

# Nova Mag TESCI

Revista de investigación y divulgación del  
Tecnológico de Estudios Superiores de  
Cuautitlán Izcalli

Ciencias Agropecuarias

Ciencias de la Salud

Ciencias Naturales  
y Exactas

Ciencias Sociales  
y Administrativas

Ingeniería y Tecnología

Educación, Humanidades  
y Arte

# DIRECTORIO

## CONSEJO EDITORIAL NOVA MAG Tesci

### Presidenta

Mtra. Concepción Liliana Alcántara Barrios

### Secretario Académico

Ing. Israel Amaro Rubio

### Secretaria de Relaciones Internas y Externas

Mtra. Karina Fabiola Jiménez Olvera

### Secretario de Finanzas y Comercialización

Mtro. Arturo Román López

### Coordinadora Editorial

Dra. Erika Emilia Cantera

### Coordinadora de Diseño Grafico

Lic. Patricia Selene González Algarín

### Coordinador de Resguardo y Distribución de Publicaciones

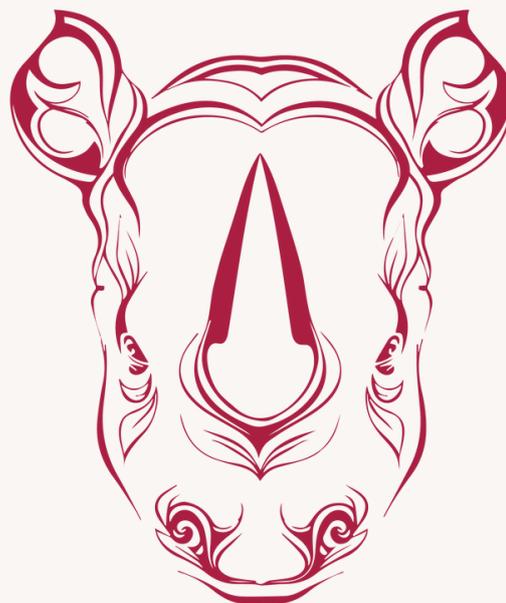
Lic. Levy Seth Trujillo Rodríguez

### Coordinadores de Edición y Producción

Mtra. Verónica Muñoz Ponce

Dr. Guillermo Centeno Nolasco

Dr. Edgar Roberto Sandoval García



## COMITÉ EDITORIAL

### Contador Público

Dra. Martha Elena Rabadán Serrano

### Ing. en Administración

Dra. Mireya Berenice Monroy Anieva

### Ing. en TIC's

Dra. Elizabeth Martínez Bahena

Dra. Daisy Escamilla Regis

### Ing. en Gestión Empresarial

Mtra. Mónica Belem Bernal Pérez

### Ing. en Logística

Dra. Erika María Pecina Rivas

Dra. Patricia Cortés Hernández

### Ing. Mecatrónica

Dr. Omar Barragán Pérez

Dra. María de Lourdes Salinas Callejas

### Ing. Química

Dr. Lorenzo Antonio Cruz Santiago



**NOVA MAG TESCO. Año 1, número 1**, junio 2025 - junio 2026 es una publicación anual del Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Avenida Nopaltepec s/n, Col. La Perla C.P. 54740, Cuautitlán Izcalli, Edo. Mex. teléfono 55 5864-3170, extensión 820, <https://tesci.edomex.gob.mx/publicaciones>, [depi\\_dcuautitlan@tecnm.mx](mailto:depi_dcuautitlan@tecnm.mx) Editor responsable Dra. Erika Emilia Cantera. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título número 04-2024-081411582700-102 otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN en trámite. Responsable de la última actualización de este número Lic. Patricia Selene González Algarín, Unidad de Difusión, Avenida Nopaltepec s/n, Col. La Perla, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, C.P. 54740; fecha de la última modificación, 31 de julio de 2025.

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

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación, sin previa autorización del Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli.

# INDICE

Visión Computacional con Sistemas Robóticos Delta para Control Automatizado de Calidad Elva B. Rodríguez, Esteban S. Escarriola	1
Diseño de un equipo para el monitoreo para medir los parametros del agua en tiempo real mediante arduino. José I. Hernández de Jesús, Viridiana J. Jiménez Martínez	13
Plataforma con Tecnología 5G Para la Asistencia Médica del Personal Académico y Estudiantes del TESCOI. José L. Camacho Campero, Azucena C. Ceja Rojas, Aide G. García Martínez, María F. Vega Juárez	24
Reducción de siniestros en el transporte de carga mediante IA y gestión estratégica. Patricia C. Hernández, Erika E. Cantera, Massiel S. R. Carranza	37
Dispositivo inteligente para la detección de humedad y riego automatizado, enfocado en desarrollo sustentable y educación ambiental. Christopher J. Paredes de la Fuente, V. Jiménez Martínez	52
Minería Urbana: ¿Clave para Recuperar Metales Críticos Contenidos en la Basura Electrónica?. Ma. C. Domínguez	60

# VISIÓN COMPUTACIONAL CON SISTEMAS ROBÓTICOS DELTA PARA CONTROL AUTOMATIZADO DE CALIDAD

## COMPUTER VISION WITH DELTA ROBOTIC SYSTEMS FOR AUTOMATED QUALITY CONTROL

**Elva B. Rodríguez, Esteban S. Escariola**

Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán  
Izcalli

FAv. Nopaltepec s/n, Col. La Perla, C.P. 54740 Cuautitlán Izcalli, Edo. Méx.

elva.br@cuautitlan.tecnm.mx, esteban.se@cuautitlan.tecnm.mx

### Resumen.

Se describe el desarrollo de un sistema computacional para la detección automatizada de defectos en envases de cosméticos mediante visión artificial. El proyecto se llevó a cabo utilizando la metodología ágil Scrum, lo que permitió una gestión efectiva del trabajo colaborativo en sprints semanales, por otro lado, la solución se basa en el entrenamiento de una red neuronal YOLO (You Only Look Once) para identificar botellas en buen o mal estado a partir de un dataset propio con imágenes clasificadas. El entorno de desarrollo incluyó herramientas como Visual Studio Code, el servidor local XAMPP para pruebas usando el explorador web a través de librerías de Python especializadas en visión artificial y control de hardware. Para la captura de imágenes en tiempo real se utilizó una cámara AI con seguimiento automático (autotracking webcam), cuya interacción se logró mediante librerías de Python compatibles con dispositivos de video. El sistema resultante permite detectar en tiempo real defectos visuales en botellas, clasificándolas automáticamente con alta precisión. Este proyecto demuestra la aplicabilidad de herramientas de software libre y aprendizaje profundo en el contexto del control de calidad industrial, así como el potencial formativo de integrar inteligencia artificial y desarrollo de software en entornos académicos.

Palabras clave: Aprendizaje profundo, clasificación de defectos, control de calidad industrial, sistema inteligente, visión artificial.

### Abstract.

This study presents the development of a computational system for the automated detection of defects in cosmetic containers using computer vision techniques. The project was conducted following the agile Scrum methodology, which facilitated efficient collaborative work management through weekly sprints. The core of the solution involves training a YOLO (You Only Look Once) neural network to distinguish between compliant and defective containers, using a custom-labeled image dataset.

The development environment incorporated tools such as Visual Studio Code and the XAMPP local server for web-based testing, along with specialized Python libraries for computer vision and hardware control. Real-time image acquisition was achieved through an AI-powered autotracking webcam, integrated using Python libraries compatible with video input devices. The resulting system enables accurate, real-time identification of visual defects in cosmetic packaging, automatically classifying each item with high precision. The project demonstrates the practical application of open-source technologies and deep learning in industrial quality control settings, as well as the educational value of integrating artificial intelligence and software development in academic environments.

Keywords: deep learning, defect classification, industrial quality control, intelligent systems, artificial vision.

## Introducción

En los procesos de manufactura industrial, garantizar la calidad del empaque es fundamental, especialmente en el sector cosmético, donde la apariencia, integridad y seguridad del producto inciden directamente en la percepción del consumidor y en el cumplimiento de normativas sanitarias y comerciales (Zhou et al., 2020). Las tareas de inspección visual han dependido tradicionalmente de la supervisión humana, lo que introduce variabilidad en los resultados, altos costos operativos y limitaciones en la escalabilidad de los procesos (Brosnan & Sun, 2004).

La visión artificial, junto con los avances en aprendizaje profundo, ha permitido el desarrollo de sistemas inteligentes capaces de detectar defectos visuales con alta precisión, incluso en entornos industriales exigentes (Szegedy et al., 2015). Modelos como YOLO (You Only Look Once) han ganado popularidad por su capacidad para realizar detecciones en tiempo real, combinando eficiencia computacional con precisión en la identificación de objetos (Redmon et al., 2016). Sin embargo, muchas soluciones existentes requieren infraestructuras costosas o están orientadas a contextos específicos, lo que dificulta su implementación en entornos educativos o de bajo presupuesto (Khan et al., 2021).

Se desarrolló un sistema inteligente para la detección automatizada de defectos en envases de cosméticos, utilizando herramientas de software libre y técnicas de aprendizaje profundo. El modelo YOLO fue entrenado con un conjunto de imágenes etiquetadas manualmente, lo que permite clasificar los envases como defectuosos o no defectuosos en tiempo real. El entorno de desarrollo incluyó Visual Studio Code, bibliotecas especializadas de Python para visión artificial y hardware de bajo costo, como una cámara AI con seguimiento automático. La gestión del desarrollo se realizó bajo la metodología ágil Scrum, organizando el trabajo colaborativo en sprints semanales, lo cual favoreció la iteración continua y la mejora incremental del sistema (Schwaber & Sutherland, 2020).

Además de su utilidad en contextos industriales, la solución propuesta aporta valor formativo al integrar conocimientos de inteligencia artificial, desarrollo de software y sistemas embebidos, promoviendo así el aprendizaje activo en entornos académicos (Luckin et al., 2016).

### **Antecedentes**

En el proceso de control de calidad, la inspección visual por operadores humanos en las líneas de producción, ha sido una actividad común en la industria, lo que genera inconvenientes como retraso en el proceso por el alto índice de error en la detección de defectos derivado del cansancio y la disminución en la rapidez visual por las horas de trabajo acumuladas (Suardiaz Muro & Navarro Lorente, 2014), en el ámbito de la automatización global, y concretamente en el nivel de automatización de planta, la robótica y manipulación industrial han adquirido un papel determinante, en este sentido los robots paralelos de tipo Delta se utilizan en operaciones que requieran la manipulación rápida de pequeñas cargas (Tornil Sin & Gámiz Caro, 2014), para un sistema eficaz la visión artificial se está convirtiendo en una de las tecnologías más precisas y eficientes de cara a obtener un aseguramiento de la calidad fiable y rápido, casi todos los sectores industriales utilizan sistemas de control de calidad para asegurar los requisitos de calidad del producto fabricado en un mercado altamente competitivo (Picón-Ruíz, 2009).

### **Planteamiento del problema**

En muchas líneas de producción, el control de calidad sigue siendo un proceso manual o basado en tecnología básica, lo cual limita la capacidad de detectar fallas en tiempo real y con precisión. Esta falta de automatización y precisión no solo provoca defectos en los productos finales, sino también pérdidas económicas debido al desperdicio de materiales.

### **Objetivo General**

Diseñar y desarrollar una interfaz gráfica de usuario y un sistema de visión artificial para monitorear en tiempo real la calidad de producción de contenedores (botellas) de maquillaje, mediante la detección automatizada de defectos, con el fin de garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos.

### **Objetivos Específicos**

- Implementar un sistema en prototipo de visión artificial basado en redes neuronales entrenadas (YOLO) para identificar defectos visuales en botellas de maquillaje durante el proceso de producción.
- Integrar el sistema de detección con una cámara AI de seguimiento automático, utilizando librerías de Python para capturar y procesar imágenes de forma continua.
- Validar la precisión del sistema de detección, mediante pruebas con un conjunto de datos de botellas clasificadas previamente, evaluando métricas como exactitud, sensibilidad y especificidad.

## Marco Teórico

Se puede definir la visión artificial como “procesamiento automático o asistido por el hombre de información captada por medios visuales”, esta se ha convirtiendo en una de las tecnologías más eficientes y flexibles para realizar el control de calidad de tipos diferentes tipos de productos (Picón-Ruíz, 2009), estos sistemas están compuestos de hardware que incluyen cámaras inteligentes y software necesario para el procesamiento de la imagen y el envío de respuestas al sistema actuador, el diseño del software se basa en gran medida en el uso de librerías como Yolo integradas a lenguajes como python, YOLO (You Only Look Once) es un modelo destacado para la detección de objetos y segmentación de imágenes, desarrollado por Joseph Redmon y Ali Farhadi en la Universidad de Washington, así mismo los robots tipo Delta son mecanismos paralelos de alta velocidad, ampliamente utilizados en procesos industriales para tareas de selección y posicionamiento rápido de objetos. Su arquitectura ligera y precisa los hace ideales para aplicaciones sincronizadas con sistemas de visión. (Chumán Alvarado, 2025), en la integración de sistemas lo que busca la industria es elaborar herramientas para la automatización, que se basa en la recolección de datos mediante herramientas inteligentes, como el software o sensores, que ayudan en esta tarea y ahorran mucho trabajo en la llamada industria 4.0, que se crea gracias a la revolución tecnológica que se ha experimentado en los últimos años (Peralta-Abarca, 2020).

## Metodología

Para el desarrollo de este prototipo se utilizó la metodología SCRUM, que es una forma ágil de organizar el trabajo en proyectos, especialmente en el desarrollo de software. Se divide en Sprints, que son períodos cortos de tiempo (generalmente de 2 a 4 semanas), durante los cuales se crean pequeñas partes del producto que pueden ser revisadas y mejoradas constantemente, a este respecto se aplica la investigación aplicada porque busca resolver un problema práctico (automatizar el control de calidad en un contexto real) y no solo generar conocimiento teórico al mismo tiempo se lleva a cabo el desarrollo experimental ya que construye y prueba un prototipo para validar ideas y evaluar su funcionamiento.

## Fases de Desarrollo

De acuerdo a la metodología se llevó a cabo un sprint de planificación en el cual se definieron las tareas relacionadas al entrenamiento y evaluación del modelo YOLO, así como el tiempo estimado para su realización, de dichas tareas se derivaron las historias de usuario las cuales representaron una descripción breve y funcional de una necesidad del mismo, por otro lado es importante organizar el banco de imágenes en dos categorías: buen estado y mal estado, para ello se organizaron en carpetas las cuales contienen 500 imágenes de muy buena calidad, clasificadas en imágenes de entrenamiento, de validación y de prueba, entre 70, 20 y 10 por ciento respectivamente.

## Distribución de imágenes en las carpetas

En la carpeta train de la Figura 1, se almacenan todas las imágenes de entrenamiento, así mismo en la carpeta valid se almacenan todas las carpetas de validación, dentro de la organización se cuenta con una carpeta label que a su vez contiene espacios para las etiquetas de las imágenes de entrenamiento y para las etiquetas de las imágenes de validación



Figura 1. Distribución de carpetas y envases de cosméticos

Las imágenes usadas para el etiquetado tienen una resolución de 640×480 a 1280×720 píxeles, son suficientemente claras para distinguir detalles, pero no tan grandes como para afectar el rendimiento de procesamiento, en la Figura 1 se muestran envases utilizados para este sistema.

### Anotación de los datos

En este proceso, se convirtieron conjuntos de imágenes personalizados en datasets específicos con sus respectivas anotaciones, utilizando la tecnología de Grounding DINO. Este enfoque permitió la anotación automática de imágenes, lo cual facilitó la preparación de datos para su uso en modelos de detección en tiempo real, se enfatizó en utilizar pesos pre entrenados, ajustados en grandes conjuntos de datos. Estos pesos permitieron que el modelo alcanzara un rendimiento óptimo sin necesidad de ser entrenado desde cero.

```
mkdir {HOME}/weights
%cd {HOME}/weights
!wget -q https://github.com/IDEA-Research/GroundingDINO/releases/download/v0.1.0-alpha/groundingdi
```

Figura 2. Link de repositorio GroundingDino

Para poder ejecutar archivos y scripts dentro del repositorio GroundingDINO, Figura 2, fue necesario ubicar el directorio de trabajo, ara utilizar el modelo GroundingDINO en tareas de detección de objetos, es fundamental cargar su configuración y los pesos preentrenados coo se muestra en la Figura 3.

```
%cd {HOME}/GroundingDINO
from groundingdino.util.inference import load_model, load_image, predict, annotate

model = load_model(f"{HOME}/GroundingDINO/groundingdino/config/GroundingDINO_SwinT_OGC.py",
                  f"{HOME}/weights/groundingdino_swint_ogc.pth")
```

Figura 3. Carga de configuración y pesos

En la carpeta denominada "images", se subieron todas las imágenes a la carpeta creada dentro de Google Colab, llamada "data/images". Esto garantizó que las imágenes estuvieran ubicadas correctamente para su procesamiento y uso en las tareas de detección de objetos con el modelo GroundingDINO, Una vez cargado el modelo y preparado el entorno, se procedió a realizar predicciones sobre las imágenes subidas a la carpeta. En la Figura 94 se muestra cómo procesar una imagen y anotarla con las predicciones generadas por el modelo.

```

import os
import supervision as sv

IMAGE_NAME = "/content/data/images/botellas_b_1.jpeg"
IMAGE_PATH = os.path.join(HOME, 'data', IMAGE_NAME)

TEXT_PROMPT = "botellasb"
BOX_THRESHOLD = 0.70
TEXT_THRESHOLD = 0.25

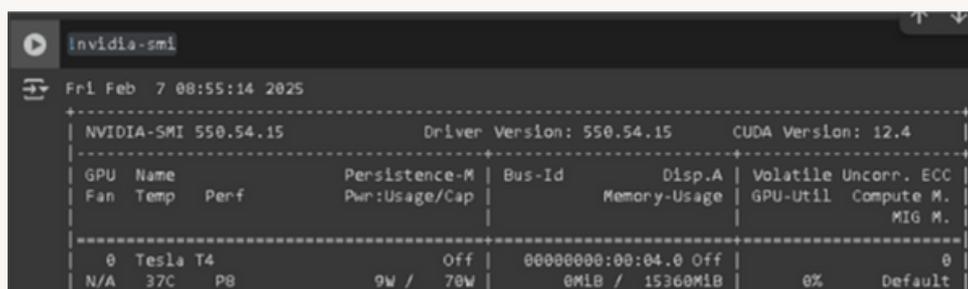
image_source, image = load_image(IMAGE_NAME)

boxes, logits, phrases = predict(
    model = model,

```

Figura 4. Proceso de imagen

Este conjunto de bibliotecas es fundamental para ejecutar un flujo de trabajo eficiente de visión por computadora utilizando el modelo GroundingDINO, se implemento un flujo de trabajo completo para cargar imágenes desde la carpeta correspondiente, realizando la inferencia para detectar objetos basados en un texto específico guardando los resultados (imagen y anotaciones) en una carpeta de salida; la configuración del entorno se logró usando Google Colab activando la GPU Figura 5, con el comando `nvidia-smi` se verificó la presencia y el estado de una GPU NVIDIA en la instancia de Colab.



```

nvidia-smi
-----
Fri Feb 7 00:55:14 2025
-----
+---+ NVIDIA-SMI 550.54.15              Driver Version: 550.54.15          CUDA Version: 12.4
+---+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| GPU  | GPU  | Persistence-M | Bus-Id  | Disp.A | Volatile Uncorr. ECC |
| Name | Name | Pwr:Usage/Cap |         | Memory-Usage | GPU-Util  Compute M. |
|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0   | Tesla T4 | Off          | 00000000:00:04:0 | 0MB / 15360MB | 0%      Default |
+---+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

Figura 5. Entorno de verificación de estado GPU NVIDIA

Es común trabajar con los repositorios de GitHub para acceder a un código preexistente. Para ello, se empleó el comando `git clone`, que nos permitió descargar una copia completa de un repositorio en el entorno de ejecución, en la jerarquía de carpetas utilizada en la plataforma Google Colab, donde se alojaron tanto los scripts del modelo GroundingDINO como los recursos necesarios para el entrenamiento se encuentra la carpeta `data` contiene el conjunto de datos, incluidas las imágenes clasificadas de botellas, almacenadas en el subdirectorio `images`, mientras que el directorio `GroundingDINO` agrupa los archivos del modelo pre entrenado y su configuración.

Esta estructura permitió una integración eficiente entre los datos de entrada, el modelo de visión artificial y el código de entrenamiento, facilitando la ejecución ordenada de pruebas y la modificación progresiva de parámetros durante el proceso experimental.

### Entrenamiento del modelo

Con el modelo de YOLO se ejecutó la instrucción de entrenamiento, mostrada a continuación

```
!python train.py --img 640 --batch 16 --epochs 50 --data data.yaml --weights yolov5s.pt --name botellas_yolo
```

En la línea de código de Python se emplearon algunos parámetros importantes como la resolución de entrada (img), tamaño del lote (batch), la cantidad de ciclos de entrenamiento (epochs), el peso base (weights) y el nombre de la prueba (name).

El archivo principal resultante .pt, fue el modelo ya entrenado con los pesos ajustados de la red neuronal, es decir, la memoria del modelo. Este se utilizó para hacer predicciones sobre imágenes nuevas con el fin de detectar objetos en ellas y aplicarlo en un sistema productivo como el de la inspección de botellas.

### Evaluación y prueba (Conexión configuración de la cámara con el sistema)

La captura de las imágenes y video se realizó a través de una cámara WEB auto tracking con sensor de imagen de 2 MP, una lente de 3.6 mm, resolución de video 1920 x 108 de resolución, y 30 fotogramas por segundo la configuración y detección se logró gracias a la integración del código en Python mostrado en la Figura 6.

```
import cv2
import tkinter as tk
from PIL import Image, ImageTk

# Función para actualizar la imagen en el label de Tkinter
def actualizar_imagen():
    ret, frame = cap.read() # Leer la imagen de la cámara
    if ret:
        # Convertir la imagen de BGR a RGB
        frame_rgb = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
        # Convertir la imagen a un formato que pueda ser usado por Tkinter
```

Figura 6. Algoritmo de reconocimiento de la cámara

Las librerías cv2, tkinter, PIL.Image y ImageTk se usaron juntas en aplicaciones Python para capturar video desde una cámara y mostrarlo en una interfaz gráfica, cv2 (OpenCV) abre la cámara externa por ID o URL, así como también captura fotogramas en tiempo real; permite aplicar procesamiento de imagen: filtros, detección, reconocimiento, etc., se usó para leer cada frame como un arreglo de píxeles o matriz NumPy;tkinter permitió construir la ventana de la aplicación con botones, etiquetas, campos y el área donde se muestra el video para la interacción del usuario.

## DetECCIÓN DE OBJETOS CON EL MODELO ENTRENADO

Durante la fase de pruebas, se configuró un entorno de evaluación en el que la cámara AI Autotracking Webcam fue posicionada frente a una serie de envases de maquillaje con el fin de capturar imágenes en condiciones controladas. En la Figura 7, se observa la disposición de cinco botellas alineadas en una superficie plana, cada una con características físicas distintas. Esta configuración permitió verificar la capacidad del sistema de visión artificial para detectar diferencias sutiles en la forma, color o presencia de defectos superficiales, la cámara, conectada al sistema desarrollado en Python, fue calibrada para mantener el enfoque automático sobre los objetos durante la captura en tiempo real. Las imágenes obtenidas en esta etapa fueron empleadas como parte del conjunto de datos para entrenar el modelo YOLO, el cual fue diseñado para identificar y clasificar los envases como "buenos" o "malos" según parámetros predefinidos. Este entorno de prueba representó un paso esencial para validar la funcionalidad del sistema completo antes de su integración con el robot Delta para la ejecución automatizada de tareas de clasificación.



Figura 7. Uso de cámara para detección de objetos

Una vez entrenado el modelo de visión artificial, se integró dentro del entorno gráfico del software desarrollado para el proyecto. En la Figura 7, se presenta la interfaz del sistema denominada Automatic System, donde se visualiza el reconocimiento de una botella mediante un cuadro delimitador generado por el modelo YOLO, con un nivel de confianza del 82 %.

## Recolección de datos

Los registros automáticos del sistema como archivos de log generados por el software (tiempos de procesamiento, resultados de detección de defectos, conteo de aciertos/errores), fueron tomados en cuenta para evaluar la efectividad de procesamiento de los datos, por otro lado los datos de las cámaras de visión artificial como cantidad de imágenes procesadas y resultados de clasificación, nos muestran una efectividad de detección de objetos del 80%, cabe señalar que la función específica de las cámaras es la de capturar la imagen en tiempo real y la validación se lleva a cabo dentro del proceso del sistema.

También se cuenta con una Matriz de pruebas de validación que es una tabla con casos de prueba definidos en (pieza correcta, pieza defectuosa,) y los resultados esperados vs. Obtenidos generada dentro del mismo sistema como se muestra en la figura 7, lo cual también nos permite evaluar el desempeño.

### Análisis de los datos

Variable	Valor obtenido	Unidad	Observaciones
Número de ejecuciones (n)	500	piezas	Muestras reales con piezas correctas y defectuosas
Porcentaje de aciertos (P)	96.2	%	Media general de todas las pruebas
Error medio (EM)	3.8	%	Calculado como 100% - P
Desviación estándar ( $\sigma$ )	1.4	%	Baja variabilidad en las mediciones
Intervalo de confianza (95%)	91.2%	%	Calculado con fórmula de IC para proporciones formula 1
Tiempo medio de procesamiento	de 0.85	segundos/pieza	Desde captura hasta decisión final

Tabla 1 Resultados de las muestras

$$IC = \hat{p} \pm Z \cdot \sqrt{\frac{\hat{p}(1 - \hat{p})}{n}}$$

Formula 1 Formula de Intervalo de confianza

### Resultados y discusión

El sistema implementado como prototipo de pruebas permite detectar botellas de buena y mala calidad con una probabilidad del 80 %. esto permitiría llevar un registro en la base de datos y, a su vez, habilitaría al robot delta para identificar correctamente las botellas defectuosas y en buen estado, el desarrollo e integración del sistema, logró la conexión efectiva entre el software de visión artificial y el robot Delta, la aplicación, desarrollada en Python utilizando la librería YOLO fue capaz de procesar en tiempo real los fotogramas capturados por la cámara AI Autotracking Webcam, identificando botellas defectuosas. Por otro lado, la interfaz gráfica implementada permitió la visualización inmediata del estado de cada botella, así como el control manual y automático del robot Delta para ejecutar tareas de separación o rechazo de productos fuera de especificación. Durante las pruebas, el sistema demostró ser capaz de realizar el análisis y la toma de decisiones en un tiempo promedio de procesamiento en movimientos cortos 150 ms por ciclo por imagen, lo cual es adecuado para entornos de producción semiautomatizada.

La integración física y lógica entre los componentes se llevó a cabo siguiendo los principios de la metodología Scrum, con avances iterativos que permitieron validar progresivamente la funcionalidad de cada módulo. La sincronización entre el reconocimiento visual y el accionamiento del robot fue estable y confiable, cumpliendo con los objetivos planteados del proyecto.

Los resultados obtenidos muestran que la integración entre el sistema de visión artificial y el robot Delta fue técnicamente viable y funcional para tareas de inspección automatizada. La detección de defectos mediante la librería YOLO mostró una precisión adecuada para aplicaciones industriales básicas, lo que valida el uso de redes neuronales convolucionales entrenadas con conjuntos de datos específicos del producto. Además, la interacción entre la cámara autotracking y el software permitió el seguimiento efectivo de los objetos, mejorando la captura de imágenes sin necesidad de complejos sistemas de posicionamiento; en comparación con métodos manuales de inspección o con enfoques más tradicionales de automatización, el sistema propuesto representa una solución escalable, de bajo costo y adaptable a diferentes líneas de producción. La implementación de la metodología Scrum así como el proceso de investigación aplicada con desarrollo experimental, permitió realizar validaciones tempranas, detectar errores en etapas iniciales y facilitar la colaboración entre los desarrolladores del software y el control del robot en ésta se identificaron algunas limitaciones como la precisión del sistema, afectada por las condiciones de iluminación y el ángulo de captura, lo que sugiere la necesidad de incluir calibración dinámica o técnicas de procesamiento de imagen más robustas. Asimismo, la respuesta del robot Delta depende de la sincronización de señales, por lo que en ambientes con mayor carga de procesamiento podrían producirse retrasos.

## **Conclusiones y recomendaciones**

La implementación e integración de un sistema de visión artificial con un robot Delta demostró ser una solución eficaz para la identificación y clasificación automatizada de objetos con defectos de fabricación, específicamente en envases de productos cosméticos. A través del uso de herramientas como Python, la librería YOLO, una cámara AI con seguimiento automático y el desarrollo de una interfaz gráfica funcional, fue posible construir un prototipo capaz de operar en tiempo real con una velocidad de respuesta adecuada para entornos de producción semiautomatizada. Este trabajo muestra la importancia de combinar inteligencia artificial, visión por computadora y robótica para mejorar los procesos industriales, permitiendo reducir errores humanos, aumentar la eficiencia y asegurar la calidad del producto final. Además, el uso de metodologías ágiles facilitó la implementación modular, adecuada para entornos de desarrollo ágil.

Como propuesta de continuidad, se sugiere escalar el sistema hacia líneas de producción reales, optimizando el modelo de detección con datasets más amplios y robustos, e incorporando sistemas de retroalimentación que permitan adaptar el comportamiento del robot ante variaciones en el entorno. Asimismo, este enfoque podría aplicarse a otras industrias, como el envasado de alimentos, la inspección electrónica o la clasificación de residuos automatizada, ampliando el impacto del proyecto en contextos industriales.

## Referencias

Brosnan, T and D. W. Sun, "Improving Quality Inspection of Food Products by Computer Vision A Review," *Journal of Food Engineering*, Vol. 61, No. 1, 2004, pp. 316. doi:10.1016/S0260-8774(03)00183-3

Chumán Alvarado, G. (2025). Universidad de Piura. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/8768111a-62ba-48fd-adf3-303e4bac9c0b/content#page=32&zoom=100,90,633>

Khan, S. A. R., Yu, Z., Sarwat, S., Godil, D. I., Amin, S., & Shujaat, S. (2021). The role of block chain technology in circular economy practices to improve organizational performance. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/13675567.2021.187251>

Luckin, R., Mavrikis, M., Avramides, K. y Cukurova, M. (2016). Análisis de escenarios de aprendizaje basado en proyectos para fundamentar el diseño de analíticas de aprendizaje: Aprendizaje a partir de conceptos relacionados. Ponencia presentada en AIED2015: Inteligencia Artificial en Educación, Madrid.

Peralta-Abarca, J. (2020). inventio. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8076976>

Picón-Ruíz, A. (2009). revista-dyna. Obtenido de <https://revista-dyna.com/index.php/DYNA/article/view/2952/2871>

Redmon, J., Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi. Actas de la Conferencia IEEE sobre Visión por Computadora y Reconocimiento de Patrones (CVPR), 2016, págs. 779–788

Schwaber, K.; Sutherland, J. Guía Scrum. 2020. Recuperado de: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-PortugueseBR3.0.pdf>

Suardiaz Muro, J., & Navarro Lorente. (2014). Solución basada en vision artificial para la inspección automatizada de gajos de mandarina. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Basil-Al-Hadithi/publication/262733786\\_Solucion\\_Basada\\_en\\_Vision\\_Artificial\\_para\\_la\\_inspeccion\\_Automatizada\\_de\\_Gajos\\_de\\_mandarina/links/0a85e53908fd15f40f000000/Solucion-Basada-en-Vision-Artificial-para-la-inspeccion-A](https://www.researchgate.net/profile/Basil-Al-Hadithi/publication/262733786_Solucion_Basada_en_Vision_Artificial_para_la_inspeccion_Automatizada_de_Gajos_de_mandarina/links/0a85e53908fd15f40f000000/Solucion-Basada-en-Vision-Artificial-para-la-inspeccion-A)

Szegedy, C., Wei Liu, Yangqing Jia, Pierre Sermanet, Scott Reed, Dragomir Anguelov,

Dumitru Erhan, Vincent Vanhoucke, Andrew Rabinovich. Actas de la Conferencia IEEE sobre Visión por Computadora y Reconocimiento de Patrones (CVPR), 2015, págs. 1-9

Tornil Sin, S., & Gámiz Caro, J. (2014). tecnicaindustrial. Obtenido de <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/96/3273/a3273.pdf>

# DISEÑO DE UN EQUIPO PARA EL MONITOREO PARA MEDIR LOS PARAMETROS DEL AGUA EN TIEMPO REAL MEDIANTE ARDUINO

## DESIGN OF MONITORING EQUIPMENT TO MEASURE WATER PARAMETERS IN REAL TIME USING ARDUINO

**José I. Hernández de Jesús, Viridiana J. Jiménez Martínez**

Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli  
Av. Nopaltepec s/n, Col. La Perla, C.P. 54740 Cuautitlán Izcalli, Edo. Méx.  
ismael.hd@cuautitlan.tecnm.mx

### Resumen.

El agua es considerada como un recurso indispensable para la vida humana, animal y vegetal; sin embargo, debido al vertiginoso crecimiento demográfico, surge la necesidad de implementar avances tecnológicos con el fin de mantener la calidad de este recurso natural y que además sea apta para su consumo. En la presente investigación se implementó un prototipo para mediciones de parámetros físicos y químicos de campo, mediante la programación del monitoreo en tiempo real, que permite adquirir la señal del fenómeno físico o químico, mediante sensores que la convierten en una señal eléctrica, esto para facilitar el análisis de la información de los parámetros, asociados a la calidad del agua. La base de este proyecto de investigación es la aplicación de un Microcontrolador ("µC") llamado "Arduino" que se encarga de procesar los datos adquiridos en campo y enviarlos al laboratorio vía remota en tiempo real. El Microcontrolador puede ser utilizado por cualquier persona sin conocimientos avanzados de electrónica ni de sistemas, además de ser un dispositivo de bajo costo y contar con entorno de desarrollo libre. Así mismo se realizó una interfaz gráfica de usuario (GUI) en Matlab para el análisis de los datos adquiridos y la visualización de las variables de su medición en tiempo real. La comunicación entre el sistema y la interfaz será mediante la SIM900. Este prototipo será de utilidad para usuarios interesados en la automatización de la medición de la calidad del agua.

Palabras Clave: Calidad del agua, Instrumentación, Arduino, GUI.

### Abstract

Water is considered an essential resource for human, animal, and plant life. However, due to rapid population growth, there is a growing need to implement technological advancements to maintain the quality of this natural resource and ensure its suitability for consumption.

This research implemented a prototype for measuring physical and chemical parameters in the field through real-time monitoring programming. The system acquires signals of physical or chemical phenomena using sensors that convert these signals into electrical outputs, facilitating the analysis of information related to water quality parameters. The foundation of this research project lies in applying a microcontroller ( $\mu C$ ) known as 'Arduino' which processes data collected in the field and transmits it remotely to a laboratory in real time. The microcontroller can be used by individuals without advanced knowledge of electronics or systems, making it cost-effective and supported by an open-source development environment. Additionally, a graphical user interface (GUI) was created in Matlab for data analysis and real-time visualization of the measured variables. Communication between the system and the interface is established via the SIM900 module. This prototype will be useful for users interested in automating water quality measurement processes.

Keywords: Water Quality, Instrumentation, Arduino, GUI.

## Introducción

### 1. Parámetros de la calidad del agua.

El término calidad del agua es relativo y sólo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria. Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar.

Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial. Es importante anotar que la evaluación de la calidad del agua se realiza usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso.

- Potencial de Hidrogeno (pH)

El término pH es utilizado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14. Los valores mayores a 7 y próximos, determinan aumento de basicidad de una solución, los valores menores a 7 y próximos a 0, indican aumento de acidez y cuando el valor es 7 indica neutralidad.

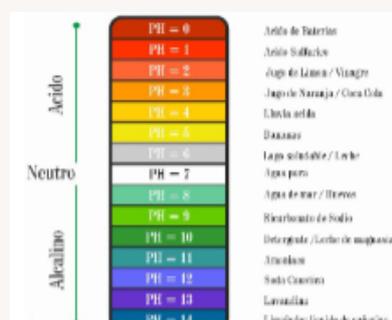


Figura 4. Resolución de un ejemplo usando método simplex

This research implemented a prototype for measuring physical and chemical parameters in the field through real-time monitoring programming. The system acquires signals of physical or chemical phenomena using sensors that convert these signals into electrical outputs, facilitating the analysis of information related to water quality parameters. The foundation of this research project lies in applying a microcontroller (' $\mu C$ ') known as 'Arduino' which processes data collected in the field and transmits it remotely to a laboratory in real time. The microcontroller can be used by individuals without advanced knowledge of electronics or systems, making it cost-effective and supported by an open-source development environment. Additionally, a graphical user interface (GUI) was created in Matlab for data analysis and real-time visualization of the measured variables. Communication between the system and the interface is established via the SIM900 module. This prototype will be useful for users interested in automating water quality measurement processes.

Keywords: Water Quality, Instrumentation, Arduino, GUI.

## Introducción

a) Parámetros de la calidad del agua.

El término calidad del agua es relativo y sólo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria. Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar.

Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial. Es importante anotar que la evaluación de la calidad del agua se realiza usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso.

- Potencial de Hidrogeno (pH)

El término pH es utilizado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14. Los valores mayores a 7 y próximos, determinan aumento de basicidad de una solución, los valores menores a 7 y próximos a 0, indican aumento de acidez y cuando el valor es 7 indica neutralidad.

Norma que indica el procedimiento para medir el parámetro de pH  
NMX-AA-008-SCFI2016. ANÁLISIS DE AGUA DETERMINACIÓN DEL pH -MÉTODO DE PRUEBA

Existen diversos métodos experimentales para la medición del parámetro de pH:

- Método colorimétrico.
- Con un Potenciómetro.
- Con tiras de papel Indicador.

- Temperatura

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura varíe continuamente.

Norma que indica el procedimiento para medir el parámetro de la Temperatura  
NMX-AA-007-SCFI2013. ANÁLISIS DE AGUA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-MÉTODO DE PRUEBA

Existen diversas formas de medir el parámetro de la temperatura:

- Termómetro de mercurio
- Termómetro digital

b) Transductores.

Se denomina transductor, en general a todo dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal correspondiente pero de otra forma física distinta por ejemplo: si se desea censar la temperatura que es un tipo de energía térmica para lo cual se puede utilizar un termopar o un termistor como transductor convirtiendo esta energía en una señal eléctrica. Es, por tanto, un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro. Esto significa que la señal de entrada es siempre una energía o potencia, pero al medir una de las componentes de la señal suele ser tan pequeña que puede despreciarse, y se interpreta que se mide solo la componente.

Dado que hay seis tipos de señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y químicas, cualquier dispositivo que convierta una señal de un tipo en una señal de otro tipo debería considerarse un transductor, y la señal de salida podría ser de cualquier forma física "útil". En la práctica no obstante, se consideran transductores por antonomasia aquellos que ofrecen una señal de salida eléctrica. Ello se debe al interés de este tipo de señales en la mayoría de procesos de medida.

c) Sensores de pH y Temperatura.

- Principio de Funcionamiento.

En la figura (3) se muestra que la superficie externa de la membrana está en contacto con la muestra a medir, y la superficie interna está en contacto con la solución de llenado. Un mecanismo complejo en cada interface del líquido define el potencial de electrodos de pH en la membrana. Mientras que el pH interno sobre el potencial de solución de llenado es constante, en el exterior el potencial varia basado en la concentración molar de iones  $[H^+]$  en la muestra. Este equilibrio también depende de la temperatura

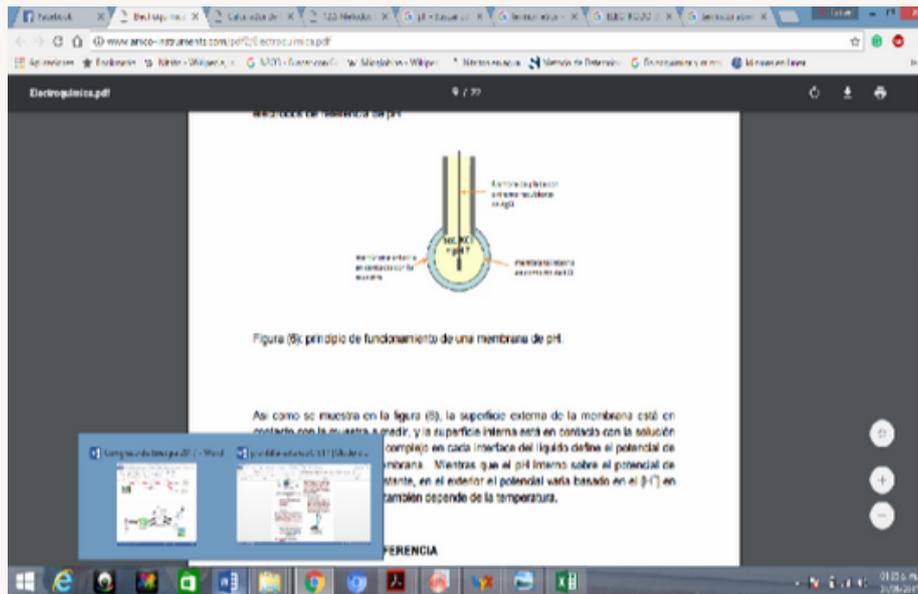


Figura 2. Principio Básico del Funcionamiento de un Electrodo de pH imagen tomada de Tecnal - Medidores de pH: 3 consejos esenciales en la elección y uso.



Figura 3. Electrodo de pH imagen obtenida de <https://www.flyrobo.in/ph-sensor-kit-with-ph-electrode-probe>.

El electrodo que se muestra en la figura 3, es el transductor que se utilizó para realizar la detección de pH.

- Principio de Funcionamiento de un termistor

El fundamento de los termistores está en la dependencia de la Resistencia de los semiconductores con la temperatura, debida a la variación con esta del número de portadores. Al aumentar la temperatura, lo hace también el número de portadores reduciendo la Resistencia, y de ahí que presente coeficiente de temperatura negativo.

Esta dependencia varia con la presencia de impurezas, y si el dopado es considerable en la red cristalina, el semiconductor adquiere propiedades metálicas con coeficiente de temperatura positivo [3].

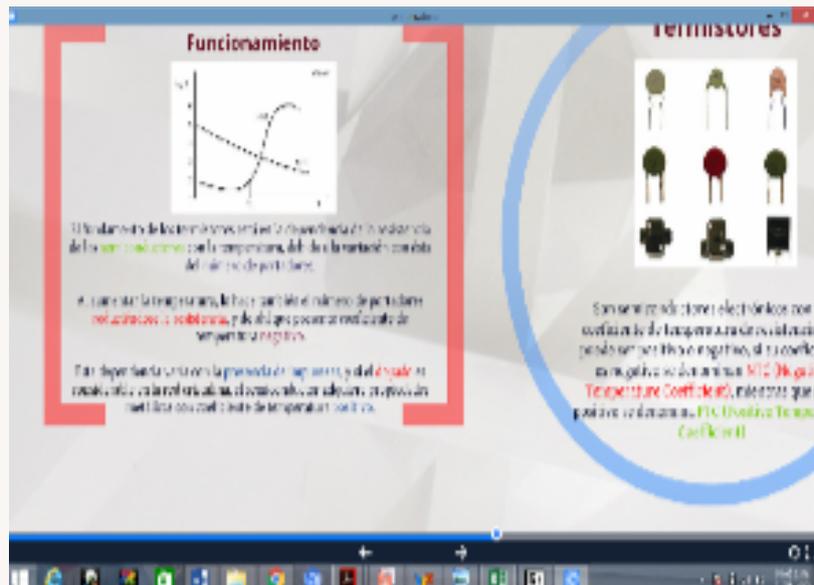


Figura 4. Gráfica del comportamiento de los dos tipos de Termistores NTC y PTC imagen obtenida de <https://www.electroclub.com.mx/2020/09/funcionamiento-de-termistores-y-los.html>.

El Termistor que se utilizó es del tipo NTC mostrado en la figura 5, y con este transductor se realizó la detección del parámetro temperatura [3].



Figura 5. Termistor tipo NTC cubierto imagen obtenida de Czujnik temperatury cyfrowy 1m ,

El electrodo que se muestra en la figura 3, es el transductor que se utilizó para realizar la detección de pH.

#### d) Conversor Analógico-Digital (A/D)

Un conversor analógico-digital es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica en un valor binario, en otras palabras, éste se encarga de transformar señales analógicas a digitales (0 y 1).

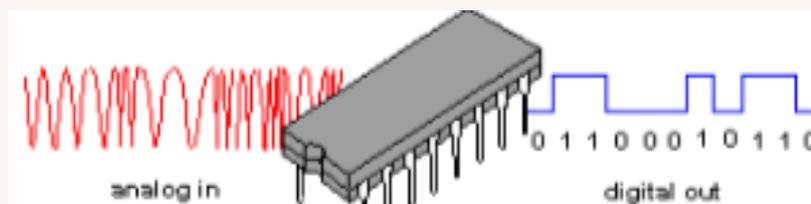


Figura 6 Conversor analógico a digital imagen obtenida de Apéndice 8. Conversor analógico-digital (A/D) - CNB

El dispositivo establece una relación entre su entrada (señal analógica) y su salida (digital) dependiendo de su resolución. La resolución determina la precisión con la que se reproduce la señal original.

Esta resolución se puede saber, siempre y cuando conozcamos el valor máximo de la entrada a convertir y la cantidad máxima de la salida en dígitos binarios.

Resolución =  $V_{ref}/2^n$  (donde n son bits)

Por ejemplo, un conversor A/D de 8-bits puede convertir valores que van desde 0V hasta el voltaje de referencia ( $V_{ref}$ ) y su resolución será de: Resolución =  $V_{ref}/256$ . Lo que quiere decir que mapeará los valores de voltaje de entrada, entre 0 y  $V_{ref}$  voltios, a valores enteros comprendidos entre 0 y 255 ( $2^n-1$ ).

La tarjeta Arduino utiliza un conversor A/D de 10-bits, así que: Resolución =  $V_{ref}/1024$ . Mapeará los valores de voltaje de entrada, entre 0 y  $V_{ref}$  voltios, a valores enteros comprendidos entre 0 y 1023 ( $2^n-1$ ). Con otras palabras, esto quiere decir que nuestros sensores analógicos están caracterizados con un valor comprendido entre 0 y 1023.

e) Arduino.

La plataforma Arduino consta de tres elementos: una placa de hardware (microcontrolador), un software (entorno de desarrollo) y un lenguaje de programación (Código C/C++), todos estos con la característica de ser elementos libres, esto permite que cualquier persona tenga la libertad de usar, estudiar, modificar, reutilizar, compartir e inclusive mejorar la plataforma para cualquier propósito o sistema informático con el objetivo de facilitar y acercar las aplicaciones electrónicas como la robótica, la domótica, sistemas de navegación, telemática y sobre todo la aplicación donde se enfoca el presente estudio, la monitorización de sensores [3].

f) Interfaz Gráfica De Usuario.

Conocida también como GUI (del inglés graphical user interface), es un programa informático que actúa de interfaz de usuario, utilizando un conjunto de imágenes y objetos gráficos para representar la información y acciones disponibles en la interfaz. Su principal uso, consiste en proporcionar un entorno visual sencillo para permitir la comunicación con el sistema operativo de una máquina o computador.

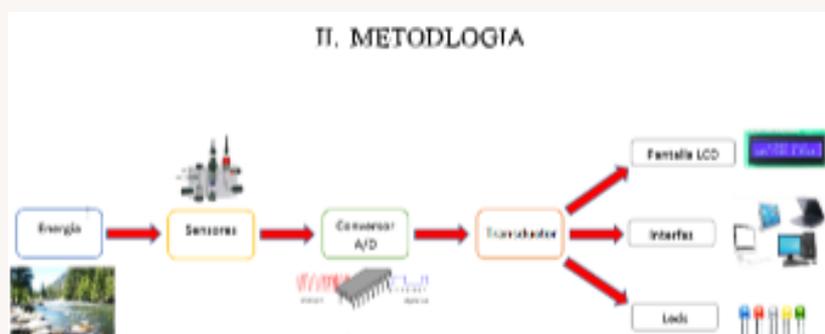


Figura 6. Proceso de detección y adquisición de datos (Imagen de propia autoría).

Para determinar el pH se utilizaron dos soluciones:

- Ácido Clorhídrico (HCl) 0.1 M, Marca MEYER lote K06C36.
- Hidróxido de Sodio (NaOH) 0.1 M, Marca Vermont Lote 36902.

Esto para observar los cambios de fase como se muestran en las figuras 9, 10.

Así mismo se utilizaron 80 ml de agua destilada, para llevar a cabo la detección de la temperatura como se muestra en la figura 12.

1. Transducción: en esta parte de acuerdo a la figura 6, el sensor lleva a cabo la detección del parámetro de interés (pH y Temperatura), a esto es a lo que frecuentemente llaman transducción, ya que es donde se realiza el cambio de energía química y térmica a una señal eléctrica.
2. Acoplamiento: En esta parte se acoplan los sensores (Electrodo de pH y Termistor) al Microcontrolador Arduino para llevar a cabo la conversión Analógica-Digital (convierte una señal de corriente o voltaje en una señal tipo código binario) esto, para que la información adquirida sea fácil de trabajar con la PC.
3. Salida de información: hay diversas formas de obtener los datos, algunas de ellas como se muestra en la figura 9, son las pantallas LCD, mediante la PC, mediante Leds o bien mediante interfaces gráficas.

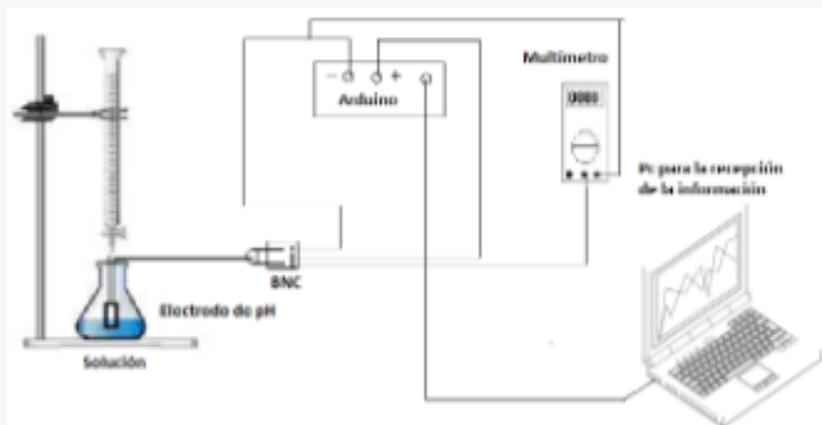


Figura.7 Arreglo para la detección del pH (Imagen de propia autoría).

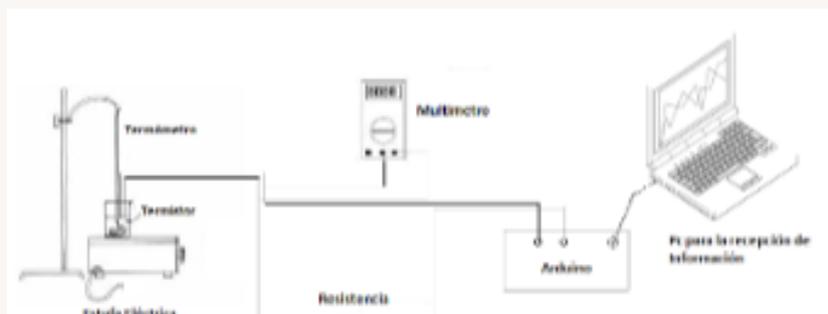


Figura.8 Arreglo para la detección de la Temperatura (Imagen de propia autoría).

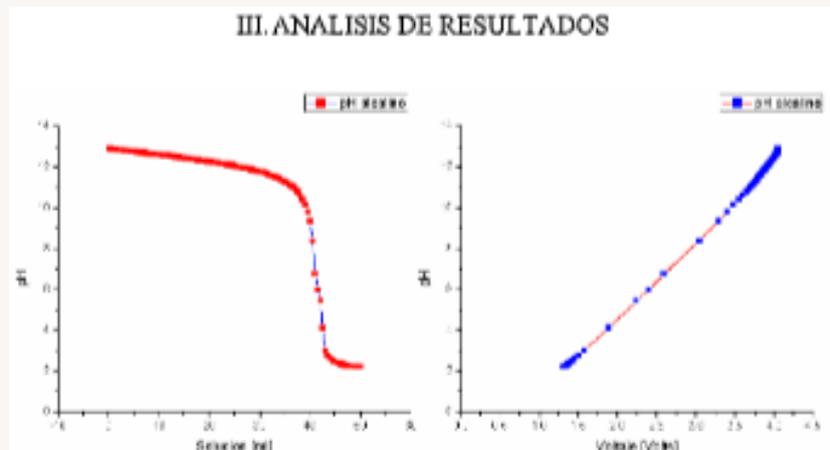


Figura 9. Gráficas de detección para un pH alcalino respecto a la solución de titulación utilizada y con respecto al voltaje detectado (Imagen de propia autoría).

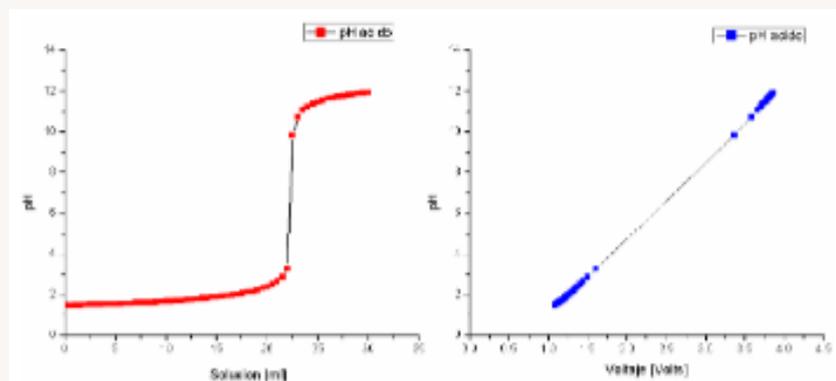


Figura 10. Gráficas de detección para un pH ácido respecto a la solución de titulación utilizada y con respecto al voltaje detectado (Imagen de propia autoría).

De acuerdo a diversas pruebas realizadas y mediante los datos adquiridos con el dispositivo (Arduino) se realizaron las gráficas para llevar a cabo los ajustes de calibración como se observa en la figura 11 y 13.

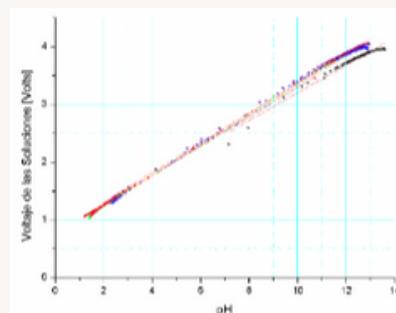


Figura 11. Gráfica de Ajuste para el sensor de pH (Imagen de propia autoría).

Ya realizado el ajuste de calibración y mediante una regresión lineal se determinó la ecuación para el pH, que está dada por:

$$\text{pH} = (3.900814687426670 * (\text{lectura analógica} * 0.004887585533) - 2.947571372898340)$$

En la figura 12 se muestra la Temperatura utilizando como medio de detección un termistor, para lo cual el gráfico es de Temperatura con respecto al voltaje.

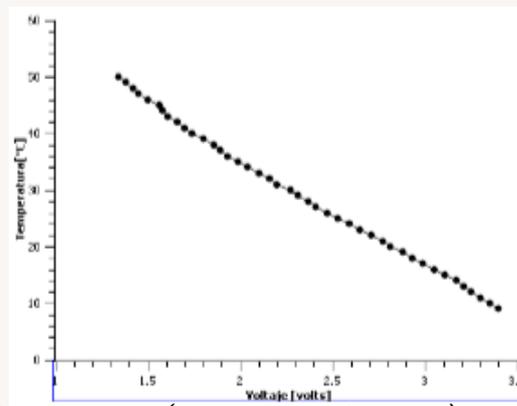


Figura 12. Gráfica de detección de la temperatura (Imagen de propia autoría).

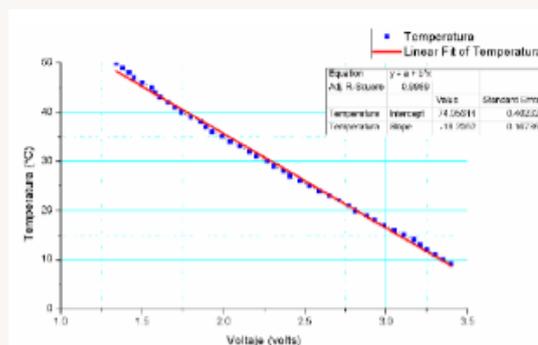


Figura 13. Gráfica de Ajuste para el sensor de Temperatura (Imagen de propia autoría).

Una vez procesados los datos adquiridos, realizando su ajuste de calibración y realizando una regresión lineal se determinó la ecuación de la temperatura, que esta dada por:

$$\text{Temperatura} = (-0.052069231 * (\text{lectura analógica} * 0.004887585533) + 3.856044717)$$

## Conclusiones

Mediante el proceso de detección y con los ajustes de calibración realizados, se observó que los sensores utilizados Presentan una detección similar a los equipos que comúnmente se utilizan en los laboratorios. Así mismo se comprobó que hablando de costos para llevar acabó la construcción del equipo es mucho menor en comparación con los equipos comerciales.

La finalidad de diseñar e implementar un equipo de monitoreo de este tipo es tener información inmediata y confiable de lo que está pasando en un cuerpo de agua y que permita a los tomadores de decisiones hacer lo adecuado. Disminuir riesgos al personal de monitoreo referente a condiciones extremas de lluvia y temperatura. Algunas de las mejoras que se pueden implementar a futuro son el implemento de nuevos parámetros de detección, que la información se envíe a distancia y de manera remota, que la alimentación sea en base a un panel solar entre otras.

## Referencias

- [1] de la Federación, D. O. (1996). Norma Oficial Mexicana NOM 127 SSA11994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México, DF, 18.
- [2] American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, & Water Environment Federation. (1915). Standard methods for the examination of water and wastewater (Vol. 2). American Public Health Association.
- [3] Artero, Ó. T. (2013). Arduino: curso práctico de formación. RC Libros.
- [4] de la Federación, D. O. (2011). Norma Oficial Mexicana NMX AA 008 SCFI2016. Análisis de agua, determinación del pH.
- [5] de la Federación, D. O. (2000). Norma Oficial Mexicana NMX AA 007 SCFI2013. Análisis de agua, determinación de la Temperatura.
- [6] Potter, E. C., & King, C. V. (1957). Electrochemistry. Principles and Applications. *Journal of The Electrochemical Society*, 104(5), 115C-116C.

# PLATAFORMA CON TECNOLOGÍA 5G PARA LA ASISTENCIA MÉDICA DEL PERSONAL ACADÉMICO Y ESTUDIANTES DEL TESCO

## 5G TECHNOLOGY PLATFORM FOR MEDICAL ASSISTANCE FOR TESCO ACADEMIC STAFF AND STUDENTS

**José L. Camacho Campero, Azucena C. Ceja Rojas, Aide G. García Martínez, María F. Vega Juárez**

Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli

Av. Nopaltepec s/n, Col. La Perla, C.P. 54740 Cuautitlán Izcalli, Edo. Méx.

jose.cc@cuautitlan.tecnm.mx, 223107074@cuautitlan.tecnm.mx,

223107072@cuautitlan.tecnm.mx, 223107057@cuautitlan.tecnm.mx

### Resumen

En el contexto actual, donde la atención oportuna ante emergencias médicas y de seguridad en instituciones educativas es crucial, se propone el desarrollo de una plataforma web responsiva para el Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI) para la gestión de alertas y a través de un sistema digital que automatiza los procesos actualmente manuales. El proyecto parte del diagnóstico de deficiencias operativas en la metodología empleada se basa en el enfoque cuantitativo y en el marco ágil, lo que permite un desarrollo iterativo y colaborativo. Se utilizarán tecnologías como la HTML5, CSS3, PHP 8.2, Bootstrap 5. Esta solución tecnológica tiene como objetivo optimizar la seguridad institucional, la atención médica primaria y la arquitectura cliente-servidor de dos capas. La investigación busca comprobar que la digitalización de los protocolos de respuesta reduce significativamente los tiempos de atención, mejora la eficiencia operativa y fortalece la seguridad de la información sobre los incidentes.}

Se propone un modelo sistema que esté enfocado en generar llamadas o notificaciones vía mensaje de emergencias médicas o de seguridad dentro del tecnología 5G la cual se enfoca en la velocidad de transmisión de datos, así como lenguaje de etiquetas HTML y de hojas de estilo CSS, también se emplearán funciones en JavaScript y PHP, con una extensa base de datos para un amplio almacenamiento, de esta forma el personal correspondiente podrá atender de forma inmediata cualquier emergencia que se presente; se pretende contar con un diseño creativo, interactivo y responsivo, el cual contará con diferentes herramientas que ayude a gestionar los procesos administrativos de las áreas de ayuda. Para el desarrollo del sistema se utiliza la tecnología 5G

Ante esta problemática, se presenta un modelo de sistema que se pretende desarrollar módulos de llamada "alerta médica" y "alerta de seguridad" los cuales cuentan con un botón de ayuda que genera una llamada de atención a las autoridades que se necesite solicitar, así también, permite llenar un formulario sobre

sobre la situación actual, de esta forma se tiene un registro de las emergencia que puedan ocurrir en la institución, además de una mejor preparación ante estas situaciones.

Palabras clave: Gestión de emergencias, tecnología , desarrollo ágil, seguridad institucional.atención médica primaria, plataforma web, 5G, Estructuras responsivas, programación front, programación back

### **Abstract**

In the current context, where a timely response to medical and security emergencies in educational institutions is crucial, the development of a responsive web platform is proposed for the Cuautitlán Izcalli Institute of Higher Education (TESCI) to manage alerts and, through a digital system, automate currently manual processes. The project is based on the diagnosis of operational deficiencies in the methodology used and is supported by a quantitative approach and an agile framework, allowing for iterative and collaborative development. Technologies such as HTML5, CSS3, PHP 8.2, and Bootstrap 5 will be utilized. This technological solution seeks to optimize institutional security, primary medical care, and a two-tier client-server architecture. The research seeks to verify that the digitalization of response protocols significantly reduces response times, improves operational efficiency, and strengthens the security of incident information.

A system model is proposed that focuses on generating calls or notifications via messages for medical or security emergencies within 5G technology. This technology focuses on data transmission speeds, as well as HTML and CSS stylesheet markup languages. Functions in JavaScript and PHP will also be used, along with an extensive database for ample storage. This allows the corresponding personnel to immediately respond to any emergency that may arise. The goal is to have a creative, interactive, and responsive design, which will include various tools to help manage the administrative processes of the support areas. 5G technology is used to develop the system.

In response to this problem, a system model is presented that aims to develop "medical alert" and "security alert" call modules. These modules include a help button that generates a call the authorities if needed. It also allows the user to fill out a form regarding the current situation. This way, a record of any emergencies that may occur in the institution is maintained, in addition to better preparation for these situations.

Keywords: Emergency management, technology, agile development, institutional security, primary medical care, web platform, 5G, responsive structures, front-end programming, back-end programming.

## Introducción

El Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI) busca optimizar la gestión de emergencias y la atención médica primaria mediante la implementación de un sistema web integral. Este proyecto tiene como objetivo mejorar la seguridad y el bienestar de la comunidad educativa, reduciendo los tiempos de respuesta ante incidentes críticos y garantizando una atención médica eficiente.

La plataforma propuesta, desarrollada con tecnologías avanzadas como HTML5, CSS3, Bootstrap 5.2 y PHP 8.2, se dividirá en dos módulos principales: uno para la gestión de emergencias de seguridad y otro para la administración de servicios médicos. En el primer módulo, el personal autorizado podrá emitir alertas en tiempo real sobre incidentes en el campus, facilitando una respuesta rápida por parte del equipo de vigilancia. En el segundo módulo, se gestionará la asignación de citas médicas, respetando la privacidad de los usuarios, y se supervisará el inventario de insumos médicos para garantizar su disponibilidad continua.

Este sistema responde a la necesidad imperativa de contar con protocolos eficaces en situaciones de emergencia, cuya ausencia podría representar riesgos significativos para la comunidad. Al centralizar la gestión de recursos y servicios, la plataforma no solo optimiza procesos, sino que también proporciona una herramienta útil para la toma de decisiones en momentos críticos.

El proyecto está diseñado para alinearse con los estándares actuales de desarrollo web, ofreciendo una solución robusta, adaptable y enfocada en fortalecer la seguridad y salud en TESCO. Así, se busca construir un entorno educativo más seguro y preparado para responder a las necesidades de su comunidad..

## Antecedentes

El Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI) desde su fundación en 1997 ha experimentado un notable crecimiento, consolidándose como un referente educativo en el Estado de México, contando actualmente con una gran oferta educativa. Sin embargo, en áreas clave como la atención médica básica y los protocolos de seguridad, son deficientes al ser procesos manuales quedando obsoletos con el paso del tiempo.

Desde sus inicios, la gestión de emergencias y servicios médicos en el TESCO se ha llevado a cabo mediante protocolos tradicionales. Actualmente las alertas de seguridad se realizan de manera verbal o telefónica y las solicitudes de atención médica se gestionan sin el respaldo de plataformas digitales. Esta falta de digitalización no solo dificulta la trazabilidad de los incidentes, sino que también genera riesgos significativos, como la manipulación de registros, demoras en la atención y baja eficiencia operativa.

En los últimos años, la institución ha intentado mejorar la seguridad del campus mediante la implementación de un sistema de videovigilancia y vínculos con autoridades locales. No obstante, la atención médica primaria y los procesos internos de gestión de emergencias no han sido objeto de las mismas mejoras tecnológicas.

En respuesta a esta necesidad, en 2024, se lanzó una iniciativa para desarrollar una plataforma web integral que integrará la gestión de alertas de seguridad y la atención médica primaria, con el objetivo de optimizar los procesos y mejorar la respuesta ante situaciones de emergencia.

Con la propuesta de esta nueva plataforma, que hace uso de tecnologías modernas como HTML5, CSS3, Bootstrap 5 y PHP 8.2, el TESCOI busca transformar sus procesos internos, garantizando una respuesta más rápida, segura y eficiente ante cualquier emergencia. Esta plataforma, diseñada bajo el paradigma MVC y cumpliendo con la Ley Federal de Protección de Datos Personales, responde a la necesidad real de la comunidad educativa de contar con un sistema digitalizado, que no solo optimice la seguridad y atención médica, sino que también garantice la privacidad y protección de los datos de los usuarios

### **Planteamiento del problema**

En el Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCOI), la gestión de reportes de emergencia tanto de seguridad como médicas, así como solicitudes médicas se realiza de manera manual, utilizando formatos impresos y bitácoras físicas, lo que presenta varios problemas operativos y tecnológicos. La falta de un sistema web automatizado aumenta la vulnerabilidad ante emergencias y pone en riesgo la seguridad de la información, ya que los registros pueden perderse, alterarse o ser manipulados. Además, la emisión de alertas de seguridad y la gestión de citas médicas carecen de un sistema formal y estructurado, lo que genera demoras y dificulta el control efectivo de los eventos.

El área médica enfrenta dificultades adicionales debido a la falta de una base de datos organizada y un sistema para controlar el inventario de medicamentos, lo que afecta la planificación de recursos y la eficiencia en la atención. Este panorama también pone en riesgo el cumplimiento de las normativas legales sobre protección de datos personales, al no contar con un sistema que garantice la seguridad y confidencialidad de la información sensible. La falta de una solución tecnológica integral limita la capacidad de respuesta ante emergencias médicas y expone la institución a posibles violaciones legales.

Para resolver estos problemas, es necesario implementar una plataforma digital que permita automatizar llamadas de emergencia médicas y de seguridad, además de citas médicas e inventarios, garantizando el control de acceso, la protección de datos y la trazabilidad de los eventos. El desarrollo de una solución web basada en tecnologías como HTML5, CSS3, Bootstrap 5 y PHP 8.2 sería una solución viable y escalable, que optimizaría los procesos internos, mejoraría la seguridad y la atención médica, y fortalecería la capacidad de la institución para actuar de manera eficiente en situaciones críticas.

### **Objetivo general**

Desarrollar una plataforma web responsiva que digitalice el envío de mensajes de emergencia y la gestión médica primaria, eliminando procesos manuales inseguros y vulnerables en el TESCOI.

## Objetivos específicos

- Almacenar la información en una nube privada
- Proponer un modelo de sistema de notificaciones en tiempo real para casetas de vigilancia y personal médico, que permita una respuesta inmediata ante situaciones críticas dentro de la institución
- Hacer uso de criptografía para salvaguardar la información almacenada y dar mayor seguridad

## Marco Teórico

La evolución tecnológica ha permitido que las instituciones educativas modernicen sus procesos mediante plataformas digitales que integran soluciones responsivas, estructuras web eficientes y una adecuada gestión de datos. Estas herramientas son esenciales en contextos donde la atención médica, la seguridad institucional y la eficiencia operativa requieren respuestas rápidas y seguras, como en el caso del Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI).

Las metodologías ágiles han revolucionado la forma en que se desarrollan proyectos de software, permitiendo una mayor flexibilidad y adaptabilidad a los cambios. Según Sommerville, I (2021), estas metodologías se centran en la colaboración continua entre los equipos de desarrollo y los interesados, promoviendo la entrega incremental de productos funcionales. Dentro de las metodologías ágiles, Scrum se destaca como un marco de trabajo que organiza el desarrollo en ciclos cortos llamados "sprints", que generalmente tienen una duración de dos a cuatro semanas. Por lo antes mencionado para este trabajo de investigación se llevará a cabo mediante bajo estas fases

- Sprint Planning: se define el objetivo del sprint y se seleccionan las tareas del backlog.
- Daily Scrum: reuniones diarias para el seguimiento del progreso.
- Sprint: iteración de tiempo fijo (normalmente 2 a 4 semanas) donde se desarrolla el producto.
- Sprint Review: se presentan los resultados del sprint al cliente o stakeholders.
- Sprint Retrospective: se evalúa el proceso y se identifican mejoras para el siguiente sprint.

En este contexto, para el desarrollo de la plataforma propuesta, se utilizarán tecnologías modernas que faciliten la creación de una interfaz de usuario atractiva y funcional. Los lenguajes de programación seleccionados que se proponen se pueden observar en la tabla 1

Tabla1. Lenguajes de programación y Frameworks (Autor: propia)

Lenguaje / Framework	Descripción
HTML 5.2	Estructura semántica del sitio web, compatible con multimedia y accesibilidad mejorada.
CSS 3	Estilización visual adaptable, incluyendo animaciones y diseño responsivo
Bootstrap 5.3	Framework CSS que permite construir interfaces responsivas con componentes reutilizables.
PHP 8.2	Lenguaje de programación del lado del servidor, ideal para integración con bases de datos y lógica de negocio.

Para el almacenamiento y gestión de datos de este modelo de sistema, se utilizará MySQL, un sistema gestor de bases de datos (SGDB) relacional que ofrece robustez y escalabilidad. Este gestor, es ampliamente utilizado en aplicaciones web y permite realizar consultas complejas de manera eficiente. Su integración con PHP facilita la manipulación de datos y la creación de aplicaciones interactivas. Como se puede observar en la tabla comparativa no. 2

SGDB	Licencia	Escalabilidad	Compatibilidad PHP
Mysql	Libre	Alta	Excelente
PostgreSQL	Libre	Muy alta	Buena
Oracle	Comercial	Muy alta	Excelente

Bajo este contexto, La arquitectura cliente-servidor es un modelo fundamental en el desarrollo de aplicaciones web. En este modelo, el cliente (navegador web) realiza solicitudes al servidor, que procesa la información y devuelve los resultados. Esta separación permite una mejor gestión de recursos y escalabilidad, ya que múltiples clientes pueden interactuar con un único servidor. Para este proyecto se aplica MCS de 2 capas como se observa en la imagen 1

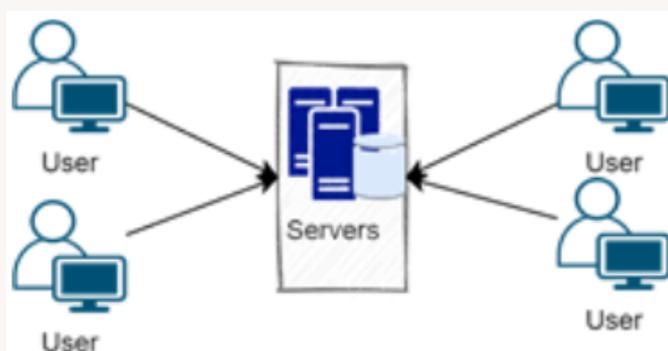


Figura 1. Modelo Cliente Servidor 2 capas (Autor: Propia)

Tabla1. Leguajes de programación y Frameworks (Autor: propia)

Lenguaje / Framework	Descripción
HTML 5.2	Estructura semántica del sitio web, compatible con multimedia y accesibilidad mejorada.
CSS 3	Estilización visual adaptable, incluyendo animaciones y diseño responsivo
Bootstrap 5.3	Framework CSS que permite construir interfaces responsivas con componentes reutilizables.
PHP 8.2	Lenguaje de programación del lado del servidor, ideal para integración con bases de datos y lógica de negocio.

Para el almacenamiento y gestión de datos de este modelo de sistema, se utilizará MySQL, un sistema gestor de bases de datos (SGDB) relacional que ofrece robustez y escalabilidad. Este gestor, es ampliamente utilizado en aplicaciones web y permite realizar consultas complejas de manera eficiente. Su integración con PHP facilita la manipulación de datos y la creación de aplicaciones interactivas. Como se puede observar en la tabla comparativa no. 2

SGDB	Licencia	Escalabilidad	Compatibilidad PHP
Mysql	Libre	Alta	Excelente
PostgreSQL	Libre	Muy alta	Buena
Oracle	Comercial	Muy alta	Excelente

Bajo este contexto, La arquitectura cliente-servidor es un modelo fundamental en el desarrollo de aplicaciones web. En este modelo, el cliente (navegador web) realiza solicitudes al servidor, que procesa la información y devuelve los resultados. Esta separación permite una mejor gestión de recursos y escalabilidad, ya que múltiples clientes pueden interactuar con un único servidor. Para este proyecto se aplica MCS de 2 capas como se observa en la imagen 1

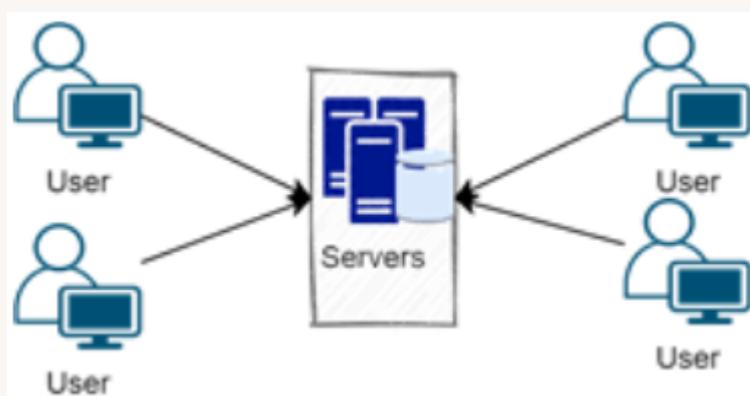


Figura 1. Modelo Cliente Servidor 2 capas (Autor: Propia)

Para el modelado de la estructura planteada, se llevará a cabo mediante el Lenguaje de Modelado Unificado (UML) la cual es una herramienta esencial para la visualización y diseño de sistemas. Permite representar gráficamente los componentes del sistema, sus interacciones y la estructura de datos. En el contexto de la plataforma propuesta, se utilizarán diagramas de casos de uso, diagramas de clases y diagramas de secuencia para documentar y planificar el desarrollo del software. Como se observa en la figura 3

Tabla 3. Diferentes tipos de modelados en UML (Autor: propia)

Modelado	Descripción
Diagrama Caso de Uso	Muestran las interacciones entre usuarios y el sistema.
Diagrama de Clases	Representan la estructura y relaciones entre objetos.
Diagrama de secuencias	Describen el flujo de mensajes entre objetos a través del tiempo.

## Método

La tecnología puede mejorar sustancialmente los procesos institucionales, especialmente en contextos donde la atención médica y la seguridad requieren respuestas inmediatas. Las plataformas digitales responsivas permiten interfaces accesibles desde cualquier dispositivo, facilitando el acceso y el registro de incidentes.

Las metodologías ágiles, como Scrum, han revolucionado el desarrollo de software al permitir ciclos cortos e iterativos que se adaptan al cambio. Según Sommerville (2021), estas metodologías fomentan la entrega constante de productos funcionales y el trabajo colaborativo.

Scrum organiza el desarrollo en fases: Sprint Planning, Daily Scrum, Sprint, Sprint Review y Sprint Retrospective, cada una pensada para asegurar avances controlados y mejorar progresivamente el sistema.

Nuestro sistema cuenta con una página de inicio en cual se puede ver en la figura 1 donde se muestran los diferentes servicios que nuestra plataforma ofrece de cada área que se desea optimizar



Figura 1. Página de Inicio

Cuenta con un sistema de logueo el cual se muestra en la figura 2, para los diferentes usuarios que tendrán acceso a la plataforma.

Figura 2. Sistema de Logueo

La plataforma cuenta con 3 páginas principales para los diferentes usuarios que acceden a esta, la figura 3 muestra la página principal de Jefatura la cual consta de 2 apartados de emergencia médica y de seguridad, estos son botones que envían una notificación de emergencia a las autoridades solicitadas.

Figura 3. Página Principal "Jefatura"

Al presionar cualquiera de los botones, la plataforma te direcciona a una ventana, donde el usuario tendrá que llenar un formulario donde se describa la situación que se está presentando, esto como un apoyo para las autoridades que se están requiriendo; cada formulario se muestra en la figura 3.1 y figura 3.2

Figura 3.1. Formulario Emergencia Médica

Figura 3.2. Formulario Emergencia de Seguridad

La figura 4 y la figura 5 muestran la página principal del servicio médico y de los cubículos de seguridad en la cual se muestra la notificación de la emergencia, así como el salón, la división y la hora en la que se esté presentando el incidente.

Figura 4. Página Principal "Servicio Médico"

Figura 5. Página Principal "Seguridad"

Cada página principal cuenta con una barra de navegación que nos ayuda a identificar las diferentes funciones que se pueden realizar en cada una de las vistas, como se puede ver en la figura 3, la página principal de jefatura cuenta con tres diferentes funciones en su barra de navegación, estas son dar de alta al personal de apoyo de jefatura en el sistema para que estas puedan hacer uso de la plataforma figura 3.3, para visualizar los reportes que se han generado de la emergencias en los últimos 30 días figura 3.4 y para agendar una cita en el servicio médico vía mensaje figura 3.5

Figura 3.3. Alta del Sistema

Fecha	Usuario	División	Tipo de Emergencia

Figura 3.4. Reportes Generados

Figura 3.5. Agendar Cita Médica

La página principal del servicio médico cuenta con cuatro diferentes funciones en su barra de navegación estas son para generar un reporte de una incidencia médica en la institución figura 4.1, un sistema para el control de medicamentos e insumos y el control de equipo medico figura 4.2 y figura 4.3 y una ventana para visualizar las citas médicas programadas figura 4.4.

Fecha	Usuario	Unidad Médica	Incidencia de Incidento

Figura 4.1. Generar Reporte Médico

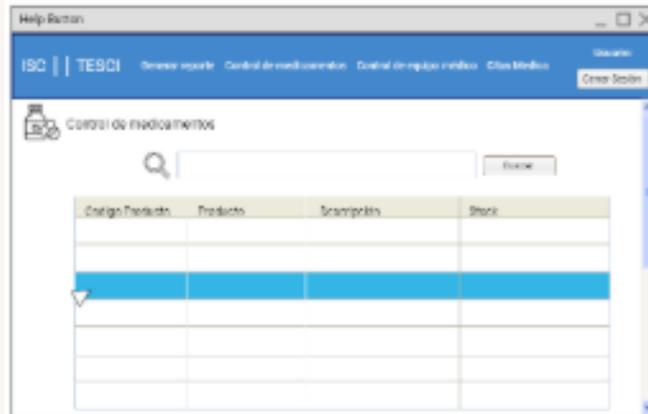


Figura 4.2. Control de Medicamentos e insumos

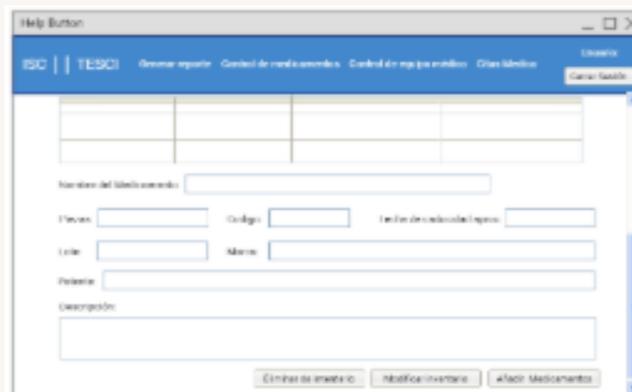


Figura 4.2.1 Inventario

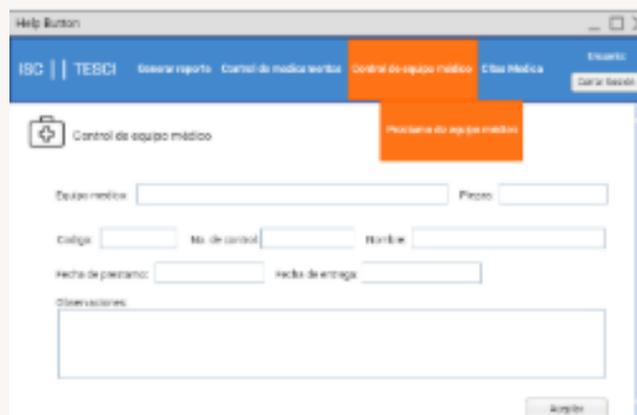


Figura 4.3. Control de Equipo Médico

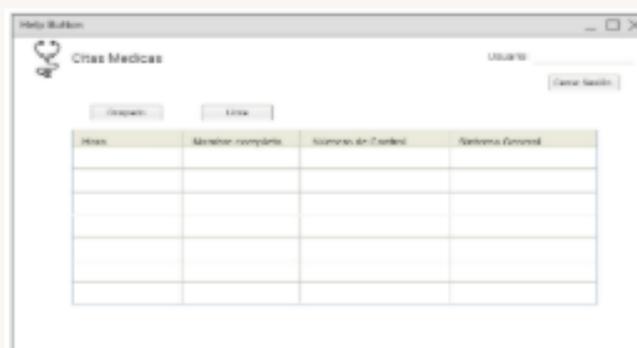


Figura 4.4 Citas Médicas

La página principal de seguridad cuenta con una función en su barra de navegación esta es para generar un reporte de una incidencia de seguridad en la institución figura 5.1

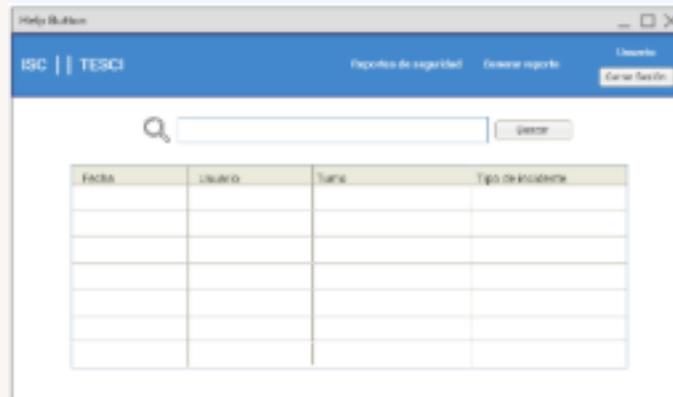


Figura 5.1 Generar Reporte de Seguridad

## Referencias

Scrum Alliance. (2020). \*The Scrum Guide\*. <https://scrumguides.org/scrum-guide.html>

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). \*The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game\*. Scrum.org. <https://www.scrumguides.org/scrum-guide.html>

Beighley, L. (2021). Learning MySQL and MariaDB: Heading in the right direction with MySQL and MariaDB. O'Reilly Media.

Freeman, E., & Robson, E. (2021). Head First HTML and CSS (2nd ed.). O'Reilly Media.

Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales. (2023). Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares. <https://home.inai.org.mx>

Meyer, E. (2018). CSS: The definitive guide (4th ed.). O'Reilly Media.

Snyder, D. (2021). Mastering Bootstrap 5: Building modern responsive websites. Packt Publishing.

Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI). (2023). Informe anual de seguridad institucional 2023. TESCO.

Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI). (2024). Diagnóstico institucional sobre procesos de atención médica y gestión de emergencias. TESCO

# REDUCCIÓN DE SINIESTROS EN EL TRANSPORTE DE CARGA MEDIANTE IA Y GESTIÓN ESTRATÉGICA

## REDUCING ACCIDENTS IN FREIGHT TRANSPORT THROUGH AI AND STRATEGIC MANAGEMENT

**Patricia C. Hernández, Erika E. Cantera, Massiel S. R. Carranza**

Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli

Av. Nopaltepec s/n, Col. La Perla, C.P. 54740 Cuautitlán Izcalli, Edo. Méx.

patricia.ch@cuautitlan.tecnm.mx, erika.c@cuautitlan.tecnm.mx,

223111060@cuautitlan.tecnm.mx

### Resumen

La siniestralidad en el autotransporte de carga en México representa un problema crítico tanto por sus implicaciones económicas como por sus efectos operativos en la cadena logística. Este artículo analiza los principales factores que inciden en los accidentes carreteros, considerando variables técnicas, humanas y estructurales. Se parte de un enfoque cualitativo y documental, basado en la revisión de literatura, estadísticas oficiales e informes especializados, con el objetivo de identificar elementos clave que permitan la reducción de siniestros. El diagnóstico revela que, además de los altos costos operativos derivados de los percances, la falta de estrategias integradas de prevención y la limitada profesionalización del sector inciden negativamente en la eficiencia del transporte. Ante ello, se propone la creación de un área especializada en seguros dentro de las empresas transportistas, que opere bajo un modelo de administración estratégica. Asimismo, se sugiere la incorporación de herramientas de inteligencia artificial como NeuroMotum y Samsara, las cuales ofrecen capacidades para mejorar la seguridad vial, realizar mantenimientos predictivos y evaluar en tiempo real el comportamiento del conductor. La combinación de tecnología, gestión del riesgo y capacitación del factor humano se presenta como una alternativa viable para mitigar la siniestralidad. Esta propuesta aporta una base para la toma de decisiones organizacionales en el ámbito logístico, al tiempo que promueve una cultura de prevención alineada con las tendencias de transformación digital y sustentabilidad.

Palabras clave: Siniestralidad, autotransporte de carga, logística

### Abstract

Accident rates in freight transport in Mexico represent a critical issue due to their economic implications and operational impact on the logistics chain. This article analyzes the main factors contributing to road accidents, considering technical, human, and structural variables. Based on a qualitative and documentary approach, the study reviews literature, official statistics, and specialized reports with the aim of identifying key elements to reduce accidents

The findings reveal that, in addition to the high operational costs resulting from collisions, the lack of integrated prevention strategies and the limited professionalization of the sector negatively affect transport efficiency. In response, the creation of a specialized insurance management area within transport companies is proposed, operating under a strategic management model. The incorporation of artificial intelligence tools such as NeuroMotum and Samsara is also suggested. These platforms offer capabilities to enhance road safety, enable predictive maintenance, and evaluate driver behavior in real time. The combination of technology, risk management, and human factor training emerges as a viable alternative to reduce accident rates. This proposal provides a foundation for organizational decision-making in the logistics sector while promoting a culture of prevention aligned with current trends in digital transformation and sustainability.

Keywords: accident rate, freight transport, logistics

## **Introducción**

El autotransporte de carga en México representa un componente esencial para el funcionamiento eficiente de la cadena logística nacional. Su relevancia se refleja en la magnitud de mercancías que moviliza diariamente a lo largo del territorio, siendo responsable de más del 55% del volumen total del transporte terrestre (INEGI, 2021). No obstante, este sector enfrenta una problemática persistente: la siniestralidad en carreteras federales. Los accidentes no solo provocan pérdidas humanas y materiales, sino que también afectan significativamente la productividad de las empresas transportistas, al incrementar los costos operativos, las primas de seguros y el tiempo de respuesta logística.

Diversos estudios señalan que las causas de los accidentes en el autotransporte son multifactoriales, involucrando elementos técnicos del vehículo, condiciones de la infraestructura, factores humanos y falta de sistemas preventivos integrados (Colunga et al., 2021; Paniagua, 2020). A pesar de los avances tecnológicos disponibles en el mercado, muchas empresas aún operan bajo modelos tradicionales que limitan su capacidad para anticipar y mitigar riesgos.

En este contexto, resulta necesario replantear las estrategias de gestión de riesgos, mediante la integración de soluciones innovadoras como el uso de plataformas de inteligencia artificial, la profesionalización del recurso humano y la creación de áreas organizacionales dedicadas a la reducción de siniestros. Esta investigación busca identificar los elementos clave que conforman la siniestralidad en el autotransporte de carga y proponer una solución integral que contribuya a la eficiencia operativa y la seguridad vial en el sector.

## **Antecedentes**

El autotransporte de carga en México se encuentra en un momento crucial, donde la profesionalización, innovación y eficiencia son pilares fundamentales para su desarrollo. La integración de nuevas tecnologías es indispensable para optimizar las operaciones y obtener mejores resultados.

Un manejo adecuado de la información proporciona herramientas inmediatas para que la administración, supervisión y ejecución del transporte se realicen de manera más segura y eficiente.

### Gestión de Costos y Siniestralidad

Una de las áreas clave para las empresas de autotransporte es la reducción de costos, especialmente en lo que respecta a las primas de seguros de sus flotillas. Estas primas representan uno de los cinco principales gastos, lo que subraya la importancia de implementar buenas prácticas que influyan en una menor siniestralidad (Serrato, 2020).

La estructura de gastos del autotransporte de carga, con porcentajes respecto al total, es la siguiente (INEGI, 2021):

Los cuatro gastos más relevantes, que representan el 81.1% del total, son:

1. Consumo de combustibles y lubricantes: 43.5%
2. Otros gastos por consumo de bienes y servicios: 14.9%. Este rubro incluye la contratación de servicios de vigilancia, intendencia, limpieza y jardinería, entre otros.
3. Refacciones, partes y accesorios para reparaciones menores y mantenimiento corriente efectuado por terceros: 11.9%
4. Servicios de peaje y uso de infraestructura e instalaciones especializadas: 10.8%
5. Alquiler de equipo de transporte, primas de seguros de bienes, pagos a otra razón social que proporcionó personal, alquiler de otros bienes muebles e inmuebles, materiales consumidos para la prestación de servicios, servicios profesionales, servicios de comunicación, consumo de energía eléctrica, pago de honorarios y comisiones, placas y licencias de conducir, y publicidad, conformarían el 18.9% restante de la estructura de gastos.

### Perfil Actualizado de Siniestralidad en Carreteras Federales

El Anuario Estadístico de Colisiones en Carreteras Federales 2021, elaborado por la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte del Instituto Mexicano de Transporte, ofrece un perfil actualizado de la siniestralidad.

En cuanto al tipo de colisión, los datos nacionales indican que la salida del camino continúa siendo el principal tipo de percance, representando el 22.8% de los eventos. No obstante, la mayor concentración de fallecidos se registra en colisiones con usuarios vulnerables (atropellamientos, choque contra bicicleta, choque o caída de motocicleta, colisión contra jinete y caída de pasajero). Por otro lado, el mayor número de lesionados se concentra en las salidas de camino (Colunga et al., 2021). Las cifras son presentadas jerarquizadas por el número de siniestros, mostrando los saldos por tipo de colisión, número de eventos, fallecidos y lesionados a nivel nacional, por entidad federativa y por el tipo de vehículo involucrado.

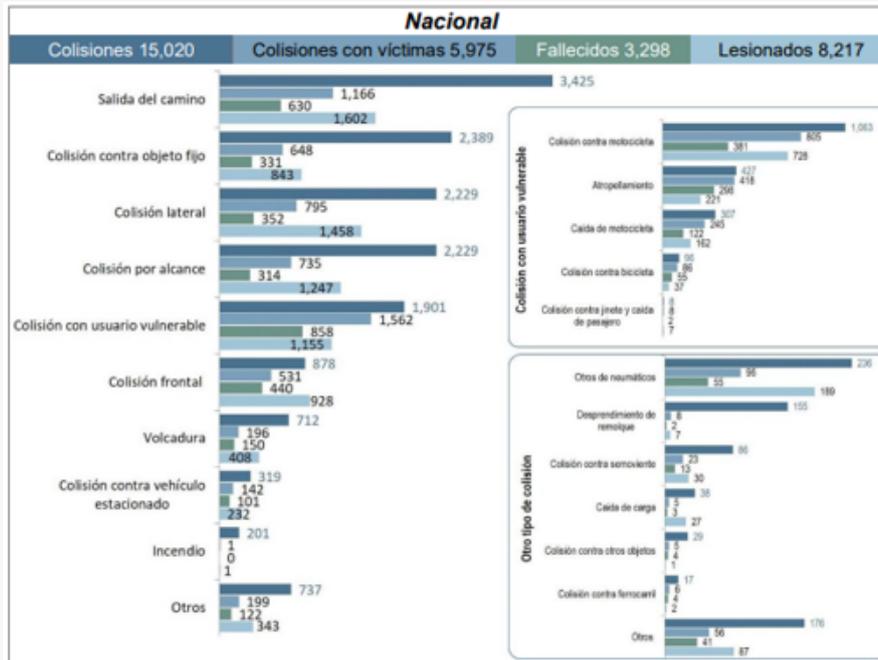


Figura 1. Distribución de percances y víctimas por tipo de colisión

## Planteamiento del problema

El crecimiento del sector logístico en México ha incrementado la demanda del autotransporte de carga como medio principal para la distribución nacional. No obstante, este desarrollo también ha traído consigo un aumento en la siniestralidad en las carreteras federales, afectando la seguridad vial, la integridad de las mercancías y la eficiencia operativa de las empresas transportistas. Según el Anuario Estadístico de Colisiones en Carreteras Federales (Colunga et al., 2021), las salidas de camino representan el 22.8% de los siniestros, mientras que los accidentes con usuarios vulnerables tienen la mayor tasa de mortalidad.

La siniestralidad no solo implica pérdidas humanas, sino que también tiene un impacto económico considerable. Serrato (2020) advierte que las primas de seguros pueden representar hasta uno de los cinco principales gastos para una empresa de transporte, lo cual limita su competitividad, especialmente entre pequeñas y medianas empresas. A pesar de estos datos, aún prevalece una limitada adopción de estrategias de gestión preventiva, así como una escasa implementación de tecnologías de monitoreo y predicción de riesgos.

La falta de integración entre los procesos operativos y los mecanismos de control de riesgos evidencia una debilidad estructural que impide abordar de forma eficiente la prevención de accidentes. Por otro lado, la normativa vigente, si bien establece los lineamientos generales del aseguramiento, deja un margen amplio para decisiones discrecionales (López, 2022), lo que genera inconsistencias en la cobertura y atención de siniestros.

Ante esta problemática, se plantea la necesidad de diseñar una propuesta estratégica que articule la documentación de procesos, la gestión del seguro y el uso de tecnologías inteligentes para reducir la siniestralidad, fortalecer la toma de decisiones y mejorar el desempeño organizacional en el autotransporte de carga.

## Objetivo General

Identificar los elementos que integran la documentación y procesos de la siniestralidad en el autotransporte de carga, con la intención de generar un área para la optimización de los procesos de la organización.

## Objetivos Específicos

1. Diagnosticar los elementos que integran la siniestralidad en el autotransporte de carga.
2. Documentar e integrar los procesos de la siniestralidad en el autotransporte de carga.
3. Conocer la eficiencia de la reducción de siniestralidad en el autotransporte de carga.
4. Conocer la implementación de las nuevas tecnologías para la reducción de la siniestralidad.
5. Presentar una propuesta para generar un área orientada a la optimización de los procesos de la organización.

## Planteamiento del problema

El crecimiento del sector logístico en México ha incrementado la demanda del autotransporte de carga como medio principal para la distribución nacional. No obstante, este desarrollo también ha traído consigo un aumento en la siniestralidad en las carreteras federales, afectando la seguridad vial, la integridad de las mercancías y la eficiencia operativa de las empresas transportistas. Según el Anuario Estadístico de Colisiones en Carreteras Federales (Colunga et al., 2021), las salidas de camino representan el 22.8% de los siniestros, mientras que los accidentes con usuarios vulnerables tienen la mayor tasa de mortalidad.

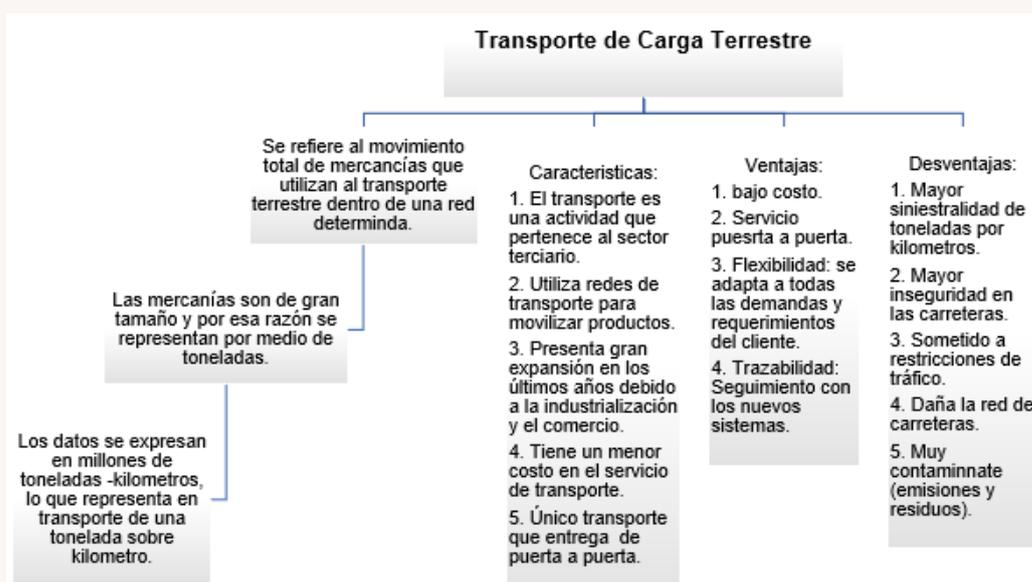


Figura 2. Atributos del transporte de carga terrestre

Dentro de los aspectos técnicos del Transporte Terrestre, existe una gran variedad de vehículos que se pueden utilizar en el transporte por carretera, también son muchos los aspectos técnicos para tener en cuenta, algunos de ellos son:

Tabla 1. Aspectos técnicos del transporte de carga

Aspecto técnico	
<b>Tara (T)</b>	Peso que tiene el vehículo en vacío.
<b>Carga útil (Cu)</b>	Carga máxima que se puede introducir en el vehículo.
<b>Peso máximo autorizado (PMA)</b>	$PMA = Cu + T$
<b>Carga por eje</b>	En general se admite una carga de 10 toneladas por eje de carga.

En México, la regulación del contrato de seguro se encuentra principalmente delimitada por la Ley sobre el Contrato de Seguro (LCS), que establece las disposiciones generales aplicables. Según esta ley, las modalidades del contrato de seguro se regirán por sus preceptos, los cuales tienen carácter imperativo a menos que se disponga lo contrario, y siempre que las cláusulas contractuales sean más beneficiosas para el asegurado (Ley sobre el Contrato de Seguro, 2013).

Dentro de este marco normativo, el seguro de transporte se define como el contrato por medio del cual el asegurador asume los daños y las pérdidas materiales que puedan sobrevenir, ya sea al material del transporte (el vehículo) o a los objetos transportados (las mercancías) (López, 2022). Es importante destacar que la Ley de Instituciones de Seguros y de Fianzas (LISF) también juega un papel fundamental al regular la operación y solvencia de las compañías aseguradoras que ofrecen estos productos en el país (Ley de Instituciones de Seguros y de Fianzas, 2024).

A continuación, se mencionan las principales recomendaciones para contratar la mejor póliza de seguro para camiones.

### 1. Cobertura

- a. Daños Materiales: Cubre los daños que sufra el camión en un accidente, sea o no culpa del conductor del camión asegurado.
  - b. Robo Total: Cubre el robo total del vehículo.
  - c. Responsabilidad Civil: Cubre los daños causados a terceros, tanto en su persona como en sus bienes.
  - d. Gastos Médicos Ocupantes: Cubre al conductor del camión y a sus acompañantes.
2. Sobre la Carga: Los seguros para camiones no suelen abarcar la cobertura para la carga. Es importante revisar que cubra los daños ocasionados por la carga, es decir, algún daño a terceros por las mercancías.
  3. Responsabilidad Civil Ecológica para camiones: Ampara la responsabilidad civil en la que pueda incurrir el asegurado por daños ocasionados por contaminación accidental causada por la carga en un siniestro. Al contratar esta cobertura se debe aclarar el tipo de carga:

contaminación accidental causada por la carga en un siniestro. Al contratar esta cobertura se debe aclarar el tipo de carga:

- a.Carga tipo A: Mercancía poco peligrosa, por ejemplo, abarrotes, carnes, lácteos entre otros.
  - b.Carga tipo B: Mercancía peligrosa, por ejemplo, ferretería, herrería, madera, maquinaria entre otros.
  - c.Carga tipo C: Mercancía altamente peligrosa, por ejemplo, sustancias y/o productos tóxicos, corrosivos, inflamables y explosivos.
- 4.La cobertura para maniobras de carga y descarga de camiones: Ampara los daños materiales al camión asegurado, o los daños a terceros ocasionados durante la carga y descarga de mercancías

El seguro de camiones se da a partir de la firma de un contrato (para fines del sector asegurador) se nombra póliza de seguro. En este documento se describe con detalle cada uno de los servicios que el asegurado contrata; así como las acciones que debe cumplir para ser beneficiario de ellos. (Santiago, Quálitas Compañía de Seguros, 2022)

El origen de un seguro es brindar atención a los conductores cuando experimenten un siniestro, estos se clasifican en diferentes opciones pues no siempre se requiere de los mismos recursos para darle solución. Los seguros para camiones de carga son productos que contemplan diferentes servicios y atenciones. En la siguiente tabla se presentan las opciones de coberturas.

En la siguiente tabla, se presenta un comparativo de los principales tipos de paquetes de seguros disponibles para el transporte terrestre de carga en México. Se identifican cuatro niveles de cobertura: Paquete Amplia, Paquete Plus, Paquete Limitada y Paquete Básico, los cuales difieren en el alcance de protección ofrecido al asegurado.

Cada paquete contempla diferentes servicios, siendo el Paquete Amplia el más completo, al incluir coberturas como daños materiales, robo total, responsabilidad civil por daños a terceros, así como gastos médicos a ocupantes, gastos legales, asistencia vial y satelital, entre otros. A medida que se avanza hacia paquetes más limitados, como el Limitada o Básico, la cobertura se reduce significativamente, limitándose en algunos casos únicamente a la pérdida total por daños materiales o a la responsabilidad civil básica.

Además, la tabla incluye coberturas opcionales que pueden ser agregadas según las necesidades específicas de la empresa transportista, tales como la responsabilidad civil por daños ecológicos, maniobras de carga y descarga, arrastre de remolque, y protección para daños a terceros sin responsabilidad. Algunas de estas coberturas están sujetas a requisitos adicionales, como la instalación previa de dispositivos de asistencia satelital o la aprobación del área de suscripción de la aseguradora.

Esta clasificación permite a las empresas elegir el paquete que mejor se adapte a su nivel de riesgo, presupuesto y tipo de carga transportada, siendo una herramienta clave para optimizar la gestión de riesgos y reducir el impacto económico de los siniestros en el autotransporte de carga.

Tabla 2. Coberturas de seguros para el transporte terrestre

Tipo de seguro	Paquete Amplia	Paquete Plus	Paquete Limitada	Paquete Básico
Daños materiales	ü	-	-	-
Solo pérdida total	-	ü	-	-
Robo total	ü	ü	ü	-
Responsabilidad civil por daños a	ü	ü	ü	ü
Responsabilidad civil daños por la	ü	ü	ü	ü
Responsabilidad civil daños	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Gastos médicos ocupantes	ü	ü	ü	ü
Gastos legales	ü	ü	ü	ü
Asistencia vial	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Asistencia satelital*	Opcional	Opcional	Opcional	-
Gastos por pérdida de uso	Opcional	Opcional	Opcional	-
Exención de deducible por	Opcional	Opcional	Opcional	-
Muerte del conductor por	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Responsabilidad civil	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Responsabilidad civil ocupantes	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Responsabilidad cruzada**	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Arrastre de remolque**	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Maniobras de carga v	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Equipo especial	Opcional	Opcional	Opcional	-
Adaptación	Opcional	Opcional	Opcional	-
Protección para daños a terceros	ü	Opcional	ü	ü
<b>Observaciones</b>	*Previa instalación del dispositivo. **Se deberá consultar con el área de suscripción para su			

En síntesis, los elementos abordados en este marco teórico permiten comprender la complejidad de la siniestralidad en el autotransporte de carga desde una perspectiva integral. El análisis del transporte como eje estratégico de la logística, la normativa vigente en materia de seguros y las condiciones psicofisiológicas del conductor revelan que el problema no puede ser abordado desde un solo enfoque técnico o legal. Por el contrario, se requiere una visión sistémica que articule la gestión operativa, la prevención de riesgos, la incorporación de tecnologías inteligentes y el fortalecimiento del factor humano. Estos fundamentos teóricos sustentan la necesidad de desarrollar propuestas organizacionales que, como la planteada en esta investigación, contribuyan a reducir la siniestralidad y a mejorar el desempeño logístico mediante estrategias innovadoras, sostenibles y adaptadas al contexto mexicano.

## **Método**

### Enfoque de investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, de tipo exploratorio y documental, cuyo propósito fue analizar las causas estructurales, técnicas y humanas que inciden en la siniestralidad del autotransporte de carga en México, así como proponer estrategias organizacionales y tecnológicas para su mitigación. Este enfoque permitió comprender el fenómeno desde una perspectiva integral, considerando tanto aspectos normativos como conductuales y logísticos.

### Técnicas de recolección de información

Se empleó la revisión sistemática de fuentes secundarias, entre las que se incluyeron:

- Informes oficiales y estadísticas nacionales (INEGI, Instituto Mexicano del Transporte, entre otros).
- Literatura científica especializada en logística, transporte, seguros y psicología del conductor.
- Publicaciones de organismos especializados y artículos técnicos recientes relacionados con la implementación de tecnologías emergentes (como inteligencia artificial) en el sector transporte.

Los criterios de inclusión fueron: fuentes publicadas entre 2019 y 2024, con enfoque en el contexto mexicano, y con relevancia directa sobre seguridad vial, gestión de riesgos o innovación tecnológica en el transporte.

### Procedimiento

El procedimiento se llevó a cabo en tres fases:

- Sistematización de información: Se identificaron, organizaron y clasificaron los principales elementos relacionados con la siniestralidad en el transporte de carga, abarcando factores operativos, humanos, tecnológicos y legales.
- Análisis de contenido: Se realizó un análisis cualitativo para detectar patrones comunes, limitaciones estructurales y oportunidades de mejora dentro del sistema actual de prevención y aseguramiento de riesgos.

- Diseño de propuesta estratégica: Con base en los hallazgos, se formuló una propuesta integral orientada a la creación de un área organizacional especializada en seguros, así como la incorporación de herramientas de inteligencia artificial y programas de capacitación, con el fin de reducir los índices de siniestralidad y mejorar la eficiencia logística.

## Resultados y discusión

La revisión documental permitió identificar diversos hallazgos clave que explican la persistencia de la siniestralidad en el autotransporte de carga en México. En primer lugar, se observó que las empresas del sector carecen de una estructura organizacional formal para la gestión preventiva de siniestros. La administración del riesgo, cuando existe, suele ser reactiva y limitada a la contratación básica de seguros, sin estrategias de seguimiento o análisis de datos (Serrato, 2020).

Frente a esta situación, se propone la implementación de un Área de Seguros dentro de las empresas transportistas, como mecanismo para integrar funciones de evaluación de riesgos, documentación de eventos, gestión de primas, y seguimiento de siniestros. Esta área debe operar bajo un modelo de administración estratégica, permitiendo planificar, ejecutar y evaluar acciones orientadas a la prevención y mitigación de accidentes.

Para lograr esta implementación se utilizará la Administración Estratégica la cual permitirá la planeación, implantación, ejecución y evaluación de resultados.

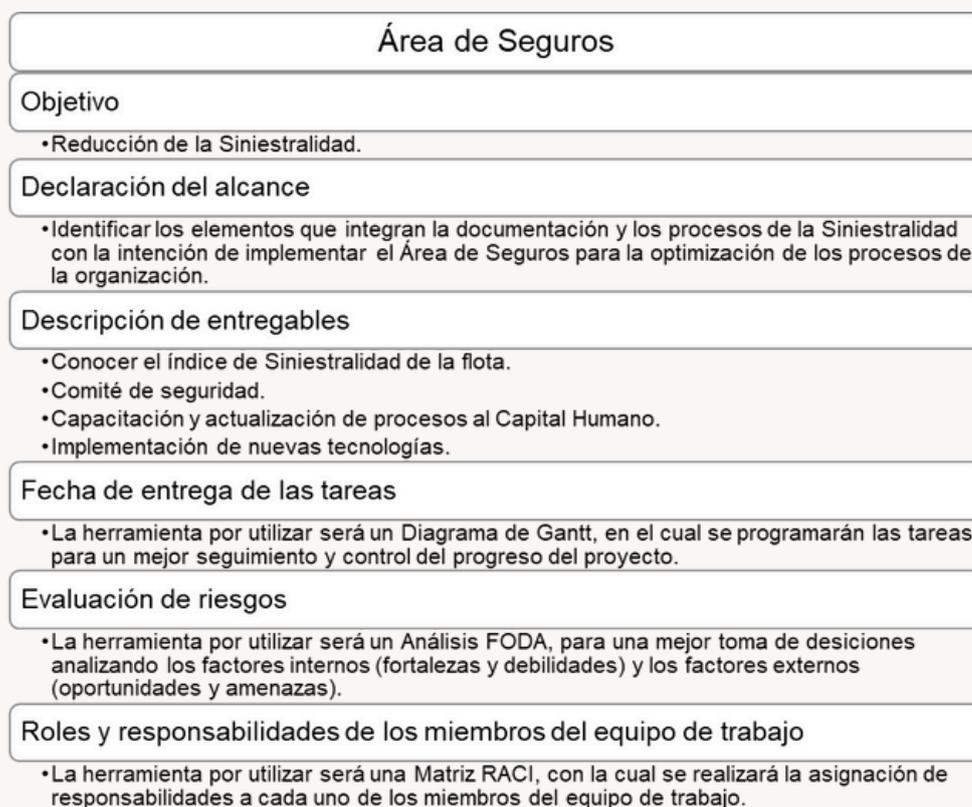


Figura 3. Plan estratégico para la reducción de la Siniestralidad.

Aunado a esto se podrían implementar algunas plataformas de Inteligencia Artificial (IA) para mejorar la seguridad y eficiencia en el autotransporte. En este sentido se presentan dos para su posible incorporación.

#### NeuroMotum

En la pasada Expo Transporte ANPACT 2023, la empresa mexicana Tecnomotum presenta NeuroMotum una plataforma de Inteligencia Artificial (IA) que promete transformar la forma en que las flotas operan, reduciendo accidentes y robos, a la vez que incrementa la eficiencia operativa. (TyT R. 2023)

- Equidad y justicia en la evaluación de conductores
  - NeuroMotum incorpora variables complejas como las condiciones de la carretera y circunstancias imprevistas, que normalmente no son consideradas en las evaluaciones tradicionales, mejorando así la justicia en la valoración del desempeño del conductor.
- Reducción de alertas y mejora en la vigilancia
  - Redefine la eficiencia en la vigilancia de rutas. La plataforma es capaz de disminuir drásticamente la cantidad de alertas innecesarias, permitiendo a los monitoristas concentrarse en situaciones críticas. Esta mejora en la precisión de las alertas resulta una respuesta más rápida y efectiva a incidentes como robos, crucial para la seguridad de la carga y el personal.
- Innovación en el mantenimiento predictivo
  - La plataforma permite a las empresas obtener información detallada sobre el estado y el rendimiento de sus vehículos, lo que facilita ajustes más precisos en los calendarios de mantenimiento y así mantener las unidades en las mejores condiciones para maximizar su rendimiento y vida útil.

#### Samsara

Es una plataforma que identifica indicadores para impulsar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad. (T21 R. , 2024) Algunas de las características de esta herramienta son:

- Protección a los conductores
  - Propone crear un programa de seguridad proactivo que protege a los conductores e identifica riesgos.
- Incorpora seguridad
  - Optimiza la seguridad con rutinas de inspección, automatiza el mantenimiento preventivo y detecta fallas mediante monitoreo en tiempo real.
- Ventaja competitiva
  - Personaliza los reportes a los objetivos de la empresa transportista y reduce las primas de seguro y los reclamos por incidentes.

Integrando a estos puntos el factor humano es una de las variables en donde la tarea de conducción no solo se incorporan las destrezas psicomotoras, sino también las expectativas, actitudes, experiencias, motivos y emociones. Por lo tanto, el elemento subjetivo se convierte dentro de la tarea de conducción en la variable clave que explica el complejo proceso de la toma de decisión previo a la elección de cualquier maniobra. Es decir, se debe tener en cuenta todos los procesos y variables mediacionales (personalidad, inteligencia, estilos cognitivos, motivación, aprendizajes, experiencia, memoria, etc.) que modulan el funcionamiento de los procesos psicológicos implicados en la conducción.

- La conducta de conducción es considerada como el desempeño de una habilidad perfeccionable, y centra la atención de forma casi exclusiva en las aptitudes de los conductores a la hora de explicar el comportamiento. En el ámbito del autotransporte, las diferencias individuales en las destrezas o habilidades perceptivo-motrices del conductor juegan un papel crucial. Las competencias requeridas son todas aquellas que permiten al conductor adaptarse eficazmente a las exigencias de la situación de conducción. Esto incluye habilidades sensorperceptivas (especialmente la percepción visual), atencionales, de coordinación motriz y psico-reactivas.

En este ámbito, las diferencias individuales en las aptitudes, destrezas o habilidades perceptivo-motrices juegan un papel crucial. Las aptitudes requeridas serían todas aquellas relacionadas con la habilidad del conductor para adaptarse a las exigencias que impone una situación de conducción: habilidades sensorperceptivas (sobre todo la percepción visual), atencionales, de coordinación motriz y psico-reactivas (Paniagua, 2020).

- **Cualificación para la conducción:** Los factores para conducir un vehículo no se basan únicamente en las facultades o aptitudes que de forma innata y perfeccionable tiene el conductor. Es necesario en este sentido adquirir, aprender toda una serie de capacidades psicológicas, así como un conjunto de conocimientos relacionados con la normativa, regulaciones, señalización entre otros, que han de regir el tráfico y la seguridad vial.
- **Aptitudes motoras del conductor:** Se trata de las habilidades que en definitiva conducen a la realización de una acción en una determinada situación. Una vez elegida la maniobra más adecuada, el conductor debe ejecutarla con la mayor rapidez y precisión posible, lo que se denomina capacidad de respuesta del conductor.
- **Motivación en la conducción:** La motivación en algo que tiene que ver con el porque de la conducta tanto a nivel de activación (si se produce una conducta o no), de dirección (que conducta), de intensidad (con que intensidad), y de mantenimiento (y durante cuánto tiempo).

Para aumentar la seguridad es necesario incrementar los motivos que llevan a los conductores a realizar conductas seguras y eliminar aquellos motivos que incidan en la adopción de conductas de riesgo



Figura 4. Reglas básicas para conducir tractocamiones

### Comparación internacional y casos de éxito

Diversos países han implementado estrategias integrales para disminuir la siniestralidad en el transporte de carga, combinando tecnología, normativas estrictas y profesionalización del sector. Estas experiencias ofrecen aprendizajes valiosos que pueden ser adaptados al contexto mexicano.

#### 1. Estados Unidos: tecnología al servicio de la prevención

En Estados Unidos, empresas como UPS y FedEx han adoptado desde hace más de una década sistemas avanzados de monitoreo como Lytx DriveCam, que graban eventos críticos en carretera y permiten evaluar el comportamiento del conductor en tiempo real. Esta estrategia ha reducido hasta en un 60% los accidentes con culpa atribuible al operador (Lytx, 2022). Además, las flotas están sujetas a la normativa del Federal Motor Carrier Safety Administration (FMCSA), que exige dispositivos electrónicos de registro (ELD) y programas de seguridad basados en datos telemáticos.

#### 2. Alemania: normativas y certificación profesional

En Alemania, la reducción de siniestralidad se ha logrado mediante una estricta regulación del tiempo de conducción y descanso, controlada mediante tacógrafos digitales obligatorios. A ello se suma la certificación obligatoria de conductores profesionales bajo la normativa europea (Directiva 2003/59/CE), que exige formación continua en seguridad vial, eficiencia de combustible y respuesta ante emergencias.

#### 3. Chile: integración tecnológica y cultura preventiva

En América Latina, Chile ha destacado por su programa de modernización del transporte de carga, que incluye el uso obligatorio de GPS, sensores de fatiga y control de velocidad en flotas de alto tonelaje. La empresa Transportes Nazar, pionera en este modelo, reportó una disminución del 45% en accidentes tras incorporar monitoreo activo, programas de conducción segura y mantenimiento predictivo (MOP, 2021).

Estas experiencias internacionales coinciden en tres aspectos clave: uso sistemático de tecnología de monitoreo, formación continua de conductores y regulación estricta de las operaciones. La propuesta de este estudio, centrada en la creación de un área organizacional de seguros y la incorporación de herramientas como NeuroMotum y Samsara, se alinea con estos enfoques, ofreciendo una alternativa viable para reducir la siniestralidad en México. No obstante, su éxito dependerá de la voluntad empresarial, el fortalecimiento normativo y la capacitación del recurso humano, tal como ha ocurrido en los países referidos.

### **Conclusiones y recomendaciones**

La presente investigación permite concluir que la siniestralidad en el autotransporte de carga en México es un fenómeno complejo que involucra factores técnicos, humanos, organizacionales y estructurales. Su impacto trasciende lo operativo, afectando la sostenibilidad financiera de las empresas y la seguridad vial en el país. A pesar de la existencia de normativas y opciones de aseguramiento, aún persiste una débil integración entre la prevención, la gestión documental y el uso estratégico de tecnologías emergentes

Uno de los hallazgos más relevantes es la necesidad de profesionalizar la gestión de riesgos a través de la creación de un área especializada en seguros dentro de las organizaciones transportistas. Esta unidad puede fungir como eje articulador entre los procesos operativos, las aseguradoras y los sistemas de monitoreo. Asimismo, la incorporación de plataformas basadas en inteligencia artificial como NeuroMotum y Samsara representa una oportunidad valiosa para anticipar riesgos, optimizar mantenimientos y evaluar el desempeño de los conductores en tiempo real.

Entre las principales recomendaciones, se propone:

- Implementar un área de seguros con enfoque estratégico, orientada a reducir la siniestralidad mediante acciones preventivas y seguimiento documental.
- Adoptar tecnologías inteligentes para monitorear y analizar el comportamiento de las flotas, con énfasis en la predicción de incidentes y la seguridad operativa.
- Capacitar al personal en competencias digitales y en la gestión de riesgos, promoviendo una cultura organizacional enfocada en la seguridad vial.
- Estandarizar procesos documentales, asegurando la trazabilidad de incidentes y facilitando la toma de decisiones basada en evidencia.

Limitaciones del estudio: Este trabajo se basa en análisis documental, por lo que no incorpora evidencia empírica directa a través de entrevistas, encuestas o análisis de campo. Se sugiere, para investigaciones futuras, realizar estudios de caso en empresas transportistas que hayan implementado con éxito estas estrategias.

Aportaciones al campo del conocimiento: La propuesta integra enfoques de logística, administración estratégica y tecnologías emergentes, ofreciendo una visión innovadora para la gestión de siniestros en el sector transporte. Su aplicabilidad práctica puede contribuir a fortalecer la seguridad operativa, reducir costos y fomentar la transformación digital en el autotransporte de carga.

La transformación digital en el sector del autotransporte de carga ya no es una opción, sino una necesidad impostergable para garantizar la competitividad, la seguridad y la sostenibilidad de las operaciones logísticas. En un entorno cada vez más complejo y dinámico, caracterizado por el aumento de la demanda, la presión por reducir costos y los crecientes riesgos en carretera, la adopción de tecnologías inteligentes se convierte en un pilar estratégico para las empresas del sector.

Plataformas basadas en inteligencia artificial, sensores telemáticos, sistemas de geolocalización y herramientas de mantenimiento predictivo están revolucionando la forma en que se gestionan las flotas, se evalúa el desempeño de los conductores y se toman decisiones operativas en tiempo real. Esta digitalización no solo mejora la eficiencia y reduce la siniestralidad, sino que también fortalece la trazabilidad, la transparencia y la capacidad de respuesta ante imprevistos.

No obstante, la tecnología por sí sola no es suficiente. Su implementación exitosa requiere una transformación organizacional que incluya la profesionalización del capital humano, la integración de áreas especializadas —como la gestión de seguros—, y una cultura corporativa orientada a la prevención, la mejora continua y la innovación

México cuenta con el talento, la tecnología y el marco normativo mínimo necesario para iniciar esta transición. El reto está en articular estos elementos dentro de un modelo de gestión inteligente que coloque la seguridad vial y la eficiencia logística en el centro de la agenda empresarial y gubernamental. Solo así será posible construir un sistema de transporte más moderno, resiliente y alineado con las exigencias del desarrollo sostenible y la economía digital.

## Referencias

Ballou, R. H., & Saporito, E. (2023). *Logística empresarial: Cadena de suministro*. Pearson Educación.

Colunga, A. C., Ramírez, M. C., Rivera, M. E., & Díaz, A. M. (2021). Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Obtenido de Anuario estadístico de colisiones en carreteras federales 2021: [https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/EST\\_Accidentes\\_CF/DT\\_85\\_Anuario\\_2021\\_v3.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/EST_Accidentes_CF/DT_85_Anuario_2021_v3.pdf)

Coyle, J. J., Langley Jr., C. J., Gibson, B. J., Novack, R. A., & Bardi, E. J. (2023). *Supply Chain Management: A Logistics Perspective*. Cengage Learning.

FMCSA. (2023). Electronic Logging Devices (ELD) Rule. Federal Motor Carrier Safety Administration. <https://www.fmcsa.dot.gov/hours-service/elds/electronic-logging-devices>

INEGI. (2021). Conociendo la Industria del Autotransporte de Carga. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bv\\_inegi/productos/nueva\\_estruc/889463903994.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bv_inegi/productos/nueva_estruc/889463903994.pdf)

Ley sobre el Contrato de Seguro, DOF 31-08-1935 (Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 04 de abril de 2013).

López, J. L. (2022). *El seguro de transporte de mercancías*. Editorial Reus.

Lytix. (2022). Proven Results: DriveCam Reduces Risk and Collision Frequency. <https://www.lytix.com/en-us/resources/proven-results>

MOP - Ministerio de Obras Públicas de Chile. (2021). Estudio de implementación de tecnologías para mejorar la seguridad en el transporte de carga por carretera. Gobierno de Chile. <https://www.mop.cl>

Olmedilla, A., & Domínguez, A. (2019). *Psicología de la Conducción y Seguridad Vial*. Síntesis.

Paniagua, E. A. (2020). *Psicología del tráfico y de la seguridad vial*. Pirámide.

Santiago, B. (16 de Febrero de 2022). Quálitas Compañía de Seguros. Obtenido de ¿Cuáles son los Seguros para Camiones de Carga?: <https://qualitassegurosautos.com/articulos/seguros-para-camiones-de-carga-qualitas/>

Serrato, N. B. (13 de Febrero de 2024). Carreteras más peligrosas de México para el transporte de carga. Obtenido de Revista Transportes y Turismo: <https://www.tyt.com.mx/nota/carreteras-mas-peligrosas-de-mexico-para-el-transporte-de-carga>

Serrato, N. B. (2020). Como reducir hasta 30% la Siniestralidad de su flota y el costo de los seguros. Transportes y Turismo .

T yT, R. (6 de Octubre de 2023). Claves para dar un paso más en el uso de datos en el transporte. Obtenido de Revista Transportes y Turismo: México cuenta con el talento, la tecnología y el marco normativo mínimo necesario para iniciar esta transición. El reto está en articular estos elementos dentro de un modelo de gestión inteligente que coloque la seguridad vial y la eficiencia logística en el centro de la agenda empresarial y gubernamental. Solo así será posible construir un sistema de transporte más moderno, resiliente y alineado con las exigencias del desarrollo sostenible y la economía digital.

T21, R. (12 de Enero de 2024). T21. Obtenido de Samsara, plataforma que permite generar benchmark e identificar las áreas de oportunidad para las empresas.: <https://t21.com.mx/samsara-identifica-indicadores-para-impulsar-seguridad-eficiencia-y-sostenibilidad/>

Transportes Nazar. (2021). Programa de seguridad vial y reducción de siniestros en flota de carga pesada. Presentación institucional. Recuperado de <https://www.transportesnazar.cl>

Unión Europea. (2003). Directiva 2003/59/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la cualificación inicial y formación continua de los conductores de determinados vehículos de transporte por carretera. Diario Oficial de la Unión Europea. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32003L0059>

Unión. (2020). Ley 50/1980, de 8 de octubre, de Contrato de Seguro (BOE núm. 250, de 17 de octubre de 1980). Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado.

# DISPOSITIVO INTELIGENTE PARA LA DETECCIÓN DE HUMEDAD Y RIEGO AUTOMATIZADO, ENFOCADO EN DESARROLLO SUSTENTABLE Y EDUCACIÓN AMBIENTAL

SMART DEVICE FOR MOISTURE DETECTION AND AUTOMATED IRRIGATION, FOCUSED ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ENVIRONMENTAL EDUCATION

**Christopher J. Paredes de la Fuente, V. Jiménez Martínez**

Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli

Av. Nopaltepec s/n, Col. La Perla, C.P. 54740 Cuautitlán Izcalli, Edo. Méx.

christopher.pd@cuautitlan.tecnm.mx

## Resumen

En un escenario donde los recursos naturales están cada vez más comprometidos, la gestión eficiente del agua se ha convertido en una prioridad global. La agricultura, siendo una de las actividades con mayor demanda hídrica, enfrenta retos considerables para garantizar la sostenibilidad sin sacrificar productividad. Este proyecto propone el diseño, desarrollo y aplicación de un sistema de riego automatizado basado en sensores de humedad del suelo, utilizando la plataforma Arduino como núcleo de procesamiento.

La investigación se llevó a cabo en comunidades del Estado de México, donde se identificó una alta preocupación por el consumo de agua y el tiempo invertido en riego manual. Mediante una metodología mixta, que combinó encuestas, pruebas de campo y observación directa, se validó la efectividad del dispositivo propuesto. Los resultados evidenciaron una reducción significativa en el uso de agua y tiempo de trabajo, así como un alto nivel de aceptación por parte de los usuarios.

Además de su funcionalidad técnica, el sistema representa una herramienta educativa para fomentar la conciencia ambiental y el aprendizaje de tecnologías accesibles. Este trabajo demuestra que es posible implementar soluciones de bajo costo que promuevan tanto la eficiencia agrícola como la formación en sostenibilidad. A largo plazo, la adopción de este tipo de dispositivos podría tener un impacto significativo en el uso responsable del agua y en la formación de comunidades más resilientes frente al cambio climático.

Palabras clave: Riego automatizado, sensores de humedad, Arduino, sostenibilidad, educación ambiental, agricultura eficiente, desarrollo tecnológico, gestión del agua.

## Abstract

In a context where natural resources are increasingly compromised, efficient water management has become a global priority. agriculture, one of the activities with the greatest water demand, faces considerable challenges in ensuring sustainability without sacrificing productivity. this project proposes the design, development, and implementation of an automated irrigation system based on soil moisture sensors, using the arduino platform as the processing core.

The research was conducted in communities in the state of mexico, where high concerns about water consumption and the time spent on manual irrigation were identified. using a mixed methodology, combining surveys, field tests, and direct observation, the effectiveness of the proposed device was validated. the results showed a significant reduction in water use and labor time, as well as a high level of user acceptance.

In addition to its technical functionality, the system represents an educational tool to promote environmental awareness and the learning of accessible technologies. this work demonstrates that it is possible to implement low-cost solutions that promote both agricultural efficiency and sustainability training. in the long term, the adoption of these types of devices could have a significant impact on responsible water use and the development of communities that are more resilient to climate change.

Keywords: Automated irrigation, humidity sensors, Arduino, sustainability, environmental education, efficient agriculture, technological development, water management.

## Introducción

El uso eficiente del agua es una prioridad ante el aumento de la demanda alimentaria y la creciente escasez de recursos naturales. En la agricultura, el riego representa cerca del 70% del consumo mundial de agua dulce, y gran parte de este se desperdicia debido a prácticas manuales y poco eficientes. La automatización del riego, basada en sensores de humedad del suelo, surge como una solución tecnológica viable para mejorar el rendimiento agrícola y reducir el consumo hídrico.

En comunidades rurales del Estado de México, donde predominan técnicas tradicionales y el acceso a tecnologías es limitado, los agricultores enfrentan altos costos operativos, pérdida de tiempo y escasa eficiencia en el uso del agua. Esta situación genera la necesidad de implementar sistemas accesibles, económicos y funcionales que respondan a las condiciones reales del suelo.

El objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un sistema de riego automatizado utilizando sensores de humedad y microcontroladores Arduino, que permita activar el riego solo cuando sea necesario. Además, se busca que este dispositivo tenga una función educativa, fomentando el aprendizaje práctico en temas de sostenibilidad, tecnología y programación.

Desde el enfoque teórico, se integra el uso de plataformas abiertas como Arduino, que permiten desarrollar soluciones automatizadas de bajo costo, y se reconoce la importancia de la educación ambiental como medio para generar conciencia sobre el cuidado del agua y la adopción de tecnologías sostenibles.

## Método

### Diseño de investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando técnicas cualitativas y cuantitativas. Este enfoque permitió recolectar datos estadísticos sobre hábitos de riego e identificar percepciones y necesidades de los usuarios respecto al uso de tecnología en la agricultura.

### Tipo de estudio

Se trató de una investigación aplicada, con fines prácticos orientados a resolver un problema real mediante la construcción de un dispositivo funcional. A su vez, tuvo un carácter exploratorio, al adentrarse en un contexto poco atendido tecnológicamente.

### Participantes

La muestra estuvo compuesta por 30 personas de comunidades rurales del Estado de México, con experiencia en labores agrícolas o manejo de huertos. La selección fue intencional, buscando representatividad de usuarios potenciales.



Figura 1. Gráficas de encuestas aplicadas y resultados (Imagen de propia autoría)

### Técnicas e instrumentos

Se emplearon encuestas impresas y digitales para recopilar datos cuantitativos. Se realizaron observaciones directas durante la aplicación del prototipo y entrevistas informales para obtener información cualitativa. También se utilizaron registros fotográficos y bitácoras de campo.

## Procedimiento

### Desarrollo del dispositivo

El diseño y ensamblaje del sistema de riego automatizado se llevó a cabo en varias etapas:

1. Selección de componentes electrónicos: Se eligieron dispositivos de bajo costo, fáciles de adquirir y compatibles con plataformas abiertas. Los principales componentes fueron:

- Sensor de humedad capacitivo



Figura 2. Sensor de humedad <https://forum.arduino.cc/t/dudas-sobre-sensor-humedad-de-suelo-arduino/431528>

- Placa microcontroladora Arduino UNO



Figura 2. Arduino UNO [https://www.steren.com.mx/placa-de-desarrollo.html?srsId=AfmBOoqa\\_Bv8JuzElkZox\\_q3lo4tA0NVgQ4v34r-IEHXEXIryEPgmGeM](https://www.steren.com.mx/placa-de-desarrollo.html?srsId=AfmBOoqa_Bv8JuzElkZox_q3lo4tA0NVgQ4v34r-IEHXEXIryEPgmGeM)

- Módulo de relé para el control de la bomba



Figura 3. Modulo relay <https://www.colombianizate.com.co/tienda/arduino/arduino-rele-relay/modulo-rele-1-canal-5v-arduino/>

- Módulo de relé para el control de la bomba



Figura 3. Pantalla LCD 16X2 <https://kinetronica.com.mx/display-lcd-16x2-verde-con-headers>

- Bomba de agua miniatura (para simulación)



Figura 4. Bomba de agua [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1939113469-bomba-de-agua-mini-bomba-de-refuerzo-con-usb-fuente-180m-\\_JM?quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1939113469-bomba-de-agua-mini-bomba-de-refuerzo-con-usb-fuente-180m-_JM?quantity=1)

- o Fuente de alimentación de 5V
- o Protoboard, cables base para el montaje

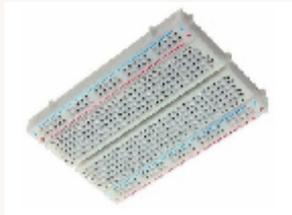


Figura 5. Protoboard <https://portalacademico.cch.unam.mx/cibernetical/implementacion-de-circuitos-logicos/tableta-protoboard>

2. Programación del sistema: Se escribió un código en el entorno Arduino IDE utilizando lenguaje basado en C/C++, configurando el sistema para leer continuamente los niveles de humedad del suelo. Si la lectura estaba por debajo del umbral (460), se activaba la bomba de agua durante 5 segundos. El sistema también mostraba en pantalla los valores de humedad y el estado del riego.

```

1 #include <LiquidCrystal.h>
2
3 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
4 #define RS      0
5 #define RW     1
6 #define EN    2
7 #define D4    3
8 #define D5    4
9 #define D6    5
10 #define D7    6
11
12 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
13 #define A0     0
14 #define A1     1
15 #define A2     2
16 #define A3     3
17 #define A4     4
18 #define A5     5
19 #define A6     6
20 #define A7     7
21 #define A8     8
22 #define A9     9
23 #define A10    10
24 #define A11    11
25
26 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
27 #define B0     0
28 #define B1     1
29 #define B2     2
30 #define B3     3
31 #define B4     4
32 #define B5     5
33 #define B6     6
34 #define B7     7
35 #define B8     8
36 #define B9     9
37 #define B10    10
38 #define B11    11
39
40 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
41 #define RS      0
42 #define RW     1
43 #define EN    2
44 #define D4    3
45 #define D5    4
46 #define D6    5
47 #define D7    6
48 #define D8    7
49 #define D9    8
50 #define D10   9
51 #define D11  10
52
53 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
54 #define A0     0
55 #define A1     1
56 #define A2     2
57 #define A3     3
58 #define A4     4
59 #define A5     5
60 #define A6     6
61 #define A7     7
62 #define A8     8
63 #define A9     9
64 #define A10    10
65 #define A11    11
66
67 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
68 #define B0     0
69 #define B1     1
70 #define B2     2
71 #define B3     3
72 #define B4     4
73 #define B5     5
74 #define B6     6
75 #define B7     7
76 #define B8     8
77 #define B9     9
78 #define B10    10
79 #define B11    11
80
81 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
82 #define RS      0
83 #define RW     1
84 #define EN    2
85 #define D4    3
86 #define D5    4
87 #define D6    5
88 #define D7    6
89 #define D8    7
90 #define D9    8
91 #define D10   9
92 #define D11  10
93
94 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
95 #define A0     0
96 #define A1     1
97 #define A2     2
98 #define A3     3
99 #define A4     4
100 #define A5     5
101 #define A6     6
102 #define A7     7
103 #define A8     8
104 #define A9     9
105 #define A10    10
106 #define A11    11
107
108 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
109 #define B0     0
110 #define B1     1
111 #define B2     2
112 #define B3     3
113 #define B4     4
114 #define B5     5
115 #define B6     6
116 #define B7     7
117 #define B8     8
118 #define B9     9
119 #define B10    10
120 #define B11    11
121
122 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
123 #define RS      0
124 #define RW     1
125 #define EN    2
126 #define D4    3
127 #define D5    4
128 #define D6    5
129 #define D7    6
130 #define D8    7
131 #define D9    8
132 #define D10   9
133 #define D11  10
134
135 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
136 #define A0     0
137 #define A1     1
138 #define A2     2
139 #define A3     3
140 #define A4     4
141 #define A5     5
142 #define A6     6
143 #define A7     7
144 #define A8     8
145 #define A9     9
146 #define A10    10
147 #define A11    11
148
149 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
150 #define B0     0
151 #define B1     1
152 #define B2     2
153 #define B3     3
154 #define B4     4
155 #define B5     5
156 #define B6     6
157 #define B7     7
158 #define B8     8
159 #define B9     9
160 #define B10    10
161 #define B11    11
162
163 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
164 #define RS      0
165 #define RW     1
166 #define EN    2
167 #define D4    3
168 #define D5    4
169 #define D6    5
170 #define D7    6
171 #define D8    7
172 #define D9    8
173 #define D10   9
174 #define D11  10
175
176 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
177 #define A0     0
178 #define A1     1
179 #define A2     2
180 #define A3     3
181 #define A4     4
182 #define A5     5
183 #define A6     6
184 #define A7     7
185 #define A8     8
186 #define A9     9
187 #define A10    10
188 #define A11    11
189
190 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
191 #define B0     0
192 #define B1     1
193 #define B2     2
194 #define B3     3
195 #define B4     4
196 #define B5     5
197 #define B6     6
198 #define B7     7
199 #define B8     8
200 #define B9     9
201 #define B10    10
202 #define B11    11
203
204 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
205 #define RS      0
206 #define RW     1
207 #define EN    2
208 #define D4    3
209 #define D5    4
210 #define D6    5
211 #define D7    6
212 #define D8    7
213 #define D9    8
214 #define D10   9
215 #define D11  10
216
217 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
218 #define A0     0
219 #define A1     1
220 #define A2     2
221 #define A3     3
222 #define A4     4
223 #define A5     5
224 #define A6     6
225 #define A7     7
226 #define A8     8
227 #define A9     9
228 #define A10    10
229 #define A11    11
230
231 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
232 #define B0     0
233 #define B1     1
234 #define B2     2
235 #define B3     3
236 #define B4     4
237 #define B5     5
238 #define B6     6
239 #define B7     7
240 #define B8     8
241 #define B9     9
242 #define B10    10
243 #define B11    11
244
245 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
246 #define RS      0
247 #define RW     1
248 #define EN    2
249 #define D4    3
250 #define D5    4
251 #define D6    5
252 #define D7    6
253 #define D8    7
254 #define D9    8
255 #define D10   9
256 #define D11  10
257
258 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
259 #define A0     0
260 #define A1     1
261 #define A2     2
262 #define A3     3
263 #define A4     4
264 #define A5     5
265 #define A6     6
266 #define A7     7
267 #define A8     8
268 #define A9     9
269 #define A10    10
270 #define A11    11
271
272 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
273 #define B0     0
274 #define B1     1
275 #define B2     2
276 #define B3     3
277 #define B4     4
278 #define B5     5
279 #define B6     6
280 #define B7     7
281 #define B8     8
282 #define B9     9
283 #define B10    10
284 #define B11    11
285
286 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
287 #define RS      0
288 #define RW     1
289 #define EN    2
290 #define D4    3
291 #define D5    4
292 #define D6    5
293 #define D7    6
294 #define D8    7
295 #define D9    8
296 #define D10   9
297 #define D11  10
298
299 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
300 #define A0     0
301 #define A1     1
302 #define A2     2
303 #define A3     3
304 #define A4     4
305 #define A5     5
306 #define A6     6
307 #define A7     7
308 #define A8     8
309 #define A9     9
310 #define A10    10
311 #define A11    11
312
313 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
314 #define B0     0
315 #define B1     1
316 #define B2     2
317 #define B3     3
318 #define B4     4
319 #define B5     5
320 #define B6     6
321 #define B7     7
322 #define B8     8
323 #define B9     9
324 #define B10    10
325 #define B11    11
326
327 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
328 #define RS      0
329 #define RW     1
330 #define EN    2
331 #define D4    3
332 #define D5    4
333 #define D6    5
334 #define D7    6
335 #define D8    7
336 #define D9    8
337 #define D10   9
338 #define D11  10
339
340 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
341 #define A0     0
342 #define A1     1
343 #define A2     2
344 #define A3     3
345 #define A4     4
346 #define A5     5
347 #define A6     6
348 #define A7     7
349 #define A8     8
350 #define A9     9
351 #define A10    10
352 #define A11    11
353
354 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
355 #define B0     0
356 #define B1     1
357 #define B2     2
358 #define B3     3
359 #define B4     4
360 #define B5     5
361 #define B6     6
362 #define B7     7
363 #define B8     8
364 #define B9     9
365 #define B10    10
366 #define B11    11
367
368 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
369 #define RS      0
370 #define RW     1
371 #define EN    2
372 #define D4    3
373 #define D5    4
374 #define D6    5
375 #define D7    6
376 #define D8    7
377 #define D9    8
378 #define D10   9
379 #define D11  10
380
381 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
382 #define A0     0
383 #define A1     1
384 #define A2     2
385 #define A3     3
386 #define A4     4
387 #define A5     5
388 #define A6     6
389 #define A7     7
390 #define A8     8
391 #define A9     9
392 #define A10    10
393 #define A11    11
394
395 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
396 #define B0     0
397 #define B1     1
398 #define B2     2
399 #define B3     3
400 #define B4     4
401 #define B5     5
402 #define B6     6
403 #define B7     7
404 #define B8     8
405 #define B9     9
406 #define B10    10
407 #define B11    11
408
409 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
410 #define RS      0
411 #define RW     1
412 #define EN    2
413 #define D4    3
414 #define D5    4
415 #define D6    5
416 #define D7    6
417 #define D8    7
418 #define D9    8
419 #define D10   9
420 #define D11  10
421
422 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
423 #define A0     0
424 #define A1     1
425 #define A2     2
426 #define A3     3
427 #define A4     4
428 #define A5     5
429 #define A6     6
430 #define A7     7
431 #define A8     8
432 #define A9     9
433 #define A10    10
434 #define A11    11
435
436 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
437 #define B0     0
438 #define B1     1
439 #define B2     2
440 #define B3     3
441 #define B4     4
442 #define B5     5
443 #define B6     6
444 #define B7     7
445 #define B8     8
446 #define B9     9
447 #define B10    10
448 #define B11    11
449
450 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
451 #define RS      0
452 #define RW     1
453 #define EN    2
454 #define D4    3
455 #define D5    4
456 #define D6    5
457 #define D7    6
458 #define D8    7
459 #define D9    8
460 #define D10   9
461 #define D11  10
462
463 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
464 #define A0     0
465 #define A1     1
466 #define A2     2
467 #define A3     3
468 #define A4     4
469 #define A5     5
470 #define A6     6
471 #define A7     7
472 #define A8     8
473 #define A9     9
474 #define A10    10
475 #define A11    11
476
477 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
478 #define B0     0
479 #define B1     1
480 #define B2     2
481 #define B3     3
482 #define B4     4
483 #define B5     5
484 #define B6     6
485 #define B7     7
486 #define B8     8
487 #define B9     9
488 #define B10    10
489 #define B11    11
490
491 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
492 #define RS      0
493 #define RW     1
494 #define EN    2
495 #define D4    3
496 #define D5    4
497 #define D6    5
498 #define D7    6
499 #define D8    7
500 #define D9    8
501 #define D10   9
502 #define D11  10
503
504 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
505 #define A0     0
506 #define A1     1
507 #define A2     2
508 #define A3     3
509 #define A4     4
510 #define A5     5
511 #define A6     6
512 #define A7     7
513 #define A8     8
514 #define A9     9
515 #define A10    10
516 #define A11    11
517
518 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
519 #define B0     0
520 #define B1     1
521 #define B2     2
522 #define B3     3
523 #define B4     4
524 #define B5     5
525 #define B6     6
526 #define B7     7
527 #define B8     8
528 #define B9     9
529 #define B10    10
530 #define B11    11
531
532 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
533 #define RS      0
534 #define RW     1
535 #define EN    2
536 #define D4    3
537 #define D5    4
538 #define D6    5
539 #define D7    6
540 #define D8    7
541 #define D9    8
542 #define D10   9
543 #define D11  10
544
545 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
546 #define A0     0
547 #define A1     1
548 #define A2     2
549 #define A3     3
550 #define A4     4
551 #define A5     5
552 #define A6     6
553 #define A7     7
554 #define A8     8
555 #define A9     9
556 #define A10    10
557 #define A11    11
558
559 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
560 #define B0     0
561 #define B1     1
562 #define B2     2
563 #define B3     3
564 #define B4     4
565 #define B5     5
566 #define B6     6
567 #define B7     7
568 #define B8     8
569 #define B9     9
570 #define B10    10
571 #define B11    11
572
573 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
574 #define RS      0
575 #define RW     1
576 #define EN    2
577 #define D4    3
578 #define D5    4
579 #define D6    5
580 #define D7    6
581 #define D8    7
582 #define D9    8
583 #define D10   9
584 #define D11  10
585
586 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
587 #define A0     0
588 #define A1     1
589 #define A2     2
590 #define A3     3
591 #define A4     4
592 #define A5     5
593 #define A6     6
594 #define A7     7
595 #define A8     8
596 #define A9     9
597 #define A10    10
598 #define A11    11
599
600 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
601 #define B0     0
602 #define B1     1
603 #define B2     2
604 #define B3     3
605 #define B4     4
606 #define B5     5
607 #define B6     6
608 #define B7     7
609 #define B8     8
610 #define B9     9
611 #define B10    10
612 #define B11    11
613
614 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
615 #define RS      0
616 #define RW     1
617 #define EN    2
618 #define D4    3
619 #define D5    4
620 #define D6    5
621 #define D7    6
622 #define D8    7
623 #define D9    8
624 #define D10   9
625 #define D11  10
626
627 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
628 #define A0     0
629 #define A1     1
630 #define A2     2
631 #define A3     3
632 #define A4     4
633 #define A5     5
634 #define A6     6
635 #define A7     7
636 #define A8     8
637 #define A9     9
638 #define A10    10
639 #define A11    11
640
641 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
642 #define B0     0
643 #define B1     1
644 #define B2     2
645 #define B3     3
646 #define B4     4
647 #define B5     5
648 #define B6     6
649 #define B7     7
650 #define B8     8
651 #define B9     9
652 #define B10    10
653 #define B11    11
654
655 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
656 #define RS      0
657 #define RW     1
658 #define EN    2
659 #define D4    3
660 #define D5    4
661 #define D6    5
662 #define D7    6
663 #define D8    7
664 #define D9    8
665 #define D10   9
666 #define D11  10
667
668 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
669 #define A0     0
670 #define A1     1
671 #define A2     2
672 #define A3     3
673 #define A4     4
674 #define A5     5
675 #define A6     6
676 #define A7     7
677 #define A8     8
678 #define A9     9
679 #define A10    10
680 #define A11    11
681
682 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
683 #define B0     0
684 #define B1     1
685 #define B2     2
686 #define B3     3
687 #define B4     4
688 #define B5     5
689 #define B6     6
690 #define B7     7
691 #define B8     8
692 #define B9     9
693 #define B10    10
694 #define B11    11
695
696 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
697 #define RS      0
698 #define RW     1
699 #define EN    2
700 #define D4    3
701 #define D5    4
702 #define D6    5
703 #define D7    6
704 #define D8    7
705 #define D9    8
706 #define D10   9
707 #define D11  10
708
709 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
710 #define A0     0
711 #define A1     1
712 #define A2     2
713 #define A3     3
714 #define A4     4
715 #define A5     5
716 #define A6     6
717 #define A7     7
718 #define A8     8
719 #define A9     9
720 #define A10    10
721 #define A11    11
722
723 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
724 #define B0     0
725 #define B1     1
726 #define B2     2
727 #define B3     3
728 #define B4     4
729 #define B5     5
730 #define B6     6
731 #define B7     7
732 #define B8     8
733 #define B9     9
734 #define B10    10
735 #define B11    11
736
737 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
738 #define RS      0
739 #define RW     1
740 #define EN    2
741 #define D4    3
742 #define D5    4
743 #define D6    5
744 #define D7    6
745 #define D8    7
746 #define D9    8
747 #define D10   9
748 #define D11  10
749
750 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
751 #define A0     0
752 #define A1     1
753 #define A2     2
754 #define A3     3
755 #define A4     4
756 #define A5     5
757 #define A6     6
758 #define A7     7
759 #define A8     8
760 #define A9     9
761 #define A10    10
762 #define A11    11
763
764 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
765 #define B0     0
766 #define B1     1
767 #define B2     2
768 #define B3     3
769 #define B4     4
770 #define B5     5
771 #define B6     6
772 #define B7     7
773 #define B8     8
774 #define B9     9
775 #define B10    10
776 #define B11    11
777
778 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
779 #define RS      0
780 #define RW     1
781 #define EN    2
782 #define D4    3
783 #define D5    4
784 #define D6    5
785 #define D7    6
786 #define D8    7
787 #define D9    8
788 #define D10   9
789 #define D11  10
790
791 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
792 #define A0     0
793 #define A1     1
794 #define A2     2
795 #define A3     3
796 #define A4     4
797 #define A5     5
798 #define A6     6
799 #define A7     7
800 #define A8     8
801 #define A9     9
802 #define A10    10
803 #define A11    11
804
805 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
806 #define B0     0
807 #define B1     1
808 #define B2     2
809 #define B3     3
810 #define B4     4
811 #define B5     5
812 #define B6     6
813 #define B7     7
814 #define B8     8
815 #define B9     9
816 #define B10    10
817 #define B11    11
818
819 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
820 #define RS      0
821 #define RW     1
822 #define EN    2
823 #define D4    3
824 #define D5    4
825 #define D6    5
826 #define D7    6
827 #define D8    7
828 #define D9    8
829 #define D10   9
830 #define D11  10
831
832 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
833 #define A0     0
834 #define A1     1
835 #define A2     2
836 #define A3     3
837 #define A4     4
838 #define A5     5
839 #define A6     6
840 #define A7     7
841 #define A8     8
842 #define A9     9
843 #define A10    10
844 #define A11    11
845
846 // Definir los pines de la bomba (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
847 #define B0     0
848 #define B1     1
849 #define B2     2
850 #define B3     3
851 #define B4     4
852 #define B5     5
853 #define B6     6
854 #define B7     7
855 #define B8     8
856 #define B9     9
857 #define B10    10
858 #define B11    11
859
860 // Definir los pines de la pantalla (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
861 #define RS      0
862 #define RW     1
863 #define EN    2
864 #define D4    3
865 #define D5    4
866 #define D6    5
867 #define D7    6
868 #define D8    7
869 #define D9    8
870 #define D10   9
871 #define D11  10
872
873 // Definir los pines de la humedad (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
874 #define A0     0
875 #define A1     1
876 #define A2     2
877 #define A3     3
878 #define A4     4
879 #define A5     5
880 #
```

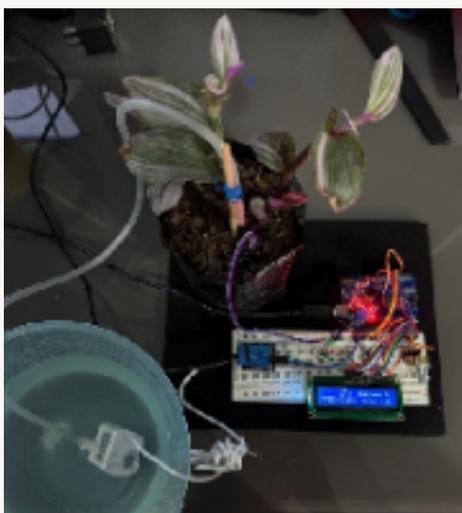


Figura 7. Circuito montado (Imagen de propia autoría)

4. Evaluación en campo: Se monitoreó el funcionamiento del sistema, registrando activaciones del riego, niveles de humedad, ahorro de agua y percepción de los usuarios mediante observación directa y retroalimentación informal.

5. Esquema de conexión: El esquema de conexión implementado es el siguiente para la realización de todo el circuito

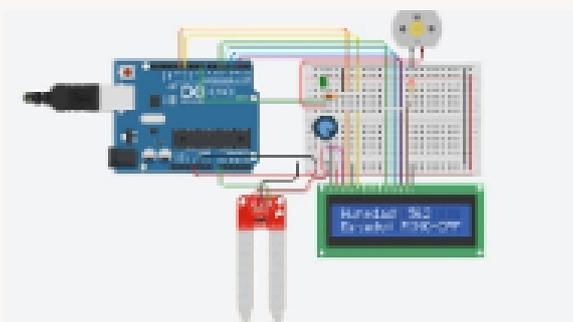


Figura 8. Diagrama de conexión (Imagen de propia autoría)

### Cronograma de trabajo

El proyecto fue desarrollado a lo largo de seis meses distribuidos en las siguientes fases:

Fase	Actividad	Mes
1	Diseño de instrumentos de recolección de datos	1
2	Aplicación de encuestas	2
3	Diseño del dispositivo	3
4	Pruebas en campo y observación directa	4-5
5	Análisis de resultados y redacción del informe	6

## Resultados principales

El sistema de riego automatizado logró reducir el consumo de agua entre un 30% y 50% en comparación con prácticas manuales. Además, se observó un ahorro estimado de entre 5 y 10 horas de trabajo mensual para los usuarios. El 95% de los participantes consideró útil la implementación del dispositivo, y el 90% expresó disposición a adoptarlo si su costo se mantuviera accesible.

## Discusión

Estos hallazgos coinciden con estudios previos que destacan los beneficios de los sistemas de riego automatizado en contextos agrícolas. La principal aportación de este proyecto radica en su bajo costo y carácter educativo, que lo hace viable para comunidades rurales e instituciones con recursos limitados. A diferencia de soluciones comerciales, esta propuesta integra aspectos técnicos y pedagógicos, generando impacto en el uso eficiente del agua y en la formación de capacidades locales.

## Conclusiones y recomendaciones

El proyecto demostró la viabilidad técnica, económica y educativa de un sistema de riego automatizado basado en Arduino y sensores de humedad. Este dispositivo puede ser adoptado como herramienta para mejorar la eficiencia hídrica, reducir costos operativos y promover el aprendizaje práctico en temas de tecnología y sostenibilidad.

## Limitaciones del estudio

- Dependencia de una fuente eléctrica constante.
- Falta de conectividad remota para monitoreo en tiempo real.
- Requiere conocimientos técnicos mínimos para instalación y mantenimiento.

## Aportaciones al campo del conocimiento

Este trabajo contribuye al desarrollo de tecnologías de bajo costo para la agricultura sustentable, así como al fortalecimiento de la educación ambiental mediante la integración de sistemas tecnológicos accesibles. Abre además la posibilidad de replicar este tipo de proyectos en contextos similares a nivel nacional e internacional.

## Recomendaciones

- Incluir módulos de conectividad (WiFi) para control remoto.
- Desarrollar guías didácticas y talleres para estudiantes y agricultores.
- Fomentar alianzas con instituciones educativas y autoridades locales para su implementación a mayor escala.

## Referencias

Ahmad, L., Qamar, S., & Batool, R. (2021). Development of low-cost soil moisture-based smart irrigation system using Arduino platform. *International Journal of Smart Technology and Learning*, 2(1), 45–58.

Evans, R. G., & Sadler, E. J. (2008). Methods and technologies to improve efficiency of water use. *Agricultural Water Management*, 95(8), 817–828. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377408000176>

Ferreira, P. M., Ruano, A. E., Conceição, R. C., & Ruano, M. V. (2022). Intelligent irrigation control using weather forecasts and soil moisture data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, 106610. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816992100627X>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2022). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022: Aprovechar la automatización agrícola para transformar los sistemas agroalimentarios*. Roma: FAO. <https://openknowledge.fao.org/items/c17a56ac-446b-4640-8ca5-a59a285d1cab>

Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2–3), 113–132. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169902000960>

# MINERÍA URBANA: ¿CLAVE PARA RECUPERAR METALES CRÍTICOS CONTENIDOS EN LA BASURA ELECTRÓNICA?

## URBAN MINING: KEY TO RECOVERING CRITICAL METALS FROM E-WASTE?

**Ma. C. Domínguez**

Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli

Av. Nopaltepec s/n, Col. La Perla, C.P. 54740 Cuautitlán Izcalli, Edo. Méx.  
carmen.dr@cuautitlan.tecnm.mx

### Resumen

La creciente dependencia de dispositivos electrónicos ha incrementado la demanda de metales críticos como el litio, cobalto, indio y oro, fundamentales para el desarrollo tecnológico y la transición energética. Sin embargo, su extracción mediante minería tradicional ha generado serios impactos ambientales y sociales. Al mismo tiempo, México se ha posicionado como uno de los principales generadores de residuos electrónicos en América latina y el Caribe, lo que representa tanto un desafío ambiental como una oportunidad estratégica.

En este contexto, la minería urbana surge como una alternativa sustentable, capaz de recuperar metales valiosos a partir de residuos tecnológicos, reduciendo la presión sobre los recursos naturales. Este enfoque se alinea con los principios de la economía circular, promueve la innovación en procesos verdes y puede contribuir a la generación de empleo y la soberanía tecnológica. No obstante, su consolidación requiere superar obstáculos logísticos tecnológicos y educativos, así como fomentar la colaboración entre gobierno e industria y sociedad.

Palabras clave: Minería urbana, metales críticos, residuos electrónicos, economía circular, revalorización de residuos

### Abstract

The growing dependence on electronic devices has increased the demand for critical metals such as lithium, cobalt, indium, and gold, which are essential for technological development and the energy transition. However, their extraction through traditional mining has generated serious environmental and social impacts. At the same time, Mexico has positioned itself as one of the main generators of electronic waste in Latin America and the Caribbean, which represents both an environmental challenge and a strategic opportunity.

In this context, urban mining is emerging as a sustainable alternative, capable of recovering valuable metals from technological waste, reducing pressure on natural resources. This approach aligns with the principles of the circular economy, promotes innovation in green processes, and can contribute to job creation and technological sovereignty. However, its consolidation requires overcoming logistical, technological, and educational obstacles, as well as fostering collaboration between government, industry, and society.

Keywords: Urban mining, critical metals, electronic waste, circular economy, waste recovery

## Introducción

A partir de la aparición de la tecnología táctil, un pequeño conjunto de metales se ha convertido en estratégicos para la fabricación de dispositivos electrónicos entre los cuales pueden mencionarse al Co, Li, Au, Al, In, Sn, entre otros. Estos metales críticos, sustentan la economía digital, pero su extracción mediante minería tradicional ha sostenido importantes impactos sociales y ambientales. De acuerdo con el reportaje Minería en México: ¿Hacia una minería sustentable? Parte 3, para 2020 se cuantificaron en América Latina 266 conflictos sociales, jurídicos y medioambientales derivados de la actividad minera, relacionados con el uso de agua y afectaciones a comunidades indígenas. México ocupó el segundo lugar con 45 casos, solo por debajo de Chile (Canal catorce, 2024).

Frente a este panorama y con los avances tecnológicos creciendo cada día, México -al igual que el resto del mundo- genera una gran cantidad de residuos electrónicos. Tan solo para 2022, nuestro país superó los 1.4 millones de toneladas métricas en generación de este tipo de desechos, posicionándose como el segundo mayor generador de este tipo de residuos en América Latina y el Caribe (Statista, 2024). Estos residuos, clasificados de manejo especial, contienen una cantidad significativa de metales tanto valiosos (oro, plata, cobalto, cobre) como tóxicos (plomo, cadmio y mercurio), entre otros materiales, convirtiéndolos en un riesgo ambiental (Gutiérrez, 2025) y, al mismo tiempo, en una oportunidad estratégica para la recuperación de recursos críticos.

En este contexto, aparece la minería urbana como una vía que “destaca el potencial de las ciudades, el hábitat humano y el entorno construido como fuente de materias primas” (Fraunhofer ISI, 2020). Este enfoque integra diversas metodologías, ya existentes o en desarrollo, como estrategia para recuperar metales que no se degradan de forma natural pero, que pueden purificarse y reincorporarse a distintas cadenas productivas. Por lo anterior, la minería urbana se perfila como una estrategia emergente que puede contribuir significativamente a enfrentar estos retos.

## Desarrollo ¿Porqué los metales críticos son esenciales hoy en día?

Hoy en día, los metales se han convertido en componentes indispensables para la fabricación de dispositivos electrónicos debido a las propiedades conductoras, magnéticas y estructurales que poseen, sobre todo por su capacidad de alearse para potenciar sus propiedades y dar paso a interesantes usos en la electrónica (Portal minero, 2024). Por ejemplo, a partir de la aparición de la tecnología táctil, el indio dopado con estaño (ITO) se convirtió en un metal estratégico para la fabricación de pantallas planas y teléfonos móviles, esta aleación proporciona un material conductor transparente que combina dos propiedades clave: la transparencia óptica y la conductividad eléctrica, convirtiéndose en una capa conductora en dispositivos electrónicos (Fortunato et. al., 2007).

Estos dispositivos, ya imprescindibles de nuestro día a día, contienen una gran cantidad de elementos químicos, sobre todo, de metales pesados: Pb, Hg, Cd, Se, Cr, Co, Mn, Ba, Ga, Au, e In, entre otros (Sardi, n.d.). Su tiempo de vida útil es en promedio de 10 años, sin embargo, con el cambio vertiginoso de la tecnología, este puede reducirse hasta un máximo de 4 años. En el caso particular de los teléfonos celulares, como se puede apreciar en la figura 1, el tiempo promedio de vida útil es de un año, debido principalmente a que cada año las empresas lanzan nuevos modelos con mejoras en el diseño y funcionalidad (Del Solar, 2016).



Figura 1. Elementos presentes en un teléfono celular

## El problema ambiental de los residuos electrónicos.

En primer lugar, al terminar la vida útil de cualquier dispositivo electrónico, los metales junto con los contaminantes plásticos que los acompañan son desechados al medio ambiente (Figura 2), convirtiéndose en importantes focos de contaminación, ya que gran parte de ellos son colocados en vertederos a cielo abierto, rellenos sanitarios o en cuerpos de agua (Muñoz y Morales, 2023) debido principalmente a que las personas desconocen como eliminar estos residuos de forma segura (Gutiérrez, 2025), por lo que además de los metales como cadmio, mercurio y cromo hexavalente, se liberan al ambiente éteres y bifenilos polibromados, sin ser tratados adecuadamente (Muñoz y Morales, 2023).



Figura 1. Elementos presentes en un teléfono celular

Para México, ser el segundo consumidor de residuos electrónicos en Latinoamérica y el Caribe (Statista, 2024), tiene un reto ambiental importante, sobre todo en aquellos estados de la República donde más se concentra este fenómeno: Jalisco, Baja California y Ciudad de México y área metropolitana, como se aprecia en la Figura 3. Por lo que propuestas de tratamiento de estos residuos cobra importancia.

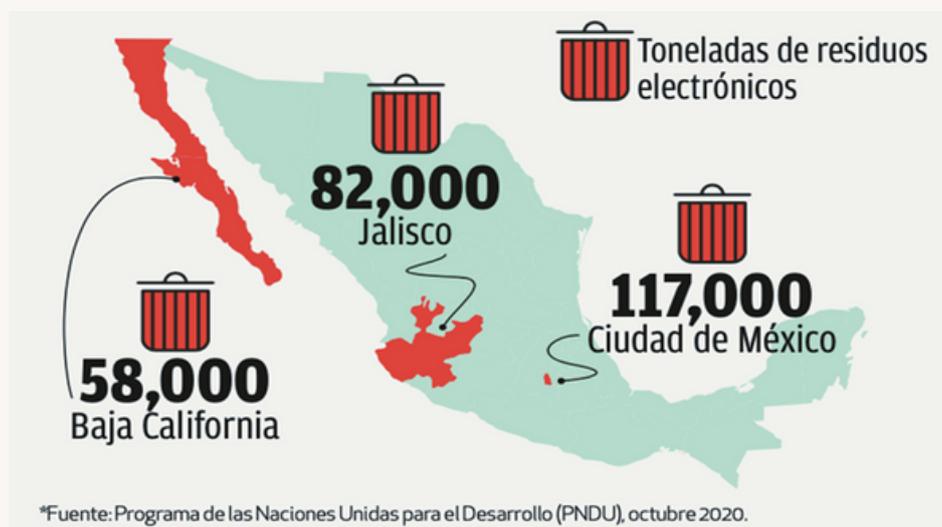


Figura 3. Estados que generan más residuos electrónicos al año

Además, la fabricación de estos dispositivos agravan un problema global: la creciente escasez de materias primas críticas, esto debido a los avances tecnológicos incorporan materiales más sofisticados (MacMaster, 2024), lo que ha generado una crisis en el suministro de metales estratégicos, por ejemplo: la producción de baterías de litio muestra una demanda acelerada de diversos materiales para su fabricación (Cheo, 2022), lo cual esquematiza la figura 4. . Estos ya no se emplean solo en dispositivos electrónicos, sino que además tienen una alta demanda en el mercado de la transición energética, sino que también tienen alta demanda en el mercado de la transición energética, debido a la necesidad de desarrollar fuentes de energía sostenibles (MacMaster, 2024). Sin embargo, si las baterías y demás dispositivos no se reciclan adecuadamente, terminan integrándose a la creciente basura electrónica.

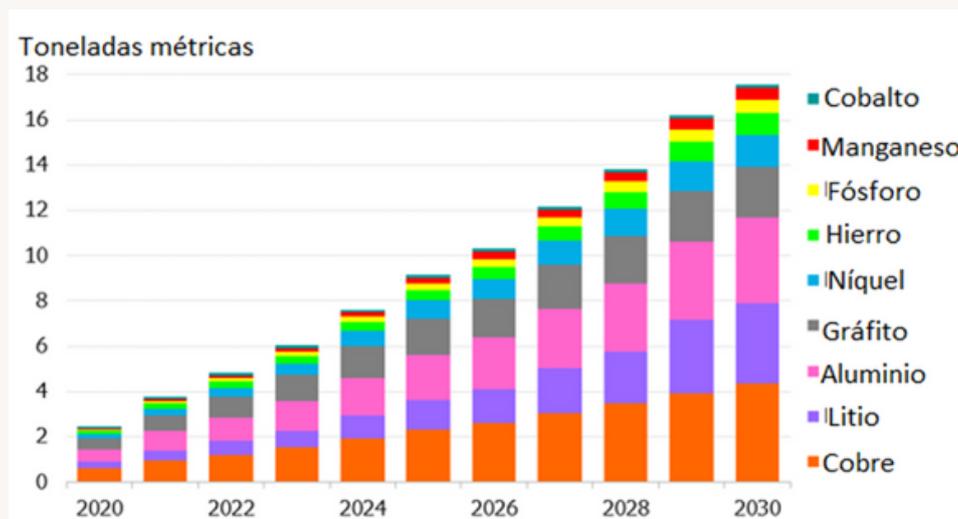


Figura 4. Demanda de materiales para la fabricación de baterías ión-litio.

Para ambos casos también es importante señalar que la obtención de minerales críticos por medio de la minería tradicional es altamente contaminante al generar impactos ambientales de efecto prolongado como lo son la deforestación, erosión, modificación topográfica, contaminación de suelos y recursos hídricos y daños causados por el uso de explosivos, por mencionar los más importantes (Azamar y Téllez, 2022) y, "existe incertidumbre en cuanto a las cantidades de minerales críticos necesarios para alcanzar los objetivos de carbono neto cero" (MacMaster, 2024).

### La minería urbana como estrategia para recuperar metales críticos.

Actualmente ha generado atención el reciclaje de materiales provenientes de residuos electrónicos, entre ellos los metales de importancia tecnológica presentes en estos equipos y diversos productos. (Gallegos, et. al., 2024) (Li, et. al., 2025). Sin embargo, existe preferencia por materiales vírgenes, especialmente en el caso del litio y otros metales como el cobalto y el oro, lo que refleja una ideología productiva arraigada en modelos extractivistas tradicionales. Por ejemplo, el litio, tiene usos diversos como se muestra en la figura 5, lo que demuestra que su existencia en residuos electrónicos puede ser aprovechada y, así como con otros metales, ser una fuente de extracción que permita extender la vida útil de estos recursos y reducir la presión sobre las fuentes naturales.

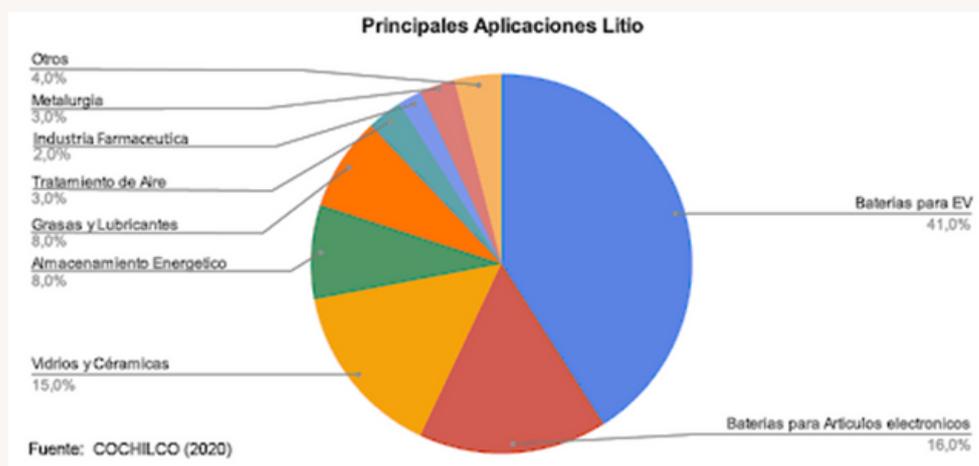


Figura 5. Aplicaciones del litio

Por lo tanto, la minería urbana es un concepto que visualiza la posibilidad de exploración, extracción y refinación de diversos materiales que se encuentran en los residuos de desechos antropogénicos (Fraunhofer ISI, 2020), con la finalidad de reutilizarlos disminuyendo así el daño ambiental así como la “extinción” de recursos geológicos, lo que se puede convertir en una oportunidad que ofrece la economía circular para recuperar y reutilizar estos elementos, cerrando su ciclo de vida, reduciendo el impacto ambiental negativo, y generando fuentes de empleo (Roch, 2024)(Minería urbana, 2018).

## Conclusiones

La minería urbana no solo representa una alternativa sustentable ante los impactos de la minería tradicional, sino que también se alinea con los principios de la economía circular, en nuestro país, su implementación permitiría fomentar la innovación en procesos verdes, fortalecer la soberanía tecnológica y generar nuevas oportunidades de empleo.

No obstante, el camino por recorrer aún es largo. A pesar de sus beneficios, la minería urbana enfrenta desafíos importantes: la logística de recolección y separación de residuos, la inversión en el desarrollo de metodologías y tecnologías avanzadas de reciclaje y, la educación social sobre el manejo de residuos electrónicos. Todo lo anterior requiere, indudablemente, la intervención del gobierno, la industria y la sociedad para consolidarse como una solución viable hacia un futuro más sustentable.

## Referencias

Aquist.cl. (s.f.). El futuro del litio [Imagen]. Recuperado en junio de 2025 de <https://aquist.cl/>

Azamar A., A., & Isidro, T. R. (2022). Minería en México: panorama social, ambiental y económico. Gob.mx <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/708117/Mineria-en-Mexico-2022.pdf>.

Canal catorce (2020). Minería en México ¿Hacia una minería sustentable?. Parte 3 [Video] Recuperado el 20 de junio de 2025, de <https://youtu.be/0lgg0qtTLWE>.

Cheo. (2023). #Exclusivo. Resolver.se. <https://www.resolver.se/2023/02/exclusivo-la-mineria-de-metales-criticos-puede-ser-la-alternativa-al-rentismo-petrolero-entere-se-por-que/>

Del Solar, M. J. (2016). Conoce cual es la vida útil de tu teléfono móvil. 24 Horas Tecnología y Ciencia. <https://www.24horas.cl/tendencias/ciencia-tecnologia/conoce-cual-es-la-vida-util-de-tu-telefono-movil-1988574>.

Flores, C. (2022, mayo 4). Basura electrónica: lugares donde puedes tirar tus residuos en la CDMX. Revista Yaconic; Yaconic. <https://www.yaconic.com/basura-electronica/>

Fortunato, E., Ginley, D., Hosono, H., & Paine, D. C. (2007). Transparent conducting oxides for optoelectronic applications. *MRS Bulletin*, 32(3), 242–247. <https://doi.org/10.1557/mrs2007.38>

Gallegos, Maria V; Gil-Escrig, Lidón; Zanoni, Kassio P S; Bolink, Henk J; Damonte, L. C. (2024). Recycling and reusing ITO substrates from perovskite solar cells: A sustainable perspective. *Solar Energy Materials and Solar Cells: An International Journal Devoted to Photovoltaic, Photothermal, and Photochemical Solar Energy Conversion.*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2024.113117>

Gutiérrez A., C. (2025, mayo 27). México entre los 10 países que más basura electrónica generan en 2025: ¿qué está pasando? *Ecoosfera*. <https://ecoosfera.com/medio-ambiente/mexico-top-basura-electronica/>.

Li, Yuyao; Wang, Xun; Wei, Yonggang; Li, Bo; Wang, H. (2025). Chaos enhanced leaching of indium from indium tin oxide (ITO) waste targets. *Journal of Cleaner Production*, 490(144815), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144815>

Martínez, J. (2022, enero 9). Tierras raras y materias primas críticas: los elementos presentes en tu patinete o móvil que la UE necesita urgentemente. *20minutos*. <https://www.20minutos.es/noticia/4906295/0/crisis-tierras-raras-materias-primas-criticas-desabastecimiento-productos-europa-necesita-movil-patinete/>

McMaster, P. (2024, agosto 8). Los minerales críticos son clave para la tecnología del siglo XXI: este es el trilema de extraerlos. *Foro Económico Mundial*. <https://es.weforum.org/stories/2024/08/los-minerales-criticos-son-clave-para-la-tecnologia-del-siglo-xxi-este-es-el-trilema-de-extraerlos/>.

Minería Urbana - Las últimas noticias de. (2024, julio 18). *MINERIA en Argentina*. <https://mineria.com.ar/mineria-urbana/>

Muñoz Cruz, R. C., & Morales Calderón, J. R. (2023). El impacto ambiental de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos y la Economía Circular en México. *Denarius, revista de economía y administración*, (44), 205–233. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcsh/denarius/2023n44/Munoz>

Procuraduría Federal del Consumidor. (2021). Recicla tus dispositivos. *gob.mx*. <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/recicla-tus-dispositivos?idiom=es>

Sardi, M. L. (s.f.). E-scrap: el impacto de la tecnología sobre el medio ambiente. <https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT04.pdf>.

Statista. E-waste: generación de residuos-e en México. (2024). Recuperado el 20 de junio de 2025, de <https://es.statista.com/estadisticas/1215540/generacion-residuos-electronicos-mexico/>



# ¡Estudia una maestría en el TESCO y obtén una beca de excelencia!

\*Aplica en cuota semestral a partir del segundo semestre según el promedio obtenido.  
De 85 a 95 el 20% de descuento y de 96 a 100 el 30% de descuento