad Saltillo) · Procesos de manufactura tradicional y avanzado

**Dr. Ricardo Daniel López García**

(CINVESTAV-IPN) · Procesos de manufactura

**Dra. Martha Olivia Lázaro Dzul**

(Colegio de Posgraduados) · Taxonomía y diversidad de escolitinos (Coleóptera) / Manejo de insectos de importancia agrícola

**Dr. Jesús Leccinum García Morales**

(UANL) · Gestión de los recursos naturales / Optimización e innovación

**Dra. Sandra Edith Olmeda de la Fuente**

Doctorado (UAT) · Zoología marina, biotecnología

**Dr. Efrain Vento Lujano**

Doctorado (CINVESTAV)

**M.C. Flora Alicia González Jiménez**

(TecNM - Campus Ciudad Juárez) · Optimización / Sistemas de calidad / Estadística industrial



## INFORMES

---



### **TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria  
División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Avenida Tecnológico No. 1301  
Cd. Victoria, Tamaulipas, C.P. 87010  
Tels. (834) 153–2000 Ext. 328

### **SITIO WEB**

<https://www.cd victoria.tecnm.mx/oferta/mindustrial.html>

### **CONTACTO**

#### **M.C. Flora Alicia González Jiménez**

Coordinadora de la Maestría en Ingeniería Industrial  
[mindustrial@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:mindustrial@cdvictoria.tecnm.mx)

#### **Dra. Adriana Mexicano Santoyo**

Jefa de la División de Posgrado  
[dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx)