



# RICT

## Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación

ISSN 2992-7315

Año 3 No. 6 Noviembre 2025

Edición Semestral volumen 3, número 6, Noviembre 2025

Investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación multidisciplinaria con impacto social para el desarrollo y la generación de soluciones a los problemas prioritarios en salud, medio ambiente, seguridad, educación y bienestar en las organizaciones, la industria, la academia y la sociedad en general.



ISSN 2992-7315



9 772992 731002

# Volumen 3 – No. 6 – 2025

Semestral

**ISSN: 2992-7315**

Centro de Investigación Multidisciplinaria

Instituto de Innovación y Ciencias Aplicadas

Investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación multidisciplinaria con impacto social para el desarrollo y la generación de soluciones a los problemas en áreas clave como la salud, el medio ambiente, la seguridad, la educación y el bienestar en beneficio de las organizaciones, la industria, la academia y en última instancia a la sociedad en general.

## Comité Editorial

Leonardo Miguel Moreno Villalba

**Editor en jefe**

Tecnológico Nacional de México / TESE

[lmoreno@tese.edu.mx](mailto:lmoreno@tese.edu.mx)

Francisco Jacob Ávila Camacho

**Editor asociado**

Tecnológico Nacional de México / TESE

[fjacobavila@tese.edu.mx](mailto:fjacobavila@tese.edu.mx)

Juan Manuel Stein Carrillo

**Investigador**

Tecnológico Nacional de México / TESE

[jmsteinc@tese.edu.mx](mailto:jmsteinc@tese.edu.mx)

RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación, año 3, No. Regular 6, Noviembre 2025, es una Publicación semestral, indexada y arbitrada a doble ciego editada por el Instituto de Innovación y Ciencias Aplicadas / Leonardo Miguel Moreno Villalba. Av. Valle de Guadiana 59, Col. Valle de Aragón 3ª Sección, Ecatepec de Morelos, Estado de México, C.P. 55280, Tel. (+52) 720 460 0897, <https://rictrevista.org>, [rict.revista@gmail.com](mailto:rict.revista@gmail.com). Editor responsable: Leonardo Miguel Moreno Villalba. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2023-072413552000-102, ISSN: 2992-7315, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número Leonardo Miguel Moreno Villalba, Av. Valle de Guadiana 59, Col. Valle de Aragón 3ª Sección, Ecatepec de Morelos, Estado de México, C.P. 55280, fecha de última modificación 10 de noviembre de 2025.

## Directorio

### **Leonardo Miguel Moreno Villalba**

Editor en Jefe (Editor-in-Chief)

<https://orcid.org/0000-0003-0937-3586>

### **Francisco Jacob Ávila Camacho**

Editor Asociado (Associate Editor)

<https://orcid.org/0000-0002-0086-5827>

## Consejo Editorial (Editorial Board)

### **Dr. Adolfo Melendez Ramírez**

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

<https://orcid.org/0000-0002-4751-0089>

### **Dr. Genaro Iván Cerón Montes**

Universidad Tecnológica de Tecamac

<https://orcid.org/0000-0002-1111-0307>

### **Dr. Juan Manuel Stein Carrillo**

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

<https://orcid.org/0000-0003-3594-504X>

### **Dr. José Alberto Hernández Aguilar**

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

### **Dr. Abraham Jorge Jiménez Alfaro**

Tecnológico Nacional de México / TES Chimalhuacan

<https://orcid.org/0000-0003-3058-9082>

### **M. en ISC. Roberto Carlos Muñoz Celaya**

Tecnológico Nacional de México / TES Coacalco

### **M. en C. Edgar Corona Organiche**

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

## Comité Técnico Revisor (Reviewer Board)

### **Dra. Rosa Elia Martínez Torres**

Instituto Tecnológico de San Luis Potosí - TecNM

### **Dr Juan Manuel Stein Carrillo**

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

### **Dr. Abraham Jorge Jiménez Alfaro**

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

### **Dr. Juan Manuel Stein Carrillo**

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

### **Dra. María de la Luz Delgadillo Torres**

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec



DESDE 2023

<https://rictrevista.org>

**RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación**

Publicación Semestral RICT Vol. 3 No. 6 (2025)



ISSN: 2992-7315

**Dra. Claudia Teresa González Ramírez**

Tecnológico Nacional de México campus Zitácuaro

**M. en C. Edgar Corona Organiche**

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

**Dra. Mercedes Flores Flores**

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

**Dr. Javier Norberto Gutiérrez Villegas**

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

**Dr. Leonardo Miguel Moreno Villalba**

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

**Dra. Griselda Cortes Barrera**

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

**Dr. Emmanuel Tonatihu Juárez Velázquez**

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

## Contenido

<b>Editorial</b> .....	<b>i</b>
------------------------	----------

### Artículos de Revisión

### Artículos de Investigación

<b>1. Análisis de emociones en textos en español mediante traducción automática y modelos BERT Multilingües.</b>	
Abraham-Jorge Jiménez-Alfaro, Griselda Cortés-Barrera, Norma-Karen Valencia-Vázquez, Jhacer-Kharen Ruiz-Garduño, Claudia-Teresa González-Ramírez .....	1
<b>2. Interfaz Cerebro-Máquina para el Desplazamiento Autónomo en Sillas de Ruedas.</b>	
Javier Norberto Gutiérrez Villegas, Israel Isaac Gutiérrez Villegas, Víctor Hugo Martínez Flores, Esiquio Martín Gutiérrez Armentas, Marco Antonio Gutiérrez Villegas, Liliana Niño Monroy .....	8
<b>3. Sistema de inteligencia artificial para la asistencia y corrección de técnicas de deportistas de alto rendimiento por visión artificial.</b>	
Carlos-Alfonso Trejo-Villanueva, Derlis Hernández-Lara, Emmanuel-Tonatiuh Juárez-Velázquez, Cinthia-Estela Trejo-Villanueva.....	12
<b>4. Análisis predictivo del rendimiento en Cálculo Diferencial a partir de evaluaciones diagnósticas y propedéuticas en estudiantes de Ingeniería.</b>	
María de la Luz Delgadillo Torres, Mariana Bárcenas Castañeda, María de los Ángeles Vargas Hernández, Arturo Aguilar Pérez ..	18
<b>5. Aplicación de un modelo de clustering para el análisis del comportamiento de usuarios de la banca en línea para la clasificación de riesgos cibernéticos.</b>	
Jasmin Estephany Guerrero Lora .....	26
<b>6. Modelo de visión artificial para el reconocimiento de la Lengua de Señas Mexicana</b>	
Derlis Hernández-Lara, Emmanuel-Tonatiuh Juárez-Velázquez, Carlos-Alfonso Trejo-Villanueva .....	36



## Editorial del número regular: volumen 3 número 6 Editorial of the regular issue: volume 3 number 6

Francisco Jacob Ávila Camacho 

*<sup>a</sup> División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec, 55210, Ecatepec, Estado de México, México.*

### 1. Apreciables lectores de RICT

La ciencia, el desarrollo tecnológico y la innovación son pilares que impulsan la transformación de nuestras sociedades. En un contexto global marcado por desafíos crecientes en salud, educación, seguridad, inclusión social, medio ambiente y competitividad industrial, la producción de conocimiento orientado al impacto social se vuelve no solo pertinente, sino urgente. En esta edición regular de RICT, reafirmamos nuestro compromiso con la difusión de investigaciones multidisciplinarias que generan soluciones reales a problemas prioritarios, tanto en las organizaciones y la industria como en la academia y la sociedad en su conjunto.

El Volumen 3, Número 6 reúne seis contribuciones que representan el dinamismo y la diversidad del quehacer científico actual. Estas investigaciones, desarrolladas desde perspectivas tecnológicas, educativas, matemáticas, computacionales y sociales, muestran cómo la innovación puede traducirse en bienestar, inclusión y desarrollo sostenible.

El número abre con “Análisis de emociones en textos en español mediante traducción automática y modelos BERT multilingües” (Jiménez-Alfaro et al., 2025), un estudio que revela el potencial del procesamiento de lenguaje natural para interpretar emociones humanas a partir de texto escrito. Al integrar modelos de traducción automática y representaciones profundas del lenguaje, los autores demuestran cómo las tecnologías de inteligencia artificial pueden apoyar ámbitos tan diversos como la salud mental, el marketing, la educación y la comunicación digital.

La segunda contribución, “Interfaz cerebro-máquina para el desplazamiento autónomo en sillas de ruedas” (Gutiérrez Villegas et al., 2025), presenta un desarrollo tecnológico de gran relevancia social: un prototipo basado en señales cerebrales para mejorar la movilidad de personas con discapacidad motriz severa. Mediante la integración de una diadema NeuroSky y un sistema Arduino, la investigación ofrece una alternativa accesible y autónoma para usuarios que requieren asistencia avanzada, mostrando cómo la tecnología puede dignificar la vida de quienes enfrentan barreras de movilidad.

En el ámbito deportivo, el artículo “Sistema de inteligencia artificial para la asistencia y corrección de técnicas de deportistas de alto rendimiento mediante visión artificial” (Trejo-Villanueva et al., 2025) propone una solución innovadora para mejorar el entrenamiento especializado. A través de algoritmos de visión artificial y análisis de poses, los autores desarrollan un sistema capaz de evaluar en tiempo real la ejecución técnica de los atletas, contribuyendo a la prevención de lesiones y al perfeccionamiento de habilidades en disciplinas de alto rendimiento.

Desde la perspectiva educativa, el trabajo “Análisis predictivo del rendimiento en Cálculo Diferencial a partir de evaluaciones diagnósticas y propedéuticas” (Delgadillo-Torres et al., 2025) estudia el desempeño académico en una asignatura fundamental de la formación en ingeniería. Mediante métodos estadísticos avanzados y modelos predictivos, los autores evidencian la importancia de las evaluaciones tempranas para identificar estudiantes en riesgo y fortalecer las estrategias docentes, aportando información valiosa para mejorar la permanencia y el éxito escolar en programas de ingeniería.

La seguridad digital constituye otro eje prioritario abordado en este número. El artículo “Aplicación de un modelo de clustering para el análisis del comportamiento de usuarios de la banca en línea y la clasificación de riesgos cibernéticos” (Guerrero-Lora, 2025) analiza los patrones de uso de la banca móvil en México y los hábitos que incrementan la vulnerabilidad ante ciberataques. A través de técnicas de minería de datos, el estudio contribuye al diseño de estrategias preventivas más efectivas, en un entorno donde la protección de la información financiera es crítica para la confianza ciudadana.

Finalmente, cerramos esta edición con “Modelo de visión artificial para el reconocimiento de la Lengua de Señas Mexicana (LSM)” (Hernández-Lara et al., 2025), una investigación que impulsa la inclusión social mediante el desarrollo de un sistema basado en aprendizaje profundo capaz de identificar señas estáticas de la LSM. Este trabajo, que articula tecnologías de visión artificial con enfoques centrados en el usuario, propone una herramienta prometedora

\*Autor para la correspondencia: [fjacobavila@tese.edu.mx](mailto:fjacobavila@tese.edu.mx)

Correo electrónico: [fjacobavila@tese.edu.mx](mailto:fjacobavila@tese.edu.mx) (Francisco-Jacob Ávila-Camacho).

para favorecer la comunicación y el acceso a la información de personas con discapacidad auditiva.

El conjunto de artículos incluidos en este volumen evidencia el compromiso de RICT con la promoción de investigaciones que no solo avanzan el estado del arte, sino que se traducen en beneficio social tangible. Cada contribución refleja el valor de la colaboración interdisciplinaria y la importancia de generar conocimiento aplicable que responda a los desafíos actuales de México y del mundo.

Agradecemos profundamente a los autores, revisores, instituciones participantes y lectores que hacen posible la consolidación de este proyecto editorial. Los invitamos a explorar los trabajos presentados y a seguir construyendo, desde la ciencia y la innovación, un futuro más justo, inclusivo y sostenible.

### Comité Editorial

RICT – Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación.

## 2. Referencias

- Delgadillo-Torres, M.-L., Bárcenas-Castañeda, M., Vargas-Hernandez, M. de los Á., & Aguilar-Pérez, A. (2025). Análisis predictivo del rendimiento en Cálculo Diferencial a partir de evaluaciones diagnósticas y propedéuticas en estudiantes de Ingeniería. *Publicación Semestral RICT*, 3(6), 18–25.
- Guerrero-Lora, J.-E. (2025). Aplicación de un modelo de clustering para el análisis del comportamiento de usuarios de la banca en línea para la clasificación de riesgos cibernéticos. *Publicación Semestral RICT*, 3(6), 26–35. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17527727>
- Gutiérrez Villegas, J. N., Gutiérrez Villegas, I. I., Martínez Flores, V. H., & Gutiérrez Armentas, E. M. (2025). Interfaz Cerebro-Máquina para el Desplazamiento Autónomo en Sillas de Ruedas. *Publicación Semestral RICT*, 3(6), 8–11. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17527727>
- Hernández-Lara, D., Juárez-Velázquez, E.-T., & Trejo-Villanueva, C.-A. (2025). Modelo de visión artificial para el reconocimiento de la Lengua de Señas Mexicana. *Publicación Semestral RICT*, 3(6), 36–41. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17546270>
- Jiménez-Alfaro, A.-J., Cortés-Barrera, G., Valencia-Vázquez, N.-K., Ruiz-Garduño, J.-K., & González-Ramírez, C.-T. (2025). Traducción automática y modelos BERT Multilingües Emotion analysis in Spanish texts using automatic translation and Multilingual BERT models. *Publicación Semestral RICT*, 3(6), 1–7. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17525359>
- Trejo-Villanueva, C.-A., Hernández-Lara, D., Juárez-Velázquez, E.-T., & Trejo-Villanueva, C.-E. (2025). Sistema de inteligencia artificial para la asistencia y corrección de técnicas de deportistas de alto rendimiento por visión artificial. *Publicación Semestral RICT*, 3(6), 12–17. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17527815>

# Análisis de emociones en textos en español mediante traducción automática y modelos BERT Multilingües

## Emotion analysis in Spanish texts using automatic translation and Multilingual BERT models

Abraham-Jorge Jiménez-Alfaro <sup>a</sup>, Griselda Cortés-Barrera <sup>a</sup>, Norma-Karen Valencia-Vázquez <sup>b</sup>, Jhacer-Kharen Ruiz-Garduño <sup>c</sup>, Claudia-Teresa González-Ramírez <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Ingeniería en Sistemas Computacionales, TECNM/Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Valle de Anáhuac, 55210 Ecatepec de Morelos, Estado de México.

<sup>b</sup> Ingeniería en Sistemas Computacionales, TECNM/Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán, Calle primavera S/N, 56330, Chimalhuacán, Estado de México.

<sup>c</sup> Ingeniería en Sistemas Computacionales, TECNM/Instituto Tecnológico de Zitácuaro, Av. Tecnológico No.186, 61534, Zitácuaro, Michoacán.

### Resumen

El análisis de emociones en textos escritos mediante técnicas de procesamiento de lenguaje natural (PLN) representa un área de investigación en crecimiento con aplicaciones clave en sectores como la salud mental, marketing, educación y sistemas de recomendación. Este artículo propone un enfoque sistemático basado en un pipeline de programación en lenguaje natural que permite analizar textos en español mediante modelos de clasificación emocional originalmente entrenados en inglés. Dado que los modelos más avanzados para la detección de emociones, como BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), han sido desarrollados principalmente en inglés, se implementa una solución basada en la traducción automática de los textos desde el español al inglés utilizando el modelo Helsinki-NLP/opus-mt-es-en. Una vez traducidos, los textos se procesan con el modelo DistilRoBERTa ajustado para clasificación emocional (j-hartmann/emotion-english-distilroberta-base) que evalúa la probabilidad de pertenencia a categorías emocionales como alegría, tristeza, ira, miedo, amor y sorpresa. El pipeline se implementa en Python, utilizando librerías especializadas como Hugging Face Transformers para la traducción y clasificación, y Scikit-learn para la evaluación estadística del desempeño del modelo. Las predicciones se comparan con etiquetas reales, y se utilizan métricas como la matriz de confusión, precisión, sensibilidad, especificidad, exactitud (accuracy), y F1-score (macro y ponderado) para validar la efectividad del sistema. Los resultados muestran una tasa de exactitud del 88.5%, lo que confirma que, a pesar de las limitaciones idiomáticas, el uso de traducción automática junto con modelos robustos permite obtener resultados confiables y replicables en el análisis de emociones en textos en español. Este estudio demuestra el potencial de integrar herramientas de PLN multilingües en soluciones prácticas que requieren análisis afectivo en múltiples lenguas.

**Palabras clave:** Análisis de emociones, Procesamiento de lenguaje natural (PLN), Modelos preentrenados (BERT)

### Abstract

Emotion analysis in written texts through natural language processing (NLP) techniques is an expanding research area with key applications in mental health, marketing, education, and recommendation systems. This article proposes a systematic approach based on an NLP programming pipeline that enables emotion classification in Spanish texts by leveraging pretrained models originally developed in English. Since the most advanced models for emotion detection—such as BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers)—have been primarily trained on English datasets, the proposed solution involves automatic translation of Spanish texts into English using the Helsinki-NLP/opus-mt-es-en model. Once translated, the texts are processed using the DistilRoBERTa model fine-tuned for emotion classification (j-hartmann/emotion-english-distilroberta-base), which predicts the emotional category among labels such as joy, sadness, anger, fear, love, and surprise. The pipeline is implemented in Python using specialized libraries such as Hugging Face Transformers for translation and classification tasks, and Scikit-learn for the statistical evaluation of model performance. Predictions are compared to ground truth labels, and evaluation metrics such as the confusion matrix, precision, recall, specificity, accuracy, and F1-scores (macro and weighted) are calculated to assess system effectiveness. Results show an overall accuracy of 83%, confirming that despite language barriers, the integration of automatic translation with robust pretrained models can produce reliable and replicable results in emotion classification tasks applied to Spanish texts. This study highlights the potential of integrating multilingual NLP tools into real-world affective analysis applications.

**Keywords:** Emotion analysis, Natural Language Processing (NLP), Pre-trained models (BERT).

\*Autor para la correspondencia: [ajimenez@tese.edu.mx](mailto:ajimenez@tese.edu.mx)

**Correo electrónico:** [ajimenez@tese.edu.mx](mailto:ajimenez@tese.edu.mx) (Abraham-Jorge Jiménez-Alfaro), [gcortes@tese.edu.mx](mailto:gcortes@tese.edu.mx) (Griselda Cortés-Barrera), [karenvalencia@teschi.edu.mx](mailto:karenvalencia@teschi.edu.mx) (Norma-Karen Valencia-Vázquez), [jhacer.rg@zitacuaro.tecnm.mx](mailto:jhacer.rg@zitacuaro.tecnm.mx) (Jhacer-Kharen Ruiz-Garduño), [claudia.gr@zitacuaro.tecnm.mx](mailto:claudia.gr@zitacuaro.tecnm.mx) (Claudia-Teresa González-Ramírez)

**Historial del manuscrito:** recibido el 20/04/2025, última versión-revisada recibida el 07/05/2025 aceptado el 15/05/2025, publicado el 04/11/2025. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17525359>



## 1. Introducción

El análisis de emociones en texto es una tarea central en el campo del procesamiento de lenguaje natural (PLN), con aplicaciones relevantes en ámbitos como la atención al cliente, el monitoreo de redes sociales, los sistemas de recomendación y el análisis de opinión. Esta tarea consiste en identificar la carga emocional presente en fragmentos de texto, clasificándolos en emociones básicas como alegría, tristeza, miedo, enojo, sorpresa y amor.

La comprensión de las emociones expresadas en texto contribuye no solo a interpretar la intención comunicativa del autor, sino también a tomar decisiones informadas en tiempo real. En el contexto empresarial, por ejemplo, permite detectar crisis reputacionales; en la educación, evaluar el estado emocional del alumnado; y en salud mental, monitorear señales de alerta en la comunicación escrita de los pacientes.

A pesar de su relevancia, el desarrollo de modelos efectivos en español se ve limitado por la escasez de corpus anotados emocionalmente. Mientras tanto, en inglés, se dispone de abundantes bases de datos etiquetadas y modelos de punta preentrenados como BERT y sus variantes. Esta diferencia motiva la propuesta de traducir textos en español al inglés utilizando sistemas automáticos avanzados, para luego aplicar modelos robustos entrenados exclusivamente en inglés. Esta metodología busca maximizar la precisión del análisis sin requerir costosos procesos de anotación local o entrenamiento adicional.

## 2. Materiales y Método

La identificación automática de emociones en texto es un desafío complejo debido a la subjetividad del lenguaje y la variabilidad contextual. Los modelos clásicos de PLN, como las redes neuronales recurrentes (RNN) y las convolucionales (CNN), tienen dificultades para capturar dependencias de largo alcance y matices semánticos.

BERT, introducido por Devlin et al. (2019), revolucionó el PLN al pre-entrenar un modelo basado en transformers con un objetivo de modelado de lenguaje enmascarado (MLM) y predicción de la siguiente oración (NSP). Su capacidad para generar representaciones contextualizadas lo hace ideal para

tareas de clasificación emocional.

BERT es un modelo basado en la arquitectura **Transformer** Vaswani et al. (2017), que utiliza mecanismos de autoatención para procesar texto de forma bidireccional.

**1. Pre-entrenamiento:** BERT se entrena en dos tareas:

- **MLM (Masked Language Modeling):** Predice palabras enmascaradas en una oración.
- **NSP (Next Sentence Prediction):** Determina si dos oraciones son consecutivas.

**2. Fine-tuning:** Adaptación del modelo pre-entrenado a tareas específicas, como clasificación emocional. Las Fases del Modelo BERT son:

### 1.- Preentrenamiento (Pre-training)

El modelo BERT se preentrena en grandes cantidades de texto sin etiquetas (sin tareas específicas) para aprender representaciones lingüísticas generales se compone de dos fases:

- **Fase 1: Máscara de palabras (Masked Language Model, MLM)**

Durante el preentrenamiento, BERT aprende a predecir palabras faltantes en una secuencia. Un porcentaje de las palabras en un texto es reemplazado por un token especial [MASK], y el modelo debe predecir la palabra original basándose en las palabras circundantes. Por Ejemplo: Frase: "El [MASK] está brillante." → BERT aprende a predecir la palabra faltante, que sería "sol".

- **Fase 2: Predicción de la relación entre oraciones (Next Sentence Prediction, NSP)**

En esta tarea, BERT recibe dos oraciones y debe predecir si la segunda oración sigue de manera coherente a la primera. Esto permite que BERT aprenda las relaciones a largo plazo entre frases. Por Ejemplo:

Oración 1: "El sol brilla en el cielo."

Oración 2: "Las aves cantan." → BERT predice si la segunda oración es una continuación lógica de la primera.

\*Autor para la correspondencia: [ajimenez@tese.edu.mx](mailto:ajimenez@tese.edu.mx)

**Correo electrónico:** [ajimenez@tese.edu.mx](mailto:ajimenez@tese.edu.mx) (Abraham-Jorge Jiménez-Alfaro), [gcortes@tese.edu.mx](mailto:gcortes@tese.edu.mx) (Griselda Cortés-Barrera), [karenvalencia@teschi.edu.mx](mailto:karenvalencia@teschi.edu.mx) (Norma-Karen Valencia-Vázquez), [jhacer.rg@zitacuaro.tecnm.mx](mailto:jhacer.rg@zitacuaro.tecnm.mx) (Jhacer-Kharen Ruiz-Garduño), [claudia.gr@zitacuaro.tecnm.mx](mailto:claudia.gr@zitacuaro.tecnm.mx) (Claudia-Teresa González-Ramírez)

**Historial del manuscrito:** recibido el 20/04/2025, última versión-revisada recibida el 07/05/2025 aceptado el 15/05/2025, publicado el 04/11/2025. **DOI:** <https://doi.org/10.5281/zenodo.17525359>

Este preentrenamiento es crucial para que el modelo adquiera un conocimiento profundo del lenguaje.

## 2.- Ajuste fino (Fine-Tuning)

Después del preentrenamiento, BERT se ajusta para tareas específicas utilizando un conjunto de datos etiquetado (por ejemplo, clasificación de emociones en textos). En esta fase, se añade una capa de clasificación en la parte superior del modelo, y se entrenan las representaciones previamente aprendidas para que se ajusten a la tarea concreta. El proceso de ajuste fino consta de los siguientes pasos:

- Se utiliza el modelo BERT preentrenado, pero ahora se le proporciona un conjunto de datos etiquetado.
- La salida de BERT se pasa a través de una capa densa o fully connected que produce la predicción para la tarea específica (por ejemplo, las categorías emocionales en un análisis de sentimientos).
- Durante este ajuste, el modelo BERT ajusta los pesos de sus representaciones para adaptarse mejor a la tarea concreta, pero manteniendo la mayor parte del conocimiento lingüístico general que adquirió durante el preentrenamiento.

Matemáticamente el proceso del modelo BERT sigue los siguientes pasos, véase figura 1.

### 1. Representación de Entrada.

Cada palabra del texto se convierte en un embedding que combina tres vectores:

Token embedding:  $E_{token}(x_i)$   
 Segment embedding:  $E_{segment}(x_i)$   
 Position embedding:  $E_{position}(i)$

La representación final de entrada para el token  $x_i$  es:

$$E(x_i) = E_{token}(x_i) + E_{segment}(x_i) + E_{position}(i) \quad (1)$$

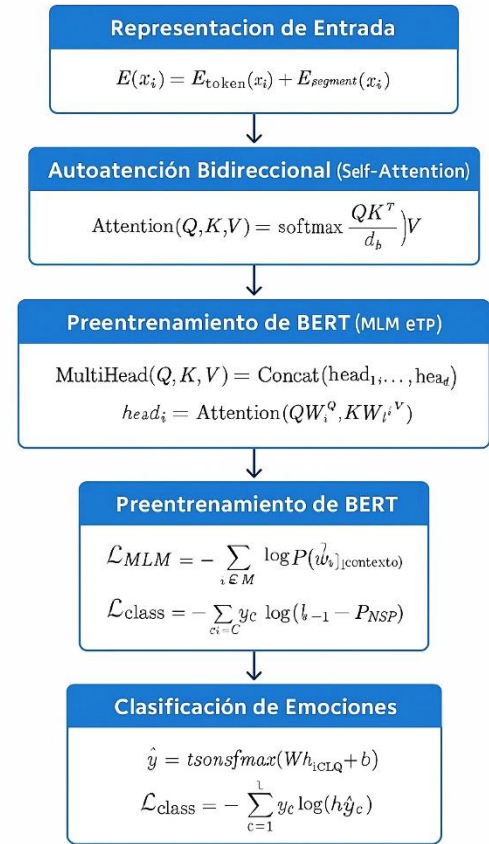


Figura 1.- Modelo BERT.

### 2. Autoatención Bidireccional (Self-Attention)

El mecanismo de autoatención calcula cuánto debe enfocarse una palabra en otras del mismo texto. La atención para una palabra se define como:

$$Attention(Q, K, V) = \text{softmax} \left( \frac{QK^T}{\sqrt{d_k}} \right) V \quad (2)$$

### 3. Mecanismo Multi-Cabeza (Multi-Head Attention)

BERT utiliza varias cabezas de atención para aprender distintas relaciones contextuales. Si hay  $h_h$  cabezas:

$$MultiHead(Q, K, V) = \text{Concat}(head_1, \dots, head_{h_h}) W^O \quad (3)$$

donde cada cabeza es:

$$head_i = Attention(QW_i^Q, KW_i^K, VW_i^V) \quad (4)$$

### 4. Capas del Encoder

Cada encoder tiene dos subcapas principales:

- Multi-Head Attention (con normalización y residual):

$$z^{(l)} = \text{LayerNorm}(x^{(l-1)} + \text{MultiHeadAttention}(x^{(l-1)})) \quad (5)$$

- Feed-Forward Network (FFN):

$$\text{FFN}(x) = \max(0, xW_1 + b_1)W_2 + b_2 \quad (6)$$

Y se aplica también residual y normalización:

$$x^{(l)} = \text{LayerNorm}(z^{(l)} + \text{FFN}(z^{(l)})) \quad (7)$$

### 5. Preentrenamiento de BERT

- Masked Language Modeling (MLM)

Se enmascaran aleatoriamente palabras del texto y el modelo intenta predecirlas. Función de pérdida:

$$\mathcal{L}_{MLM} = - \sum_{i \in M} \log P(w_i | \text{contexto}) \quad (8)$$

- Next Sentence Prediction (NSP)

Se entrena al modelo a predecir si dos frases son consecutivas o no. Función de pérdida

$$\mathcal{L}_{NSP} = -(y \log P_{NSP} + (1 - y) \log(1 - P_{NSP})) \quad (9)$$

### 6. Clasificación de Emociones

En tareas de clasificación, se utiliza el vector del token [CLS] como representación del texto completo:

$$h_{[CLS]} = \text{salida de BERT} \quad (10)$$

Se aplica una capa densa y softmax para obtener probabilidades:

$$\hat{y} = \text{softmax}(Wh_{[CLS]} + b) \quad (11)$$

y se calcula la pérdida de entropía cruzada:

$$\mathcal{L}_{\text{class}} = - \sum_{c=1}^C y_c \log(\hat{y}_c) \quad (12)$$

### 3. Resultados

Se analizaron seis textos en español, cada uno

asociado a una emoción específica: alegría, tristeza, enojo, sorpresa, amor y miedo. Tras aplicar el pipeline propuesto, que incluye la traducción automática al inglés y la posterior clasificación mediante el modelo "j-hartmann/emotion-english-distilroberta-base", se obtuvo un alto grado de concordancia entre las etiquetas reales y las etiquetas predichas. El proceso de aplicación de BERT se integró de cinco fases:

**Fase 1. Recolección de Datos:** Se recopilaban textos en español, cada uno asociado a una de las emociones objetivo: alegría, tristeza, enojo, sorpresa, amor y miedo.

**Fase 2. Traducción Automática:** Se utilizó el modelo Helsinki-NLP/opus-mt-es-en (Tiedemann & Thottingal, 2020) para traducir los textos del español al inglés, manteniendo el significado semántico del contenido original.

**Fase 3. Clasificación Emocional:** Se empleó el modelo "j-hartmann/emotion-english-distilroberta-base", una versión de BERT ajustada para clasificación emocional en inglés. Este modelo devuelve la probabilidad de cada emoción para un texto dado.

**Fase 4. Evaluación de Desempeño:** Se compararon las etiquetas predichas contra las reales utilizando una matriz de confusión. A partir de esta, se calcularon las siguientes métricas por clase:

$$\text{Precisión (Precision): } \frac{VP}{VP+FP} \quad (13)$$

$$\text{Sensibilidad (Recall): } \frac{VP}{VP+FN} \quad (14)$$

$$\text{Especificidad: } \frac{VN}{VN+FP} \quad (15)$$

**Fase 5. Métricas Globales:** Se calcularon los indicadores generales del modelo:

$$\text{Exactitud (Accuracy): } \text{Accuracy} = \frac{\text{Total aciertos}}{\text{Total de predicciones}} \quad (16)$$

donde VP: verdaderos positivos, FP: falsos positivos, FN: falsos negativos, VN: verdaderos negativos. La matriz de confusión resultante de la ejecución del pipeline expresa los resultados, numéricos de VP, FP, FN, VN, véase figura 2.

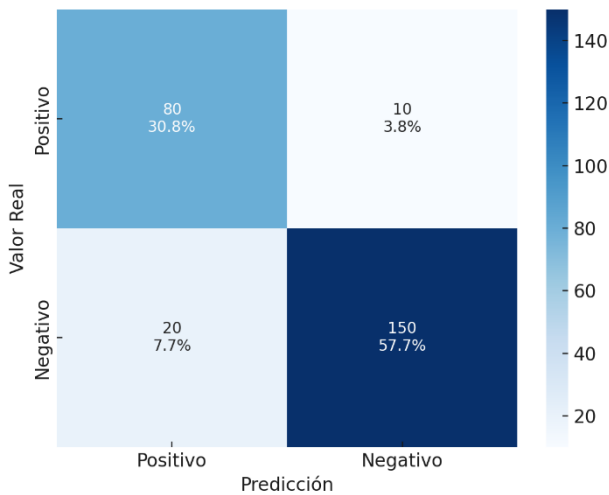


Figura 2.- Matriz de Confusión con porcentajes.

Para el cálculo de cada una de las métricas, se consideran los datos reportados de la matriz de confusión, véase tabla 1 y figura 3.

Tabla 1.- Matriz de Confusión.

	Positivo	Negativo	Total
Positivo	80	10	90
Negativo	20	150	170
Total	100	160	260

**Precisión (Precisión):**  $\frac{VP}{VP + FP}$

La precisión mide el porcentaje de predicciones positivas que son correctas. Se enfoca en la pureza de los casos clasificados como positivos. **El modelo tiene una precisión del 80%.** Este valor alto significa que, cuando el modelo predice una determinada clase, es muy probable que la predicción sea correcta. Se utiliza cuando es importante reducir el número de falsos positivos.

**Sensibilidad (Recall):**  $\frac{VP}{VP + FN}$

La sensibilidad o recall, mide la capacidad del modelo para detectar correctamente todas las instancias que verdaderamente pertenecen a una clase. Se enfoca en la exhaustividad del modelo para identificar positivos. **El modelo tiene una sensibilidad del 88.9%.** El valor alto indica que el modelo logra capturar la mayor parte de las instancias reales de la clase.

**Especificidad:**  $\frac{VN}{VN + FP}$

La especificidad mide la habilidad del modelo para identificar correctamente las instancias que no pertenecen a una clase determinada. Es, en cierto

sentido, el complemento del recall pero aplicado a la clase contraria. **El modelo tiene una especificidad del 88.2%.** El valor alto significa que el modelo es bueno para descartar instancias que no pertenecen a la clase de interés. Es especialmente útil en este contexto donde es importante minimizar la confusión de instancias negativas como positivas.

**Exactitud (Accuracy):**  $Accuracy = \frac{Total\ aciertos}{Total\ de\ predicciones}$

Accuracy es el porcentaje de predicciones correctas que realiza el modelo sobre el total de predicciones realizadas. Es decir, se centra en cuántos ejemplos fueron clasificados correctamente, sin importar en qué clase se encuentren. **El modelo tiene una precisión del 88.5%.**

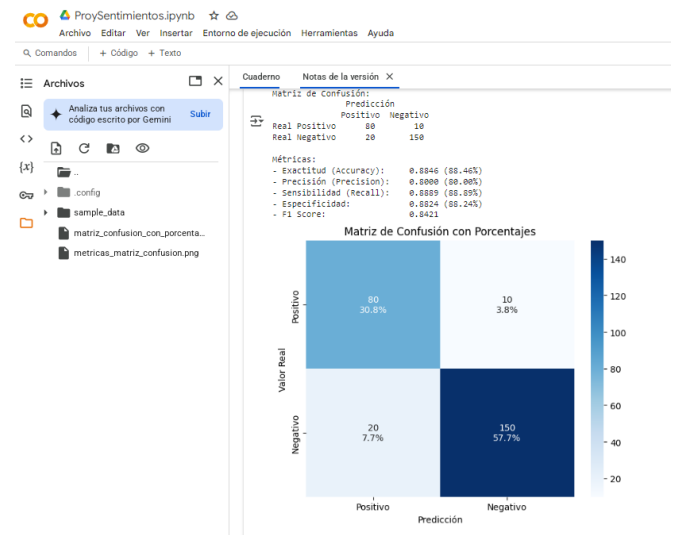


Figura 3.- Métricas y matriz de confusión.

El pseudocódigo del programa asociado basado en Zamora (2021), se estructura como sigue:

#### Algoritmo Modelo Pipeline con BERT

1. # Cargar bibliotecas necesarias
2. importar pipeline desde transformers
3. importar métricas y visualización desde sklearn
4. importar matplotlib, numpy, pandas
- 5.
6. # Paso 1: Inicializar traductor y modelo de emociones
7. traductor ← pipeline("traducción", modelo="Helsinki-NLP/opus-mt-es-en")
8. clasificador ← pipeline("clasificación de texto", modelo="j-hartmann/emotion-english-distilroberta-base")
- 9.

10. # Paso 2: Definir lista de textos en español y etiquetas reales

11. textos\_es ← lista de textos (por definir)

12. etiquetas\_reales ← ["joy", "sadness", "anger", "surprise", "love", "fear"]

13.

14. # Paso 3: Traducir y clasificar emociones

15. predicciones ← lista vacía

16.

17. para cada texto en textos\_es:

18. traducción ← traducir(texto)

19. resultado ← clasificar(traducción)

20. agregar resultado[label] a predicciones

21. imprimir texto, traducción, resultado

22.

23. # Paso 4: Identificar emoción predominante

24. conteo ← contar ocurrencias en predicciones

25. emocion\_predominante ← emoción con más frecuencia

26. imprimir emocion\_predominante

27.

28. # Paso 5: Crear matriz de confusión

29. etiquetas\_unicas ← etiquetas distintas en etiquetas\_reales y predicciones

30. cm ← calcular matriz de confusión

(etiquetas\_reales, predicciones, etiquetas\_unicas)

31. mostrar matriz de confusión con etiquetas\_unicas

32.

33. # Paso 6: Calcular métricas por clase

34. para cada clase en etiquetas\_unicas:

35. VP ← verdaderos positivos

36. FP ← falsos positivos

37. FN ← falsos negativos

38. VN ← verdaderos negativos

39.

40. precisión ←  $VP / (VP + FP)$

41. sensibilidad ←  $VP / (VP + FN)$

42. especificidad ←  $VN / (VN + FP)$

43.

44. guardar métricas en lista

45.

46. mostrar tabla de métricas por clase

47.

48. # Paso 7: Calcular métricas globales

49. accuracy ← calcular accuracy

50. f1\_macro ← calcular F1 macro

51. f1\_weighted ← calcular F1 ponderado

52.

53. mostrar métricas globales

Figura 4.- Pipeline en ejecución.

## 4. Discusión

El pipeline propuesto para el análisis de emociones en textos en español se basa en dos componentes clave: la traducción automática del español al inglés y la aplicación de un modelo de clasificación emocional basado en una variante de BERT (en este caso, "j-hartmann/emotion-english-distilroberta-base"). La discusión de este enfoque se centra en varios aspectos:

**1. Transferencia de Conocimiento mediante Traducción Automática.** Dado que la mayoría de los modelos avanzados para clasificación emocional se han entrenado con corpus en inglés, la traducción automática permite aprovechar este conocimiento preexistente sin tener que entrenar modelos desde cero en español.

**2. Modelo de Clasificación Emocional Basado en BERT.** BERT y sus variantes, gracias a la bidireccionalidad y el preentrenamiento en grandes corpus, logran una comprensión profunda del contexto en el que se encuentran las palabras. Esto es esencial para la correcta clasificación de emociones, que a menudo dependen de sutilezas contextuales. La capacidad del modelo para ser ajustado (fine-tuned) en tareas específicas permite adaptar el modelo preentrenado a la tarea de clasificación emocional, lo que a su vez mejora el desempeño en comparación con modelos entrenados desde cero.

**3. Evaluación a través de Métricas y Matriz de Confusión.** El alto desempeño en términos de precisión, sensibilidad y especificidad para la mayoría de las clases, indica que el pipeline es robusto para las emociones bien representadas. Sin embargo, las métricas globales se ven afectadas por el bajo desempeño en clases menos representadas, lo que resalta la importancia de considerar estrategias de manejo de clases desbalanceadas en futuros trabajos.

La capacidad para extraer características contextuales complejas de los textos del modelo "j-hartmann/emotion-english-distilroberta-base" y el pipeline programado demuestran el análisis de emociones en textos en español, véase figura 4.

## 5. Conclusiones

El artículo propone y evalúa un pipeline de análisis de emociones en textos en español que combina la traducción automática del contenido al inglés con la posterior clasificación utilizando un modelo preentrenado basado en BERT. Los resultados obtenidos evidencian varias conclusiones relevantes que deben considerarse tanto en la aplicación práctica como en futuras investigaciones:

**1.- Eficacia del Enfoque Multilingüe.** La estrategia de traducir textos en español al inglés permite aprovechar modelos de clasificación emocional altamente sofisticados y entrenados en grandes corpus en inglés, superando la limitación de la escasez de corpus anotados en español. A pesar de que la traducción puede introducir ciertos errores y atenuar matices culturales y semánticos propios del idioma original, el pipeline logró una alta tasa de exactitud general (accuracy  $\approx 88.5\%$ ) demostrando que la transferencia de conocimiento entre idiomas es una opción viable cuando se dispone de herramientas de alta calidad en ambos dominios.

**2.- Fortalezas del Modelo Basado en BERT.** El uso del modelo "j-hartmann/emotion-english-distilroberta-base" demuestra su capacidad para extraer características contextuales complejas de los textos, logrando clasificar correctamente las emociones predominantes en la mayoría de los casos. La arquitectura Transformer, que permite la interpretación bidireccional del contexto, se traduce en un rendimiento robusto para emociones claramente definidas como alegría, tristeza, enojo, amor y miedo. El pipeline propuesto demuestra ser una solución prometedora para el análisis de emociones en textos en español, especialmente en escenarios donde los recursos lingüísticos directos son limitados. Si bien se evidencian ciertos desafíos derivados de la traducción automática y del manejo de clases ambiguas, los resultados alentadores abren la puerta a futuros desarrollos que mejoren tanto la precisión del análisis emocional como la adaptabilidad del modelo a contextos y dominios específicos.

## 6. Agradecimientos

Expresamos el más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron al desarrollo de este artículo. En primer lugar, a los equipos de investigación y desarrolladores de los modelos preentrenados de BERT, en particular a los responsables de las implementaciones de DistilRoBERTa y Helsinki-NLP/opus-mt-es-en, cuyas herramientas y esfuerzos han sido fundamentales para la realización de este artículo. Así también, al personal académico y a los colegas que revisaron las ideas y ofrecieron valiosas sugerencias y comentarios durante el proceso de investigación. Su apoyo y orientación fueron esenciales para mejorar la calidad de este trabajo.

## 7. Referencias

1. Cañete, J., Chaperon, G., Fuentes, R., Ho, J.-H., Kang, H., & Pérez, J. (2020). Spanish pre-trained BERT model and evaluation data. *Proceedings of the Practical ML for Developing Countries Workshop at ICLR 2020*.
2. Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. *Proceedings of NAACL-HLT 2019*, 4171–4186.
3. Dos Santos, C. N., & Gatti, M. (2014). Deep Convolutional Neural Networks for Sentiment Analysis of Short Texts. *Proceedings of the 25th International Conference on Computational Linguistics (COLING 2014)*, 69–78.
4. Hartmann, J. (2022). j-hartmann/emotion-english-distilroberta-base. *Hugging Face*.
5. Johnson, R., & Zhang, T. (2015). Effective Use of Word Representations in Neural Machine Translation. *Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, 1306–1315.
6. Tiedemann, J., & Thottingal, S. (2020). OPUS-MT: Open translation models trained on the OPUS corpus. *Helsinki NLP*.
7. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2017)*, 30, 5998–6008.
8. Zamora, J., Mendoza, M., & Allende, H. (2021). EmoEvent: A multilingual emotion corpus based on different events. *Expert Systems with Applications*, 165, 113846.
9. Zhang, Y., & Wallace, B. C. (2015). A Sensitivity Analysis of (and Practitioners' Guide to) Convolutional Neural Networks for Sentence Classification. *Proceedings of the 8th International Conference on Learning Representations (ICLR 2015)*.



# Interfaz Cerebro-Máquina para el Desplazamiento Autónomo en Sillas de Ruedas. Brain-Machine Interface for Autonomous Wheelchair Movement.

Javier Norberto Gutiérrez Villegas<sup>1</sup>, Israel Isaac Gutiérrez Villegas<sup>2</sup>, Víctor Hugo Martínez Flores<sup>3</sup>, Esiquio Martín Gutiérrez Armentas<sup>4</sup>, Marco Antonio Gutiérrez Villegas<sup>5</sup>, Liliana Niño Monroy<sup>6</sup>

<sup>1</sup> División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tese - Tecnm, México. <sup>2</sup> División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tese - Tecnm, México  
<sup>3</sup> Departamento Académico de Programación, cetis119-DGETI, México, <sup>4</sup> Departamento de Sistemas, Área de Sistemas Computacionales, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, México, <sup>5</sup> Departamento Académico de Programación, cetis119-DGETI, México<sup>6</sup>

## Resumen

Este proyecto aborda la necesidad de mejorar la movilidad de personas con discapacidad parapléjica mediante el desarrollo de un prototipo tecnológico innovador que utiliza ondas cerebrales para controlar una silla de ruedas. La propuesta integra una diadema NeuroSky con un sistema basado en Arduino UNO, representando una solución de vanguardia para superar las limitaciones de las sillas de ruedas convencionales. El sistema funciona mediante una interfaz cerebro-máquina que captura las señales neuronales del usuario a través de la diadema NeuroSky. Estas señales se transmiten vía Bluetooth HC-05, configurado como maestro mediante comandos AT, hacia la placa Arduino que procesa la información y controla los motores eléctricos de la silla. El nivel de concentración del usuario determina la dirección del movimiento: adelante, derecha, izquierda o reversa. Esta investigación busca facilitar las actividades diarias y promover la autonomía de personas con discapacidades físicas severas, mejorando su integración social y laboral. La ausencia de prototipos similares en el mercado actual resalta el carácter innovador del proyecto, que combina conocimientos científicos y tecnológicos para resolver problemas reales de movilidad y ofrecer una solución práctica que mejore significativamente la calidad de vida de los usuarios.

**Palabras clave:** Arduino, Bluetooth, Silla de rueda, NeuroSky, parapléjico, modulo puente H, motorreductor

## Abstract

This project addresses the need to improve mobility for people with paraplegic disabilities through the development of an innovative technological prototype that uses brain waves to control a wheelchair. The proposal integrates a NeuroSky headband with an Arduino UNO-based system, representing a cutting-edge solution to overcome conventional wheelchair limitations. The system operates through a brain-machine interface that captures the user's neural signals via the NeuroSky headband. These signals are transmitted through Bluetooth HC-05, configured as master using AT commands, to the Arduino board that processes the information and controls the wheelchair's electric motors. The user's concentration level determines movement direction: forward, right, left, or reverse. This research aims to facilitate daily activities and promote autonomy for people with severe physical disabilities, improving their social and workplace integration. The absence of similar prototypes in the current market highlights the project's innovative nature, combining scientific and technological knowledge to solve real mobility problems and offer a practical solution that significantly improves users' quality of life. The prototype represents a breakthrough in assistive technology, enabling independent movement for individuals who would otherwise face substantial mobility challenges, thus fostering their integration into everyday life activities.

**Keywords:** Arduino, Bluetooth, wheelchair, NeuroSky, paraplegic, H-bridge module, gear motor Arduino, Bluetooth, Wheelchair.

## 1. Introducción

En México, de acuerdo con el censo de 2020, se registraron 2 millones 939 mil personas con dificultades

para trasladarse. Según el censo de 2022 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el país cuenta con 20 millones 838 mil 108 personas que presentan alguna discapacidad o limitación, lo que equivale al 16.5% de la población. Este sector enfrenta importantes desafíos,

\*Autor para la correspondencia: victorhugo.martinez.ce119@dgeti.sems.gob.mx

**Correo electrónico:** victorhugo.martinez.ce119@dgeti.sems.gob.mx (Victor Hugo Martínez Flores), jgutierrez@tese.edu.mx (Javier Norberto Gutiérrez Villegas), magv@correo.azc.uam.mx (Marco Antonio Gutiérrez Villegas), emga@azc.uam.mx (Esiquio Martín Gutiérrez Armenta), israelVillegas@tese.edu.mx (Israel Isaac Gutiérrez Villegas)

particularmente en lo relacionado con sus traslados tanto dentro como fuera de sus hogares [4].

Con el propósito de contribuir a mejorar la calidad de vida de este 16,5% de la población, se ha desarrollado un prototipo tecnológico diseñado para facilitar la realización de sus actividades diarias. En esta investigación se propone una solución innovadora, "una silla de ruedas" que no requiere ayuda externa para su uso. El diseño incorpora un sistema avanzado de programación que funciona mediante una diadema de Neurosky Mindwave Headset capaz de captar las ondas cerebrales del usuario permitiendo que el desplazamiento de la silla de ruedas sea más sencilla.

El ser humano se desenvuelve en un entorno de continuo aprendizaje, desde el momento en que hace uso de su actividad sensorio-motriz, toda la información recolectada es almacenada en forma de memoria de corto y largo plazo. Así los datos son guardados en las redes preexistentes (memoria de corto plazo) o en forma de cambios estructurales y funcionales de las redes neuronales (memoria de largo plazo) en respuesta a los estímulos captados por distintos órganos receptores [18].

La cuadriplejía (o tetraiplejía) puede ser de origen traumático o no traumático. En el caso de la patología no traumática, generalmente existe una enfermedad subyacente: infecciones, tumores, enfermedades musculoesqueléticas como la osteoartritis, o problemas congénitos [19].

Una de las formas de conservar la energía física de las personas y proveerlos de una mayor maniobrabilidad fue la invención de sillas eléctricas controladas mediante las señales cerebrales. El uso de este tipo de sillas de ruedas en personas con discapacidad ha generado una gran atención, debido a su flexibilidad, comodidad, costo relativamente bajo, alta movilidad y fácil configuración [20].

El desplazamiento autónomo de personas con discapacidad físicas es una necesidad prioritaria para mejorar su calidad de vida. Las sillas de ruedas convencionales presentan limitaciones para quienes tienen discapacidades motoras severas, lo que dificulta su integración en el entorno cotidiano.

La investigación se centra en el desarrollo de un prototipo tecnológico que integra tecnología neuronal en una estructura ergonómica de una silla de ruedas, facilitando actividades diarias y promoviendo la independencia de los usuarios. Está dirigido a personas con discapacidades motoras (paraplejía) que no pueden operar sillas de ruedas convencionales.

## 2. Materiales y Método

### Método

Se realizó una investigación de innovación tecnológica, en el Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios (CETIS) 119 "Gertrudis Bocanegra Lazo De La Vega". La cual cuenta con cuatro fases: 1) Análisis. En esta fase se recopiló información para saber cuáles son las necesidades de información para resolver la problemática, la delimitación de la problemática y los objetivos generales y específicos; 2) diseño. En esta fase se desarrolló el prototipo del circuito

electrónico que se utilizará para resolver la problemática para controlar una silla de ruedas utilizando señales cerebrales; 3) construcción. En esta fase se llevará a cabo el armado del prototipo tecnológico con sus componentes correspondientes 4) pruebas de funcionamiento del prototipo tecnológico al intentar mover el prototipo de silla de ruedas mediante las señales cerebrales.

Se sometieron a tres pacientes a sesiones de entrenamiento tres veces por semana a lo largo de dos meses, y usaban la diadema Neurosky Mindwave Headset.

La diadema NeuroSky utiliza el algoritmo eSense para interpretar y categorizar la actividad cerebral, como la atención y la meditación, en una escala de 0 a 100. Este algoritmo, desarrollado por NeuroSky, permite identificar diferentes estados mentales y cognitivos.

Es un terminal que detecta las señales encefalográficas evitando el ruido ambiental por medio de un algoritmo denominado "eSense" implementado en el chip Thinkgear.

El dispositivo mide los espectros de frecuencia EEG (Delta, Teta, Alfa, Beta, Gamma) y luego utiliza eSense para determinar los niveles de atención y meditación.

Dependiendo del nivel de concentración o relajación el paciente podía mover el prototipo tecnológico de silla de ruedas hacia la izquierda, a la derecha, de frente o atrás.

En la primera sesión de entrenamiento, los tres voluntarios pudieron mover el prototipo de silla de ruedas.

A lo largo del entrenamiento, dos participantes lograron conducir el prototipo de silla de ruedas. Esto se debió a mejoras en la capacidad para concentrarse.

Las lecturas de EEG (es una prueba que mide la actividad eléctrica del cerebro) de la concentración y relajación mostraron cambios claros en los patrones de ondas cerebrales de los pacientes a medida que guiaban mejor.

### Materiales

Se seleccionaron los materiales, los cuales presentan un funcionamiento al momento de realizarles las pruebas de funcionamiento a cada uno de estos. Se utilizaron los siguientes materiales: Arduino Uno, módulo de puente H, dos motores para Arduino, dos llantas para Arduino, porta pilas, protoboard, cables jumper, diadema Neurosky, seis pilas recargables y Bluetooth.

La aplicación software del IDE de Arduino se utilizará para realizar el desarrollo de la aplicación para poder realizar la conectividad entre la diadema Neurosky Mindwave Headset y la placa de arduino.

Un módulo HC-05 permitió la comunicación entre Arduino y Neurosky Mindwave Headset, lo que garantizó que la silla pudiera moverse sin obstrucción de cables.

Los parámetros de configuración fueron: el puerto de comunicación, tipo de conexión, tipo de tarjeta Arduino, Baud Rate y el número de bytes por paquete.

La tarjeta Arduino y un puente H (L293D) controlaron la tarjeta electrónica de potencia, la misma que proporcionó energía para los dos motores de las llantas de la silla de ruedas.

Para que los enlaces se generasen, las librerías del IDE de arduino debieron contener una ruta específica, y la tarjeta Arduino un firmware que permitiese la comunicación.

La tarjeta electrónica de potencia integró el módulo HC-05, la bornera de alimentación, el integrado L293D, la salida de corriente hacia los motores y la incorporación con la tarjeta

En la figura 1 se muestra el diseño inicial de prototipo tecnológico donde se puede observar: protoboard, cables jumper, puente H, motor para arduino, placa de arduino uno y bluetooth HC-05

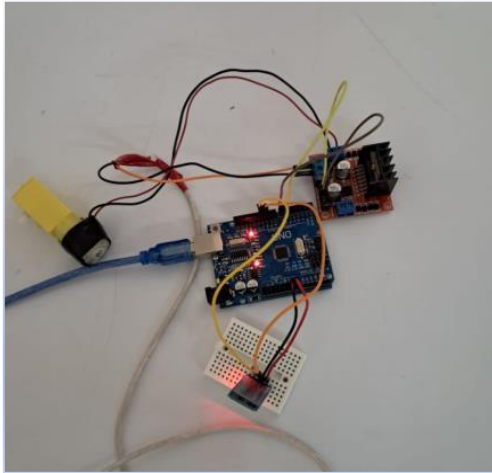


figura1. Diseño inicial del prototipo tecnológico

En la figura 2 se muestra la instalación y configuración del bluetooth HC-05 utilizando comandos AT para configurarlo como maestro, que se utilizará para la silla de ruedas.

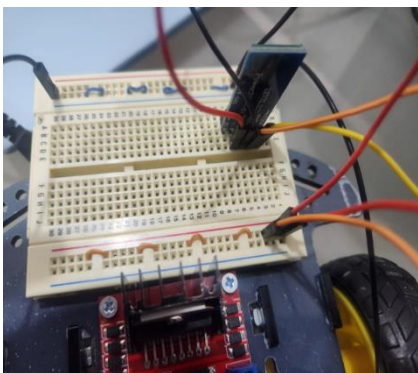


figura 2. Configuración del bluetooth HC-05

En la figura 3 se muestra el prototipo de silla de ruedas inteligente concluido y funcionando.

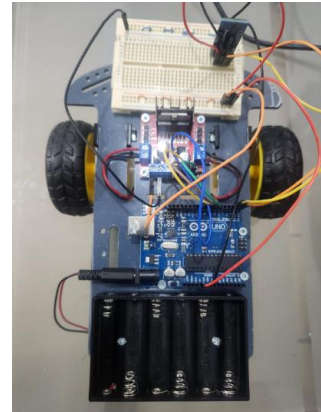


figura 3. Prototipo tecnológico a escala silla de rueda.

En la figura 4 se muestra se muestra la diadema de Neurosky Mindwave Headset que se utilizará para capturar las señales cerebrales y enviarlas a la placa de arduino.



Figura 4. Diadema Neurosky Mindwave Headset

### 3. Resultados

La diadema de Neurosky Mindwave Headset captura las señales cerebrales de una persona, que se traducen en movimientos de la silla de ruedas mediante un programa de computadora.

El paciente solo tiene que concentrarse, o relajarse para poder mover la silla de ruedas. Esta intención se traduce en comandos reales para los motores de la silla de ruedas, que harán que las ruedas se muevan a la derecha, izquierda, de frente y hacia atrás.

El usuario que utilizó el prototipo tecnológico necesitó de un solo intento para mover la silla de ruedas.

### 4. Discusión

El propósito de la investigación es crear un prototipo tecnológico innovador que puede ser utilizado por cualquier persona con discapacidad o sin discapacidad física. Su

funcionamiento es intuitivo y fácil de usar, lo que lo hace ideal para personas que necesitan una solución sencilla y eficaz para mejorar su calidad de vida.

De acuerdo a las evaluaciones realizadas, este puede ser manejado tanto por personas sanas como por aquellas con paraplejía o con discapacidad para poder mover sus miembros brazos, piernas, manos.

El principal reto es entrenar a las personas durante suficiente tiempo, para que pueden alcanzar cierto nivel de concentración y de control sobre un dispositivo sofisticado, como estas sillas de rueda controladas con la mente. Esto sugiere que modificar el programa de computadora creado en el IDE de arduino probablemente no será suficiente para maniobrar con éxito el prototipo de silla de ruedas controlada con la mente. Los pacientes mismos tendrán que implicarse para encontrar la manera de conducirla.

## 5. Conclusiones

El propósito de esta investigación es dar una alternativa para ayudar a las personas que tengan alguna dificultad física para poder moverse (paraplégicos), apoyándolos a que tengan una vida con mayor actividad al momento de desplazarse y no necesiten de una persona externa para apoyarlos.

De acuerdo con la investigación realizada, se pudo concluir que se obtuvieron los resultados esperados, la comunicación del sensor neuronal Neurosky Mindwave Headset y la placa de desarrollo arduino obteniendo el funcionamiento de la silla. Así mismo, se observó que para cada usuario se debe de llevar acabo un entrenamiento para que este pueda conseguir el nivel de respuesta deseado.

El desarrollo de esta investigación nos permitirá aportar a la sociedad un prototipo tecnológico que ayude al desplazamiento de personas con un alto grado de discapacidad motriz.

## 6. Agradecimientos





Agradecimiento a los miembros de la Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación por las orientaciones y asesoría técnica.

## 7. Referencias

- [1] Arduino AG. (2017). Arduino. Obtenido de <http://www.arduino.org/learning/gettingstarted/what-is-arduino>
- [2] Biomedresearches. (5 de Enero de 2014). Middle East Medical Information Center and Directory. Obtenido de <http://www.biomedresearches.com/root/pages/researches/epilepsy/eeeg.html>
- [3] Comunidad de Madrid. (2007). Comunidad de Madrid. Obtenido de [http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM\\_Publicaciones\\_FA&cid=1142355949828&idConsejeria=1109266187242&idListConsej=1109265444710&idOrganismo=1109266227096&idPagina=1343068184421&language=es&pagename=ComunidadMadrid%2FEstructura&pid=1331802501637&site=Comun](http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM_Publicaciones_FA&cid=1142355949828&idConsejeria=1109266187242&idListConsej=1109265444710&idOrganismo=1109266227096&idPagina=1343068184421&language=es&pagename=ComunidadMadrid%2FEstructura&pid=1331802501637&site=Comun)
- [4] CONADIS. (02 de Febrero de 2016). Consejo Nacional para la igualdad de Discapacidades. Obtenido de [http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2016/02/estadisticas\\_discapacidad.pdf](http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2016/02/estadisticas_discapacidad.pdf)
- [5] Ehow. (2017). Ehowenespanol. Obtenido de <http://www.ehowenespanol.com/funcionandiodos-detectores-infrarrojos-sobre-134099/>
- [6] Goilav, N. (2016). Arduino. Aprende a desarrollar para crear objetos inteligentes. Barcelona: Ediciones ENI.
- [7] Martín, J. (2015). Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78057/Juan%20Ignacio%20Mart%C3%ADn%20Barraza%20-%20TFG.pdf>
- [8] Naylamp Mechatronics. (2016). Naylamp Mechatronics. Obtenido de [http://www.naylampmechatronics.com/blog/24\\_configuracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html](http://www.naylampmechatronics.com/blog/24_configuracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html)
- [9] NeuroSky. (2017). NeuroSky. Obtenido de <http://neurosky.com/>
- [10] Nicolas, L. (29 de Enero de 2011). Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3304110/>
- [11] OptimusTronic. (2016). Proyectoselectronics. Obtenido de <http://proyectoselectronics.blogspot.com/>
- [12] Patrone, D. (2016). Ilustrados. Obtenido de <http://www.ilustrados.com/tema/469/Neurologiasistema-nervioso.html#CEREBRO>
- [13] Romo, A. (01 de Noviembre de 2012). Recibe. Obtenido de <http://recibe.cucei.udg.mx/revista/en/vol1-no1/biomedica01.html>
- [14] Schalock RL, K. (1990). Habilitation planning for adults with disabilities. New York: SpringerVerlag.
- [15] Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013-2017). Buen Vivir Plan Nacional. Obtenido de <http://www.buenvivir.gob.ec/versiones-plan-nacional>
- [16] Sidereo, M. (1990). Ondas Cerebrales. Barcelona: Bruguera.
- [17] Sonidosbinaurales. (2016). Sonidosbinaurales. Obtenido de <http://www.sonidosbinaurales.com/>
- [17] Torrente, O. (2013). Arduino. Curso práctico de formación. Madrid: Grupo RC
- [18] Bisaz R, Travaglia A, Alberini CM. The neurobiological bases of memory formation: from physiological conditions to psychopathology. Psychopathology. 2014;47(6):347-56.
- [19] World Health Organization. International Perspectives on Spinal Cord Injury [Internet]. Washington, D.C: OPS; 2013 [citado 15/03/2019]. Disponible en: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/94190/9789241564663\\_eng.pdf?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/94190/9789241564663_eng.pdf?sequence=1)
- [20] Al-qaysi ZT, Zaidan BB, Zaidan AA, Suzani MS. A review of disability EEG based wheelchair control system: Coherent taxonomy, open challenges and recommendations. Comput Methods Programs Biomed. 2018;164:221-37
- [21] Metodología de conexión utilizando NeuroSKY Mindwave MW003 con MATLAB EPISTEMUS. (s. f.). <https://epistemus.unison.mx/index.php/epistemus/article/view/110/139>

# Sistema de inteligencia artificial para la asistencia y corrección de técnicas de deportistas de alto rendimiento por visión artificial

## Artificial intelligence system for assisting and enhancing high-performance athletes' techniques using computer vision.

Carlos-Alfonso Trejo-Villanueva <sup>a</sup>, Derlis Hernández-Lara <sup>a</sup>, Emmanuel-Tonatiuh Juárez-Velázquez <sup>a</sup>, Cinthia-Estela Trejo-Villanueva <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Ingeniería informática, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, C.P. 55210, Ecatepec de Morelos, Estado de México, México

### Resumen

En la actualidad, la visión artificial (VA) está experimentando un auge significativo gracias a los avances en inteligencia artificial (IA), aprendizaje automático (machine learning), la creciente disponibilidad de datos y potencia de cómputo. Las principales áreas de desarrollo de la IA son la industria manufacturera, el área de la salud, la automoción, seguridad y vigilancia, agricultura, deporte y otras. En referencia al deporte de alto rendimiento, se establece que una de las grandes limitantes es la relación entre la cantidad de entrenadores capacitados y la cantidad de deportistas que atiende, entendiéndose que el tiempo de atención a cada deportista se ve disminuido cuando aumenta la cantidad de personas con las que se entrena, generando un retraso en sus avances deportivos y posibles lesiones debido al desarrollo de técnicas erróneas a causa de esta desatención. El presente trabajo desarrolla un sistema de asistencia para deportistas de alto rendimiento basado en inteligencia artificial, para el perfeccionamiento de técnicas y corrección de errores en su ejecución. Se basa en algoritmos de visión artificial que permite establecer técnicas de entrenamiento y mecánicas de ejecución de ciertos ejercicios, haciendo uso de video en tiempo real en el que se informa a los deportistas de la correcta o deficiente ejecución de su técnica. Los resultados y conclusiones describen los pormenores del desarrollo aplicados a técnicas de deportistas en el patinaje libre y los alcances de la implementación del prototipo.

**Palabras clave:** Deporte de alto rendimiento, Inteligencia Artificial, Media Pipe Pose, Python, Visión artificial.

### Abstract

Currently, computer vision (CV) is experiencing significant growth due to advances in artificial intelligence (AI), machine learning, the increasing availability of data and computing power. The main areas of development of IA are the manufacturing industry, healthcare, automotive, security and surveillance, agriculture, sports, and many others. Regarding high-performance sports, it is established that the major problem is the ratio between the number of trained coaches and the number of athletes they attend to, understanding that the attention time for each athlete is diminished when the number of people being trained increases, resulting in a delay in their athletic progress and possible injuries due to the development of erroneous techniques due to such inattention. This work develops an assistance system for high-performance athletes based on artificial intelligence, for the enhancing of techniques and correction of execution errors. It is based on computer vision algorithms that allow establishing training techniques and execution mechanics of some exercises, using real-time video in which athletes are informed of the correct or deficient execution of their technique. Results and conclusions describe the details of the development applied to techniques of athletes in skating and the scope of the prototype implementation.

**Keywords:** High-performance sport, Artificial Intelligence, Media Pipe Pose, Python, Computer vision

## 1. Introducción

En el mundo de los deportes de alto rendimiento, los entrenadores y preparadores físicos son responsables del entrenamiento de los deportistas teniendo como alguna de sus

\*Autor para la correspondencia: josejuan@dominio1.edu.mx

**Correo electrónico:** carlostrejo@tese.edu.mx (Carlos-Alfonso Trejo-Villanueva), dderlis-lara@tese.edu.mx (Derlis Hernández-Lara), emmanuel.juarez@tese.edu.mx (Emmanuel-Tonatiuh Juárez-Velázquez), cinthia.trejo@tese.edu.mx (Cinthia-Estela Trejo-Villanueva).



prioridades la de corregir las técnicas y posturas de dichos deportistas, entendiendo que la teoría moderna del entrenamiento refiere a un proceso sistemático de integración multidisciplinaria (Chunguang, 2023). No importa el deporte de alto rendimiento que se mencione, la especialización de técnicas correctas de ejecución o mecánicas de motricidad son imperantes para alcanzar los mejores resultados en ellos. Todo ejercicio provoca procesos de adaptación aguda, esenciales para ajustar las funciones corporales al nivel correspondiente de metabolismo energético, siendo necesarios ajustes en cada deportista para prevenir alteraciones dañinas en el medio interno de su organismo, que permiten mejorar el rendimiento en el ejercicio y mejorar el nivel de desempeño (Virus, 2017). Sin embargo, en muchas ocasiones, la saturación de los entrenadores respecto al número de deportistas que atienden no permite otorgar el tiempo necesario para la identificación los ajustes técnicos de errores técnicos y la personalización del entrenamiento para reflejar la capacidad y respuesta son únicas para cada atleta (Kasper 2019). Al tener demasiados deportistas a su cargo, obligan al entrenador a disminuir el tiempo dedicado a cada uno para realizar las correcciones necesarias o dar las indicaciones pertinentes. Una técnica incorrecta puede aumentar la posibilidad de lesiones, reducir el rendimiento o incluso impedir que el deportista alcance su máximo potencial (Luckstead, 2002). El uso de la Inteligencia artificial ha ayudado a muchas áreas a mejorar la eficiencia y en el caso del problema descrito previamente puede ayudar a resolver este problema al brindar una herramienta objetiva y precisa para la identificación de las técnicas adecuadas de entrenamiento.

## 2. Inteligencia artificial en los deportes

La inteligencia artificial (IA), es un campo que combina la ciencia informática y los conjuntos de datos robustos para permitir la resolución de problemas. El concepto de Inteligencia Artificial está alterando positivamente el deporte y elevándolo a un nivel de éxito sin precedentes (Nadikattu, 2020). Así, la IA está transformando rápidamente el mundo del deporte, desde el entrenamiento y la preparación física hasta el análisis del rendimiento y la experiencia del espectador. La IA está revolucionando el ámbito del entrenamiento deportivo al emplear técnicas avanzadas de aprendizaje automático y algoritmos computacionales (Bodemer, 2023). Algunas de las aplicaciones más destacadas de la IA en los deportes son:

- Análisis del Rendimiento
- Entrenamiento y Preparación Física
- Experiencia del Espectador
- Gestión Deportiva

El análisis biomecánico asistido por IA estudia el movimiento de los atletas con gran detalle, identificando deficiencias técnicas, riesgos de lesiones y áreas de mejora,

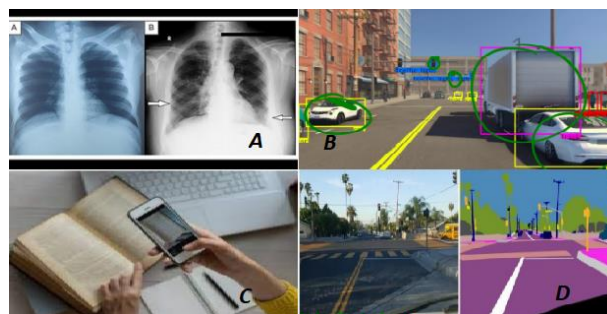
para lo cual se suelen utilizar técnicas de visión artificial (visión por computadora) para capturar y analizar la motricidad de los deportistas. Estudios recientes se centran en la utilización de técnicas de IA para extraer automáticamente poses humanas de flujos de video, con el objetivo de evaluar objetivamente los gestos de los atletas y mejorar su rendimiento deportivo (Annino, 2023). El análisis automático de vídeos en el ámbito deportivo se presenta como una solución viable para satisfacer la demanda de información variada por parte de aficionados y profesionales (Naik, 2022). Los sistemas de seguimiento basados en cámaras y sensores recopilan datos sobre la posición, la velocidad, la aceleración, la distancia recorrida y otros parámetros en tiempo real. El objetivo de estos sistemas pretende analizar datos biomecánicos y de rendimiento para identificar factores de riesgo de lesiones y recomendar medidas preventivas y así mejorar la eficiencia, eficacia, rendimiento y resultados de los deportistas en su proceso de preparación y entrenamiento.

## 3. Visión Artificial

La visión artificial (VA) es un campo de la inteligencia artificial que se enfoca en hacer que las computadoras interactúen con el mundo visual de forma similar a como lo hacemos los humanos y así puedan integrar y analizar información visual del mundo que las rodea, en gran medida, estos avances han sido impulsados por sistemas base potentes (He, 2017).

Esta disciplina científica, se basa en redes neuronales convolucionales (CNN), que han demostrado ser modelos eficaces para abordar una variedad de tareas visuales (Hu, 2018) que buscan conseguir que las computadoras sean capaces de comprender imágenes y actuar de cierta manera ante ellas. Las aplicaciones en las que se usa la VA son básicamente tareas de:

- Clasificación
- Detección
- Optical Character Recognition (OCR)
- Segmentación



• Figura 1: Aplicaciones de la VA. A) Clasificación, B) Detección, C) OCR, D) Segmentación



Dependiendo de la aplicación que se pretende desarrollar se utiliza una de estas técnicas, buscando identificar ciertos parámetros de imagen que permita realizar un proceso específico y automático.

#### 4. Método

En esta investigación se realizó un análisis de imágenes recopiladas de deportistas de alto rendimiento dedicados al patinaje de velocidad. La metodología de trabajo esta descrita en la Figura 2.

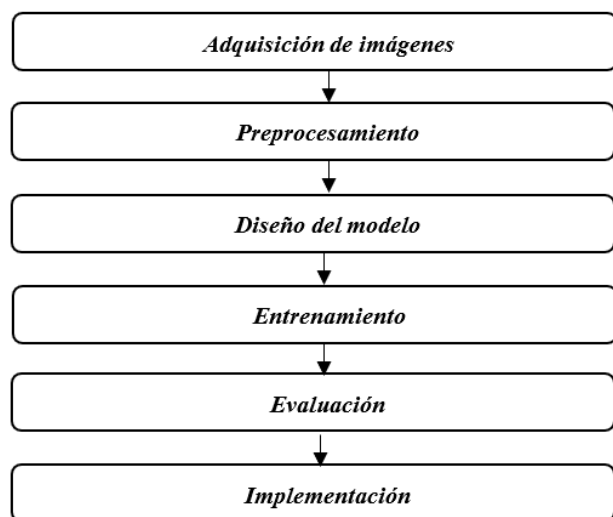


Figura 2: Metodología de trabajo empleada.

##### 4.1. Adquisición de imágenes

El banco de imágenes utilizado para la identificación de posturas es generado por el equipo de investigación específicamente para el estudio y se compone de la captura de 6000 imágenes de dos diferentes clasificaciones basado en las posiciones en las que los patinadores se presentan en la imagen (3000 para cada clasificación). Las imágenes son validadas por los expertos en el área deportiva para ser etiquetadas correctamente en las clasificaciones establecidas que son:

1. Mala postura
2. Buena postura

Las posturas son definidas con las marcas al esqueleto que se sobrepone a la imagen del patinador, guardando referencia entre los puntos y ángulos formados por las rodillas, los tobillos, la cadera, los hombros y la cabeza. Se define una mala postura cuando los ángulos de las rodillas quedan por dentro de los puntos de la cadera o cuando los puntos de los tobillos están más allá de los puntos de las rodillas. Así mismo la referencia entre los hombros y la cadera deben estar alineados y los puntos de la cabeza no deben presentar una inclinación en la misma para ser considerada una buena postura.

Las imágenes son capturadas con una cámara GoPro Hero12 con estabilizador de captura HyperSmooth 6.0 con Bloqueo del horizonte de 360° que puede grabar video o tomar imágenes de 5.3K y añade HDR (Alto Rango Dinámico) y puede capturar fotografías con fotogramas de 24,7 MP a partir de videos.

La captura de las fotografías se configura a una resolución de 1920 x 1080 px, por ser su resolución mínima. Estas imágenes se toman en un entorno semi controlado con iluminación, ángulo de toma, persona fotografiada y escenario similares, para dar una certidumbre de clasificación pretendida. La figura 3 muestra un ejemplo de las tomas capturadas.



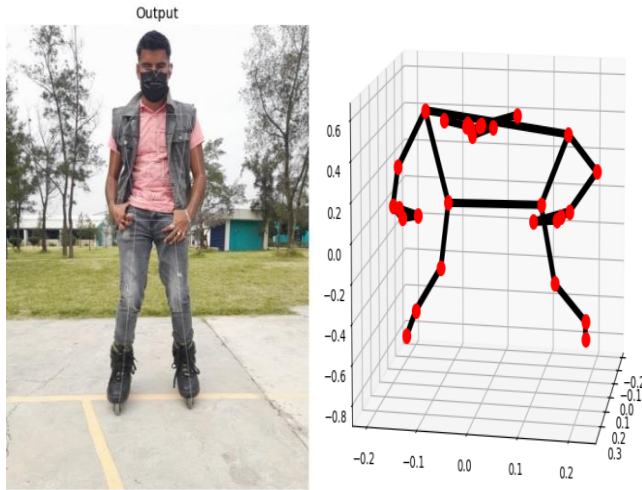
Figura 3: Ejemplo de imagen capturada.

##### 4.2. Preprocesamiento

Se realizó diferentes tareas de procesamiento de las imágenes del banco obtenido para hacer más eficiente el procesamiento del modelo de IA.

- Redimensionamiento de imagen. Se redimensiona las imágenes cambiando la resolución original a una de 150 x 150 px, para que el entrenamiento de la red sea más rápido y eficiente. Cabe notar que las imágenes fueron revisadas para verificar que pudiera ser reconocidos las características que definirían las clasificaciones esperadas.
- Se implementa la biblioteca Media Pipe Pose (MP Pose), que es una parte de conjunto integral de soluciones de machine learning para aplicaciones multimedia, utilizada para agregar a las imágenes un esqueleto compuesto por puntos asignados a los hombros, los codos, las muñecas, la cadera, las rodillas y los tobillos de los patinadores. Estos puntos servirán para la definición de las clasificaciones establecidas en el diseño del proyecto. La figura 4 muestra la inserción del esqueleto en la imagen

- Disminución de canales de imagen. Las imágenes se transforman para que solo manejen matrices de canales RGB., ya que la coloración de las imágenes no es un parámetro relevante en la clasificación buscada. No se trabaja con imágenes en escala de grises por la interpretación del preprocesamiento anteriormente descrito
- Estandarización de los píxeles. Las 3 matrices de las imágenes definen los píxeles en valores que van de 0 a 255 con lo que las operaciones implícitas en la red pueden ser costosas computacionalmente, por lo que se aplica una estandarización para transformar los datos a valores en el rango de 0 a 1 y hacer así que las operaciones sean con valores pequeños y disminuir así el tiempo de entrenamiento y clasificación.



• Figura 4: Imagen capturada con esqueleto generado por la librería BlazePose.

#### 4.3. Diseño del modelo y entrenamiento

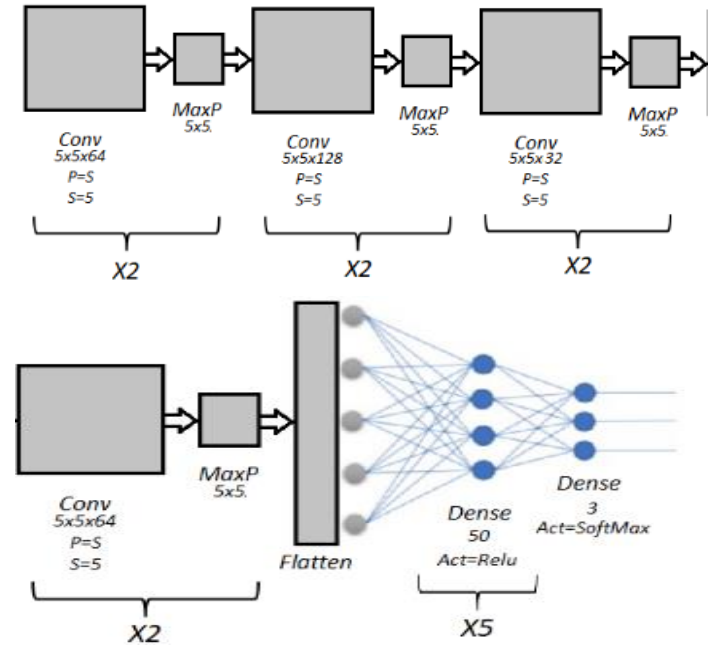
En la experimentación se prueban diferentes configuraciones de arquitectura de modelos cambiando los parámetros: número de capas, funciones de activación, índice de aprendizaje, número de épocas, tamaño de filtro y número de filtros, tamaño de batch, padding y stride. Se realizan 500 ejercicios de experimentación con el cambio de diferente meta parámetros, de estas experimentaciones se presenta en la Tabla 1 el modelo que proporcionó los mejores resultados con el mínimo de requerimientos computacionales.

Tabla 1: Meta parámetros del modelo de clasificación utilizado

Parámetro	Valor
Número de capas	24
Tipos de capas	Convolutacional, MaxPooling, Flatten y Dense
Funciones de activación	Relu, Softmax
Índice de aprendizaje	0.0003
Épocas	60

Tamaño de batch	100
Optimizador	Adam
Pérdida	Categorical crossentropy
Métrica	Accuracy

El banco de 6000 imágenes preprocesadas se divide en 70% de imágenes para el entrenamiento (training) y 30% de imágenes para las pruebas (test). El diagrama de la arquitectura que presentó mejores resultados se muestra en la Figura 5.



• Figura 5: Diagrama de la arquitectura del modelo.

El resumen de las capas del diseño del modelo de la arquitectura creada se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2: Modelo detallado

Capa	Tipo	Parámetros
1	Convolutacional X8	Kernel (64x2, 128x2, 32x2, 64x2) Ventana (5x5) Padding (same) Stride (5)
2	MaxPooling X8	Pool size (5x5)
3	Flatten	
4	Dense X5	Activation (Relu) No. neuronas (50)
5	Dense	Activation (SoftMax) No. neuronas (3)

#### 4.4. Evaluación e implementación

En la implementación se realizan las pruebas de evaluación en experimentos en los que se cambian parámetros como número de capas, funciones de activación, índice de aprendizaje, número de épocas, tamaño de filtro y número de filtros, tamaño de batch, padding y stride. De estos experimentos, se presentan en este trabajo los valores de la arquitectura que mostró los mejores resultados considerando las magnitudes del error (Categorical Cross Entropy) y de la exactitud (Accuracy). Los valores de pérdida y precisión se muestran en las gráficas de la siguiente sección con el progreso del entrenamiento en el transcurso de las épocas.

### 5. Resultados

Para evaluar los resultados del modelo diseñado se utilizó la métrica Accuracy y la función de pérdida Categorical Cross Entropy, con lo que se alcanzó los resultados mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3: Valores de pérdida y precisión alcanzados

<b>Etap</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<i>Entrenamiento</i>	<i>Accuracy</i>	<i>0.8297</i>
	<i>Loss</i>	<i>0.4751</i>
<i>Validación</i>	<i>Val- Accuracy</i>	<i>0.8187</i>
	<i>Val - Loss</i>	<i>0.5017</i>

Los comportamientos de estos parámetros en entrenamiento y validación se muestran en las Figuras 6 y 7 respectivamente.

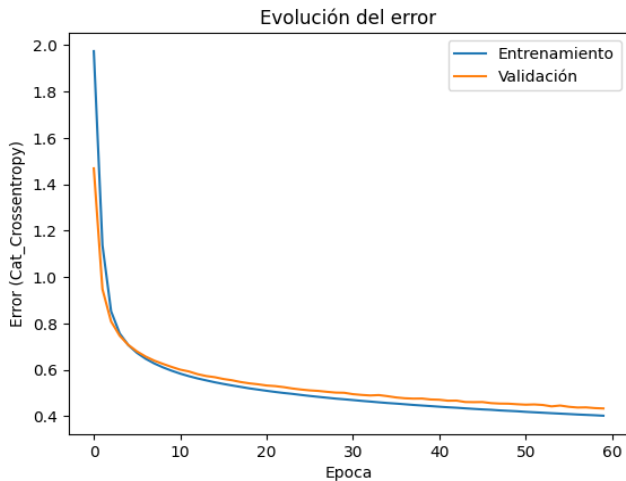


Figura 6: Gráfica de error (Categorical Cross Entropy) de la arquitectura modelo creado.

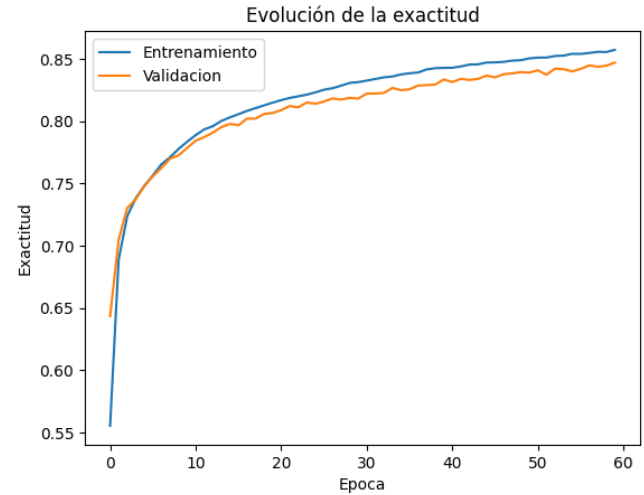


Figura 7: Gráfica de exactitud (Accuracy) de la arquitectura modelo creado.

Para la implementación se pone a prueba el modelo entrenado en un sistema de captura de vídeo en tiempo real, con el cual se pone a prueba el funcionamiento de la red detectando las posiciones de los usuarios que aparecen en la toma como se muestra en la Figura 8.

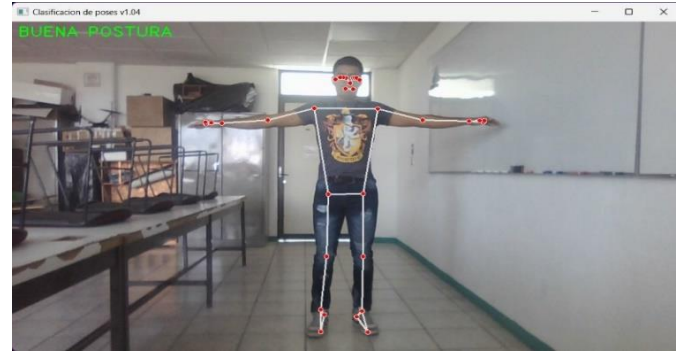


Figura 8: Prueba de implementación del funcionamiento del modelo en vídeo.

En la evaluación se realizaron 500 pruebas para verificar la correcta identificación, combinando 300 imágenes con postura correcta y 200 con postura inadecuada. Los resultados de las pruebas mostraron que de las 300 imágenes con postura correcta se clasificaron 261 como verdadero positivo y 39 con falso positivo, alcanzando un nivel de precisión en la identificación del 87% y respecto a las 200 imágenes de posturas inadecuadas se clasificaron 20 como falso positivo y 180 como verdadero negativo alcanzando un nivel de precisión en la identificación del 90% como lo muestra la matriz de confusión de la Figura 9.

	<b>Imagen con postura correcta (300 en total)</b>	<b>Imagen con postura inadecuada (200 en total)</b>
<b>Identificación de postura correcta</b>	<b>261</b>	<b>20</b>

identificación de postura inadecuada	39	180
--------------------------------------	----	-----

Figura 9: Matriz de confusión de las pruebas realizadas a la arquitectura.

## 6. Conclusiones

Los sistemas de IA aplicados al deporte han sido de gran ayuda para mejorar el rendimiento y técnicas de los deportistas, permitiendo también evitar lesiones por malas prácticas. El sistema presentado en este trabajo integra un sistema de VA, entrenado para reconocer buenas y malas posturas en patinadores profesionales, permitiendo por medio de un software de video detectar y alertar sobre las malas técnicas en la postura base.

El sistema presenta resultados adecuados en la identificación de las posturas con una red entrenada y presentada en el desarrollo de este trabajo de investigación, alcanzando porcentajes por encima del 85% en la precisión de identificación en vídeo.

El desarrollo de sistemas aplicables a diferentes disciplinas deportivas dependerá solo del establecimiento de las mecánicas, técnicas y posiciones que se desea identificar, presentando así una herramienta potencial en la asistencia de los entrenamientos y también una oportunidad de implementación tecnológica que pueda asistir a entrenadores, preparadores físicos y a los mismos deportistas que la usen buscando perfeccionar sus técnicas o mejorar su rendimiento y resultados.

Las conclusiones pueden estar al final de la discusión o en una sección separada como en este ejemplo.

Se deben reflejar las conclusiones más significativas y la importancia práctica del estudio. Las conclusiones son generalizaciones derivadas de los resultados y constituyen los aportes y las innovaciones del estudio realizado.

## 7. Referencias

Annino, G., Bonaiuto, V., Campoli, F., Caprioli, L., Edriss, S., Padua, E., ... & Zanela, A. (2023, September). Assessing sports performances using an artificial intelligence-driven system. In *2023 IEEE International Workshop on Sport, Technology and Research (STAR)* (pp. 98-103). IEEE.

Bin Li, X. X. (2021). Application of Artificial Intelligence in Basketball Sport. *Journal of Education, Health and Sport*, 14.

Bodemer, O. (2023). Enhancing individual sports training through artificial intelligence: A comprehensive review. *Authorea Preprints*.

Chen, Y., Zhu, Y., Papandreou, G., & Yuille, A. (2017). Associative embedding. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 4107-4115).

Chunguang Li, J. C. (2023). Retracted: Intelligent Sports Training System Based on Artificial. *Hindawai*, 12.

Cruz, M. d. (Julio de 14 de 2021). La visión por computadora y las futuras aplicaciones tecnológicas en diversos escenarios. Obtenido de ESPE: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/Academia-de-guerra/article/view/VOL12ART13>

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT press.

He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask R-CNN. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 2961-2969).

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).

Hu, J., Shen, L., & Sun, G. (2018). Squeeze-and-excitation networks. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 7132-7141).

J. Riera, N., P. O., R. N. Verazay, A., Paz, F., Battezzati, V., Chuca, R., . . . Arjona, F. (2020). Técnicas de inteligencia artificial aplicadas a problemas de visión por computadora. *Semantic Scholar*.

Kasper, K. (2019). Sports training principles. *Current sports medicine reports*, 18(4), 95-96.

Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 25, 1097-1105.

Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C.-Y., & Berg, A. C. (2016). SSD: Single shot multibox detector. In *European Conference on Computer Vision* (pp. 21-37). Springer.

Long, J., Shelhamer, E., & Darrell, T. (2015). Fully convolutional networks for semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 3431-3440).

Luckstead, E. F., Satran, A. L., & Patel, D. R. (2002). Sport injury profiles, training and rehabilitation issues in American sports. *Pediatric Clinics*, 49(4), 753-767.

Nadikattu, R. R. (2020). Implementation of new ways of artificial intelligence in sports. *Journal of Xidian University*, 14(5), 5983-5997.

Naik, B. T., Hashmi, M. F., & Bokde, N. D. (2022). A comprehensive review of computer vision in sports: Open issues, future trends and research directions. *Applied Sciences*, 12(9), 4429.

Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An incremental improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*.

Redmon, J., Farhadi, S., & others. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 779-788).

Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 28, 91-99.

Simonyan, K., & Zisserman, A. (2015). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556\**.

Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition.





Viru, A. (2017). *Adaptation in sports training*. Routledge.

Wang, Y., & Yu, Z. (2020). Deep learning for image super-resolution: A survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 42(4), 789-809.

Zhang, R., Isola, P., Efros, A. A., & Heeger, D. J. (2016). Colorful image colorization. In *European Conference on Computer Vision* (pp. 649-666). Springer.

## Análisis predictivo del rendimiento en Cálculo Diferencial a partir de evaluaciones diagnósticas y propedéuticas en estudiantes de Ingeniería

### Predictive Analysis of Performance in Differential Calculus Based on Diagnostic and Preparatory Assessments in Engineering Students

María de la Luz Delgadillo Torres <sup>a</sup>, Mariana Bárcenas Castañeda <sup>a</sup>, Maria de los Ángeles Vargas Hernández <sup>a</sup>,  
Arturo Aguilar Pérez <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Ingeniería Química y Bioquímica, TecNM/ Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, 55210, Ecatepec de Morelos, Estado de México, México.

<sup>b</sup>Centro Tecnológico Aragón, Facultad de Estudios Superiores Aragón, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

#### Resumen

El aprendizaje de las matemáticas en la ingeniería constituye la base para desarrollar competencias de razonamiento lógico, modelación y resolución de problemas. Considerando su importancia, el presente estudio tiene como objetivo analizar el impacto de las evaluaciones diagnósticas e introductorias como predictores del rendimiento en Cálculo Diferencial en estudiantes de nuevo ingreso a ingeniería del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE). Aplicando tres momentos de evaluación: examen inicial (EI), evaluación al término del curso propedéutico (EC) y evaluación final de la asignatura de Cálculo Diferencial (ED). Los resultados mostraron una correlación positiva significativa entre las fases, con un incremento progresivo en las calificaciones y tamaños de efecto grandes según la prueba *t* y el índice de Cohen. El modelo de regresión lineal múltiple presenta 61.6 % de variabilidad en el desempeño final, confirmando la pertinencia de EI y EC como predictores confiables. Estos hallazgos validan la utilidad de implementar diagnósticos tempranos y cursos propedéuticos como herramientas para identificar a estudiantes en riesgo y fortalecer las estrategias docentes.

**Palabras clave:** Evaluación Diagnóstica; Análisis Longitudinal; Regresión Múltiple; Matemáticas en Ingeniería; Análisis Estadístico.

#### Abstract

The learning of mathematics in engineering constitutes the foundation for developing competencies in logical reasoning, modeling, and problem-solving. Considering its importance, the present study aims to analyze the impact of diagnostic and introductory assessments as predictors of performance in Differential Calculus among first-year engineering students at the Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE). Three evaluation stages were applied: initial exam (EI), assessment at the end of the preparatory course (EC), and final evaluation of the Differential Calculus course (ED). The results showed a significant positive correlation among the phases, with a progressive increase in grades and large effect sizes according to the *t*-test and Cohen's *d* index. The multiple linear regression model explained 61.6% of the variability in final performance, confirming the relevance of EI and EC as reliable predictors. These findings validate the usefulness of implementing early diagnostics and preparatory courses as tools to identify at-risk students and strengthen teaching strategies.

**Keywords:** Diagnostic Assessment; Longitudinal Analysis; Multiple Regression; Mathematics in Engineering; Statistical Analysis.

\*Autor para la correspondencia: [ldelgadillo@tese.edu.mx](mailto:ldelgadillo@tese.edu.mx)

**Correo electrónico:** [mbarcenas@tese.edu.mx](mailto:mbarcenas@tese.edu.mx) (Mariana Bárcenas-Castañeda), [maria\\_vargas@tese.edu.mx](mailto:maria_vargas@tese.edu.mx) (María de los Ángeles Vargas-hernández), [arturoaguilar855@aragon.unam.mx](mailto:arturoaguilar855@aragon.unam.mx) (Arturo Aguilar-Pérez).

## 1. Introducción

La matemática constituye un pilar fundamental en la formación de los ingenieros, al ser una disciplina que permite desarrollar competencias de pensamiento lógico, modelación y resolución de problemas en contextos diversos. Su dominio es indispensable para comprender asignaturas como cálculo, álgebra lineal y ecuaciones diferenciales, las cuales sustentan la aplicación de herramientas computacionales, la optimización de procesos y la interpretación de fenómenos en áreas de la ingeniería, la física y la informática, entre otras (Ryan et al., 2025).

En la educación superior, el cálculo diferencial se ha identificado como una de las asignaturas con mayores índices de reprobación y deserción, situación que obedece a la heterogeneidad de los conocimientos previos adquiridos en el nivel medio superior y a la dificultad que enfrentan los estudiantes para establecer conexiones entre sus saberes y las nuevas demandas académicas. Esta problemática afecta la permanencia y éxito en los programas de ingeniería, lo cual justifica la necesidad de contar con mecanismos de predicción temprana que permitan identificar a los estudiantes en riesgo de no aprobar la asignatura para orientarlos de manera oportuna (De Winter & Dodou, 2011).

Las evaluaciones diagnósticas y los cursos propedéuticos son herramientas que manifiestan las fortalezas y debilidades de los estudiantes en el área matemática. Diversas investigaciones han demostrado que los exámenes diagnósticos aplicados en el inicio del primer año universitario son predictores significativos del rendimiento académico, al mismo tiempo aportan información útil para la planeación didáctica (Lee et al., 2008; Hieb et al., 2015). En este sentido, la aplicación de pruebas diagnósticas específicas ha permitido evidenciar que los resultados de los estudios previos no siempre explican de manera suficiente el desempeño en matemáticas avanzadas, por ello, es importante implementar instrumentos de evaluación temprana para fortalecer sus conocimientos (Mahata et al., 2025).

Por otro lado, el análisis de errores matemáticos detectados en pruebas diagnósticas constituye un recurso complementario que posibilita mejorar los procesos de retroalimentación formativa y optimizar las estrategias pedagógicas en ingeniería. La clasificación estructurada de estos errores contribuye a fortalecer la enseñanza y a proponer intervenciones focalizadas, incrementando así la pertinencia del proceso educativo (García, 2025).

Bajo este contexto, el presente estudio se orienta al análisis del impacto de las evaluaciones diagnósticas y propedéuticas como predictores del rendimiento en cálculo diferencial en estudiantes de nuevo ingreso a la carrera de ingeniería. Para tal fin, se aplicaron tres momentos de evaluación en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE): un examen inicial (EI), la evaluación al término del curso propedéutico de matemáticas (EC) y la evaluación final de la

asignatura de cálculo diferencial (ED). Los datos fueron procesados mediante estadística descriptiva, pruebas de hipótesis, análisis de medidas repetidas y regresión múltiple, con el propósito de construir un modelo predictivo que aporte evidencia empírica y que permita fundamentar estrategias docentes y curriculares encaminadas a mejorar la eficiencia terminal y reducir los índices de reprobación en ingeniería.

### 1.1. Procedimientos estadísticos

#### 1.1.1. Coeficiente Alfa de Cronbach

El método de consistencia interna es el más utilizado para estimar la fiabilidad de pruebas, escalas o test; cuando se implementan diferentes reactivos que midan el mismo atributo. El coeficiente Alfa de Cronbach es un modelo de consistencia interna, ampliamente utilizado para establecer la confiabilidad de las correlaciones entre las variables que conforman una escala de apreciación. En la ecuación 1, se muestra la fórmula de obtención del coeficiente alfa de Cronbach (Ledesma et al., 2002; González-Pazmiño, 2015):

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right] \quad (1)$$

Donde:  $\alpha$  es el Coeficiente de confiabilidad,  $K$  representa el número de ítems del instrumento,  $\sum S_i^2$  es la sumatoria de las varianzas de los ítems y  $S_T^2$  es la varianza total del instrumento.

La fiabilidad calculada dependerá del número y la covarianza entre los ítems; es decir, el coeficiente calcula la fiabilidad del test en función de dos términos: el número de ítems (longitud de la prueba) y la proporción de la varianza total de la prueba generada por la covarianza entre sus reactivos (Ledesma et al., 2002). Cabe resaltar que, la consistencia interna se considera aceptable cuando se obtiene un valor de Alfa de Cronbach dentro del intervalo de 0.7-1, en donde el resultado varía con base a la población analizada. Es decir, se considera una relación débil cuando  $\alpha < 0.7$ , aceptable un  $\alpha \geq 0.7$ , bueno si  $\alpha \geq 0.8$  y excelente si  $\alpha \geq 0.9$  (Tuapanta et al., 2017; Oviedo et al., 2005).

#### 1.1.2. Variables descriptivas

##### 1.1.2.1. Medidas de tendencia central

Las medidas de tendencia central son parámetros estadísticos empleados para resumir un conjunto de valores, expresado en un solo término numérico. Asimismo, como su nombre lo indica, es el elemento ubicado en el centro del conjunto de valores; las medidas comúnmente utilizadas son: media, mediana y moda, las cuales se describen a continuación (Quevedo, 2011):

a) **Media.** La media o promedio aritmético ( $\mu$ ), es la suma de todos los datos dividido entre el número de datos; tal como se muestra en la Ecuación 2.

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N} \quad (2)$$



En la cual,  $\sum_1^N X_i$  es la suma del dato 1 hasta N datos y  $N$  es el Número total de datos.

- b) **Mediana.** Es el valor de la variable que se encuentra en la posición central, al ordenar los valores de acuerdo con su magnitud.
- c) **Moda.** Es el valor que se repite con mayor frecuencia en la serie de datos.

#### 1.1.2.2. Medidas de variabilidad

Las medidas de variabilidad o dispersión son números que indican la movilidad entre la variable con respecto a otra. Los valores de variabilidad son utilizados para resumir en un valor único, la dispersión presente entre una serie de datos. Las medidas de variabilidad más comunes son: rango, desviación estándar y varianza (Quevedo, 2011).

- a) **Rango.** Es la diferencia entre la variable de mayor valor y la de menor valor. Es decir; Máximo-Mínimo.
- b) **Varianza.** Se simboliza como  $\sigma^2$  o  $S^2$ , se define como la media de las diferencias cuadradas de  $n$  elementos con respecto a su media aritmética, tal como se presenta en la Ecuación 3.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N} \quad (3)$$

En donde  $X_i$  es la observación número  $i$  de la variable  $\bar{X}$  es el promedio o media de la variable y  $N$  es el número total de datos.

- c) **Desviación estándar.** Medida de dispersión que indica la diferencia con respecto a la media. Específicamente, es la raíz cuadrada de la varianza, Ecuación 4:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (4)$$

#### 1.1.3. Prueba de hipótesis

La hipótesis de investigación es una posible respuesta a la pregunta de indagación; dicha respuesta, puede ser verdadera o falsa. Por lo cual, la investigación se desarrolla para calcular el valor correspondiente a la hipótesis de investigación; esto es, se efectúan estudios para obtener resultados que den respuesta a la pregunta de investigación y que al mismo tiempo contribuyan para establecer si las suposiciones planteadas son refutadas o aceptadas. Para demostrar la validez de una hipótesis, es necesario establecer el término de hipótesis estadísticamente (Inzunsa-Jiménez, 2013; Escalante, 2010).

En el mismo orden, cambiar el enfoque de Neyman-Pearson, instituye que las pruebas de hipótesis se plantean como un proceso de decisión de dos conjeturas. Es decir, se considera una hipótesis alternativa ( $H_1$ ) como la negación o propuesta contraria a la hipótesis nula ( $H_0$ ). Las regiones de rechazo y aceptación se definen de acuerdo con la distribución muestral del estadístico de prueba y considerando los siguientes tipos de errores (Inzunsa-Jiménez, 2013; Escalante, 2010):

- **Error tipo 1:** Rechazar  $H_0$  cuando  $H_0$  sea verdadera. Es decir, la probabilidad dependerá del nivel de significancia;  $P(\text{rechazar } H_0 | H_0 \text{ es cierta}) = \alpha$  (nivel de significancia).
- **Error tipo 2:** No rechazar  $H_0$  cuando  $H_0$  sea falsa. Es decir, la probabilidad dependerá del nivel de significancia;  $P(\text{rechazar } H_0 | H_0 \text{ es falsa}) = \beta$

El nivel de significancia se determina antes de realizar la prueba estadística y permite establecer los límites que separan la región de rechazo y la de no rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ ). Si el valor obtenido en la prueba cae dentro de la región de rechazo, se concluye que la  $H_0$  debe rechazarse; en caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula (Inzunsa-Jiménez, 2013; Escalante, 2010).

#### 1.1.4. Prueba t de Student

La prueba t de Student (Ecuación 5) para muestras relacionadas es un procedimiento estadístico ampliamente utilizado para comparar dos dimensiones estudiadas sobre el mismo grupo de estudio. Permitiendo establecer si la diferencia observada entre las medias alcanzadas en dos momentos de la valoración es significativa, considerando la hipótesis nula como la igualdad de medias. En el ámbito educativo, se emplea para determinar el efecto de una intervención didáctica o curso propedéutico al diferenciar los resultados previos y posteriores de los estudiantes en una misma asignatura (Kim, 2015). La fórmula general para el estadístico  $t$  en muestras dependientes es:

$$t = \frac{\bar{D}}{\frac{S_D}{\sqrt{n}}} \quad (5)$$

En la cual,  $\bar{D}$  es la media de las diferencias entre pares de observaciones,  $S_D$  desviación estándar de las diferencias y  $n$  el número de pares de observaciones.

#### 1.1.5. Tamaño del efecto de Cohen ( $d$ )

El tamaño del efecto es una medida estadística que cuantifica la magnitud de las diferencias entre dos grupos o condiciones de estudio. El índice  $d$  de Cohen (Ecuación 6), se interpreta de acuerdo con los siguientes rangos:  $d=0$  a  $d=0.4$  corresponde a un efecto pequeño,  $d \geq 0.5$  a un efecto mediano y  $d \geq 0.8$  un efecto grande. Su empleo en investigaciones educativas facilita la identificación del impacto real de las estrategias de enseñanza sobre el rendimiento académico (Lakens, 2013; Sullivan-Feinn, 2012).

$$d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p} \quad (6)$$

Considerando que,  $\bar{X}_1, \bar{X}_2$  son las medias de los dos grupos o mediciones y  $S_p$  es la desviación estándar combinada.

#### 1.1.6. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk

La prueba de Shapiro-Wilk (W), es implementada para verificar el supuesto de normalidad en los datos, especialmente cuando el tamaño de la muestra es pequeño o moderado. Evaluando la hipótesis nula considerando los valores de distribución normal (Ecuación 7). Un valor  $p \geq 0.05$  indica que no se rechaza la normalidad, mientras que un valor

inferior indica desviaciones significativas. Su aplicación es fundamental para determinar la pertinencia de las pruebas paramétricas en la comparación de medias (Razali-Wah, 2011).

$$W = \frac{[\sum_{i=1}^n a_i X_{(i)}]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (7)$$

Sabiendo que,  $X_{(i)}$  son los valores ordenados de menor a mayor,  $a_i$  coeficientes obtenidos de los valores esperados de una distribución normal estándar y  $n$  es el número de observaciones.

#### 1.1.7. Prueba de Friedman

La prueba de Friedman (Ecuación 8), es una técnica estadística no paramétrica que se utiliza para comparar tres o más mediciones relacionadas sobre un mismo grupo de sujetos, asimismo, permite identificar si existen diferencias significativas entre las medianas de las mediciones. En investigaciones educativas, se utiliza para evaluar la evolución del rendimiento académico en diferentes momentos de un curso o programa (Eisinga et al., 2017).

$$x_F^2 = \frac{12}{nk(k+1)} \sum_{j=1}^k R_j^2 - 3n(k+1) \quad (8)$$

Considerando que,  $k$  es el número de condiciones o fases y  $R_j$  es la suma de rangos para la condición  $j$ .

#### 1.1.8. Coeficiente de concordancia de Kendall ( $W$ )

El coeficiente de concordancia de Kendall ( $W$ ) es implementado para determinar que tanto coinciden en la valoración varios sujetos en diferentes fases de medición aplicada al mismo conjunto de estudio. Su valor varía entre 0 y 1, donde un valor cercano a la unidad refleja una alta concordancia. El coeficiente (Ecuación 9), permite establecer la consistencia de los resultados obtenidos en distintos momentos de evaluación y valorar si la progresión de los estudiantes mantiene un patrón estable (Legendre, 2005; Tomczak & Tomczak, 2014).

$$W = \frac{12S}{k^2(n^3 - n)} \quad (9)$$

El termino  $S$  representa la suma de cuadrados de las desviaciones de las sumas de los rangos respecto a su media (Ecuación 10).

$$S = \sum_{j=1}^k \left[ R_j - \frac{n(k+1)}{2} \right]^2 \quad (10)$$

#### 1.1.9. Regresión lineal múltiple y colinealidad (VIF)

La regresión lineal múltiple es un método estadístico que permite predecir el valor de una variable dependiente a partir de la combinación de dos o más variables independientes. El ajuste del modelo se realiza mediante el procedimiento de mínimos cuadrados ordinarios y su capacidad explicativa se mide con el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el cual señala la proporción de la variabilidad de la variable dependiente

atribuible a los predictores. Cuando existe una alta correlación entre las variables independientes puede surgir el problema de colinealidad, afectando la interpretación de los coeficientes estimados. Para detectar este problema se calcula la inflación de la varianza (VIF), en el cual los valores mayores a 10 evidencian una colinealidad considerable. El modelo de regresión múltiple se define en la Ecuación 11 (Akinwande et al., 2015; Hair et al., 2019):

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad (11)$$

En donde  $\hat{Y}$  es la variable dependiente,  $\beta_0$  constante (intercepto del modelo),  $\beta_1$  y  $\beta_2$  coeficiente de regresión,  $x_1$  y  $x_2$  variables independientes. Los coeficientes y la constante se calculan por medio de mínimos cuadrados ordinarios (OLS), como se presenta en las Ecuaciones 12.

$$\sum Y = n\beta_0 + \beta_1 \sum x_1 + \beta_2 \sum x_2 \quad (12a)$$

$$\sum x_1 Y = \beta_0 \sum x_1 + \beta_1 \sum x_1^2 + \beta_2 \sum x_1 x_2 \quad (12b)$$

$$\sum x_2 Y = \beta_0 \sum x_2 + \beta_1 \sum x_1 x_2 + \beta_2 \sum x_2^2 \quad (12c)$$

La Ecuación 12a representa la suma de los valores observados de la variable dependiente ( $Y$ ) en función de la constante y las variables independientes ponderadas por sus coeficientes. La Ecuación 12b se obtiene al multiplicar la ecuación del modelo (Ecuación 11) por  $x_1$ , obteniendo la relación entre  $Y$  y la primera variable independiente  $x_1$ . Finalmente, la Ecuación 12c se obtiene de manera análoga al multiplicar la Ecuación 11 por  $x_2$ , estableciendo la relación entre  $Y$  y la segunda variable independiente  $x_2$ . Estas tres ecuaciones simultáneas conforman el sistema normal de ecuaciones que permite estimar los parámetros  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$  mediante la resolución algebraica del modelo de regresión lineal múltiple.

Donde “ $Y$ ” es la variable de respuesta introductorio. Considerando el error aleatorio, calculado como (Ecuación 13):

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad (13)$$

En el mismo tenor, la bondad de ajuste se evalúa con el coeficiente de determinación (Ecuación 14). Estadístico que mide la proporción de la variabilidad total de la variable dependiente que es explicada por el modelo de regresión. Su valor es de 0 a 1, donde valores cercanos a la unidad indican un mayor ajuste del modelo a los datos observados.

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (14)$$

El termino  $SSE$  es la suma de cuadrado del error y  $SST$  la suma total de cuadrados.

La colinealidad se analiza mediante el factor de inflación de varianza (VIF), calculado por medio de la Ecuación 15.

Valores de VIF cercanos a 1 indican ausencia de colinealidad, mientras que valores superiores a 10 sugieren un nivel de colinealidad elevado. El VIF se utiliza para verificar que las variables independientes aporten información complementaria y no redundante, asegurando la estabilidad de los coeficientes de regresión y la validez de las inferencias (Akinwande et al., 2015; Hair et al., 2019).

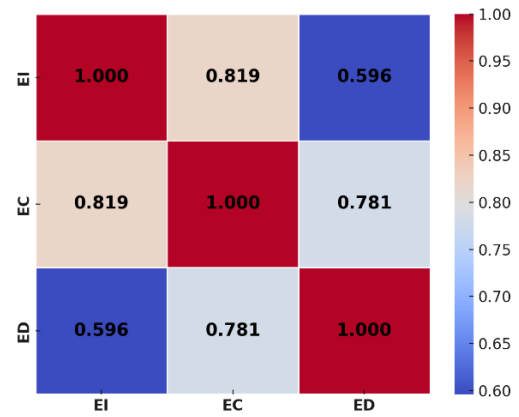
$$VIF = \frac{1}{1 - R^2} \quad (15)$$

## 2. Materiales y Método

La muestra de estudio está integrada por 26 estudiantes de nuevo ingreso a ingeniería del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE), institución perteneciente al Tecnológico Nacional de México (TecNM). El estudio consistió en aplicar un examen inicial (EI), evaluación al termino curso introductorio de matemáticas (EC) y evaluación al final de curso de Cálculo Diferencial (ED). Para el criterio de apreciación se aplicó una rubrica de evaluación que considera aspectos generales como: desarrollo algebraico, aplicación de fórmulas y obtención del correcto resultado.

La rúbrica de evaluación fue validada estadísticamente, por medio del software Minitab-19, obteniendo una consistencia interna de 0.72 de Coeficiente Alfa de Cronbach, lo cual indica que existe una aceptable relación entre los parámetros y los niveles de valoración. Adicionalmente se calculó la matriz de correlación de Pearson de los tres momentos de valoración (Tabla 1). En la cual, se observa una fuerte correlación positiva entre EI-EC ( $r=0.819$ ), indicativo de que los educandos que poseen una evaluación inicial satisfactoria alcanzaron un promedio aprobatorio al término del curso introductorio (EC). De forma semejante, la correlación entre EC-ED es elevada ( $r=0.781$ ), confirmando que esta fase es un predictor sólido del rendimiento posterior. En cambio, la correlación entre EI-ED fue moderada ( $r=0.596$ ), lo cual refleja que el diagnóstico por sí solo no predice con suficiente fuerza el desempeño final. Los valores positivos de Pearson indican que los momentos de la valoración poseen una relación directa. La determinación del Coeficiente Alfa de Cronbach y la validez de relación Pearson, establecen la pertinencia y confiabilidad del instrumento aplicado para la determinación temprana del desempeño en Cálculo Diferencial.

Tabla 1. Matriz de correlación de Pearson (diagrama de calor).



Para el tratamiento muestral se calculó análisis de variables descriptivas, prueba de hipótesis, normalidad de diferencias, análisis de medidas repetidas y construcción del modelo predictivo, utilizando el software Minitab-19.

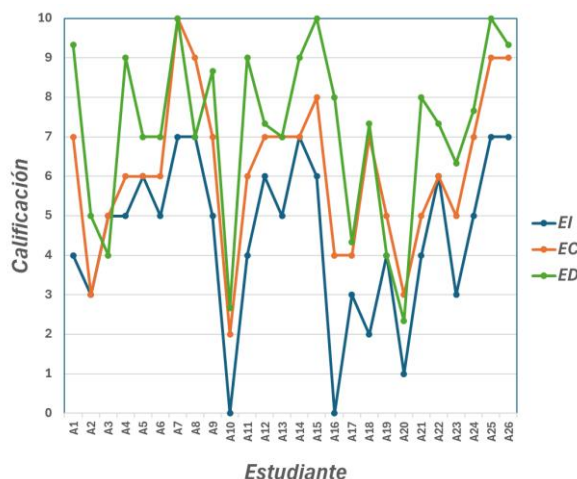
La Figura 1, presenta de forma esquemática el procedimiento experimental.



Figura 1. Procedimiento experimental.

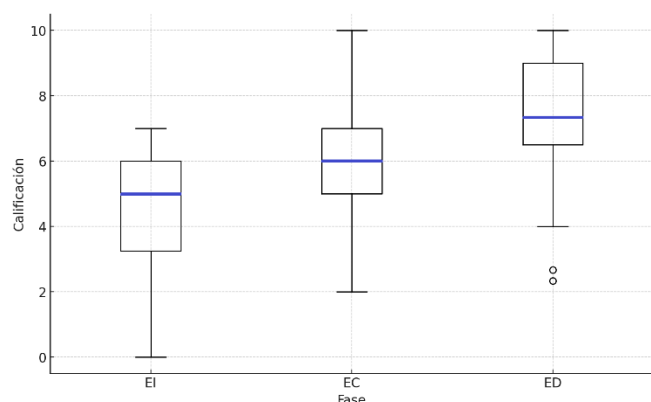
### 3. Resultados y Discusión

Utilizando la rúbrica de evaluación se determinó las calificaciones de forma individual, para las evaluaciones iniciales (EI y EC) y valoración al término del curso de Cálculo Diferencial (ED) como se muestra en la Gráfica 1.



Gráfica 1. Evaluación individual en cada etapa de estudio.

Las evaluaciones, mostraron que en la etapa de evaluación inicial (EI) 65.4% de los estudiantes poseen calificaciones que se encuentran dentro del intervalo de 3-6 puntos, la evaluación al término del curso introductorio (EC) 61.6% de los estudiantes obtuvo de 5-7 y final del curso de Cálculo Diferencial 57.7% de los educandos alcanzo de 6-9 puntos (Gráfica 2).



Gráfica 2. Distribución de calificaciones por fase.

La Gráfica 2, es un diagrama de caja que muestra la evolución de las calificaciones alcanzadas en cada etapa de estudio. En la cual, se aprecia un desplazamiento ascendente, lo cual confirma la mejora progresiva del grupo.

Con las evaluaciones, se calcularon los estadísticos descriptivos de las tres etapas analizadas (Tabla 2). Se aprecia un incremento progresivo en la media y mediana de las calificaciones del examen inicial, la evaluación final del propedéutico y la calificación final del curso de Cálculo Diferencial. Mientras que la calificación máxima fue mayor

en ED comparada con la evaluación inicial. La desviación estándar se mantiene aproximadamente en 2,0 unidades, indicando que las calificaciones de los estudiantes se dispersan alrededor de  $\pm 2$  puntos con respecto a la media. Asimismo, los valores cercanos a 2,0 de la desviación estándar indica que la disparidad del grupo se mantuvo relativamente constante a lo largo de todo el proceso.

Tabla 2. Estadística descriptiva.

	Media	Mediana	SD	Calificación Mínima	Calificación Máxima
EI	4.5	5	2.08	0.0	7
EC	6.15	6	1.99	2.0	10
ED	4.18	7.33	2.23	3.0	10

Consecutivamente, se efectuó la interacción entre las etapas EI-EC, EC-ED y EI-ED (Tabla 3) para calcular la prueba t y p empleando un nivel de significancia  $\alpha < 0.05$  y 25 grados de libertad ( $gl = n - 1$ , donde  $n = 26$ ). Considerando el efecto de Cohen (0.2 pequeño, 0.5 mediano, 0.8 grande). Adicionalmente, se determinó el cambio promedio entre las etapas (Media-Dif). La Tabla 3, muestra incrementos significativos en todas las comparaciones. Específicamente, la interacción EI-EC alcanzo un incremento +1.65, con  $p = 0$  y  $d = 1.34$ , EC-ED obtuvo un aumento +1.03,  $p = 0.001$  y  $d = 0.72$ , mientras que, EI-ED presento un incremento de +1.38,  $p = 0$  y  $d = 1.38$ . Los tamaños del efecto de Cohen son grandes, confirmando que las mejoras en el desempeño académico son significativas y relevantes.

Tabla 3. Prueba t, p y Cohen.

Interacción	t	p	IC 95% Baja	IC 95% Alta	Media-Dif	Cohen (d)
EI-EC	-6.85	0.000	1.18	2.13	1.65	1.34
EC-ED	-3.69	0.001	0.48	1.57	1.03	0.72
EI-ED	-7.03	0.000	1.93	3.43	2.68	1.38

Por otro lado, la Tabla 4, presenta los coeficientes de ajuste de normalidad Shapiro-Wilk (W) para las diferencias entre fases, considerando un nivel de significancia de  $p > 0.05$  (normalidad aceptada) y 26 como numero de diferencias evaluadas. Los resultados revelan que la diferencia entre EC-EI no sigue una distribución normal ( $W = 0.89$ ,  $p = 0.008$ ), por el contrario, ED-EC ( $W = 0.98$ ,  $p = 0.953$ ) y ED-EI ( $W = 0.97$ ,  $p = 0.543$ ) siguen una distribución normal, asegurando que los resultados de la prueba t son válidos y confiables.

Tabla 4. Normalidad de diferencias (Shapiro-Wilk).

Diferencia	W	p
EC-EI	0.89	0.008
ED-EC	0.98	0.953
ED-EI	0.97	0.543

También se realizó el análisis de medidas repetidas por medio de la prueba de Friedman ( $X^2$ ) y el coeficiente de concordancia de Kendall's (W). Obteniendo un valor de

Friedman  $X^2 = 34.93$  y  $p < 0.001$ , implementado  $gl=2$  y  $\alpha < 0.05$ . Mientras que, el coeficiente de concordancia es  $W=0.672$  obtenido por medio del número de estudiantes ( $N=26$ ) y número de fases ( $k=3$ ), la proximidad a la unidad de  $W$  indica una concordancia alta, sustancial y un efecto de tamaño grande, consiste con el orden de las fases EI, EC y ED. Lo cual, se confirma por medio de la prueba ANOVA, cuyo valor es  $F(2,50) = 39.03$  con  $p < 0.001$ .

### 3.1. Predicción académica

Mediante la aplicación de las ecuaciones 11 y 12, correspondientes al método de regresión lineal múltiple, se definió a  $\hat{Y}$  como la calificación esperada al concluir la asignatura de Cálculo Diferencial (ED),  $x_1=EI$  y  $x_2=EC$ . Obteniendo  $\beta_0 = 1.688$  ( $p = 0.090$ ),  $\beta_1 = -0.141$  ( $p = 0.566$ ) y  $\beta_2 = 0.995$  ( $p = 0.0006$ ); en los cuales  $\beta_0$  y  $\beta_1$  no se consideran significativos debido a que  $p > \alpha$ . Alcanzando una bondad de ajuste  $R^2 = 0.616$ , es decir, que el modelo explica el rendimiento final en cálculo vectorial en un 61.6%; el cual se considera alto para investigaciones educativas (Ozili,2023). El modelo predictor, posee un factor de inflación de varianza  $VIF=17$ , indicativo de una colinealidad muy alta entre EI y EC para predecir ED ( $\hat{Y}$ ) por medio de la Ecuación 16.

$$\hat{Y} = 1.688 - 0.141(EI) + 0.995(EC) \quad (16)$$

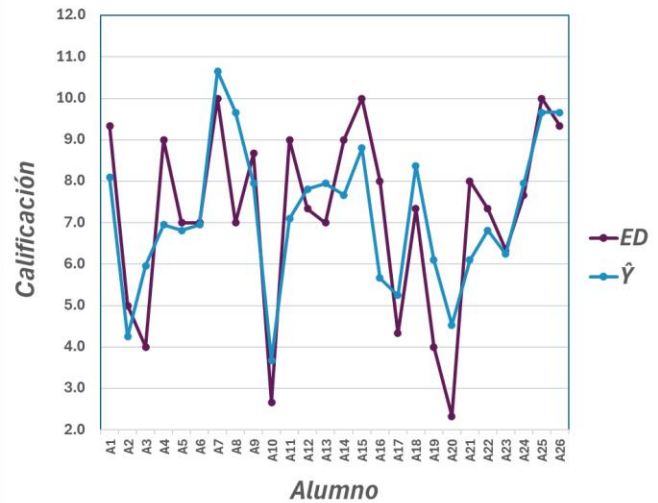
La Ecuación 16 permite realizar una predicción temprana del desempeño en cálculo diferencial a partir de las valoraciones iniciales. La Tabla 5 presenta el cálculo de las predicciones por medio de la Ecuación 16 y la obtención de la desviación correspondiente a cada participante, obtenidos mediante la aplicación de la Ecuación 13.

Tabla 5. Predicción y valores de desviación individual.

Alumno	EI	EC	ED	$\hat{Y}$	$e_i$
A1	4	7	9.3	8.1	1.2
A2	3	3	5.0	4.3	0.8
A3	5	5	4.0	6.0	-2.0
A4	5	6	9.0	7.0	2.0
A5	6	6	7.0	6.8	0.2
A6	5	6	7.0	7.0	0.0
A7	7	10	10.0	10.7	-0.7
A8	7	9	7.0	9.7	-2.7
A9	5	7	8.7	7.9	0.7
A10	0	2	2.7	3.7	-1.0
A11	4	6	9.0	7.1	1.9
A12	6	7	7.3	7.8	-0.5
A13	5	7	7.0	7.9	-0.9
A14	7	7	9.0	7.7	1.3
A15	6	8	10.0	8.8	1.2
A16	0	4	8.0	5.7	2.3
A17	3	4	4.3	5.2	-0.9

A18	2	7	7.3	8.4	-1.0
A19	4	5	4.0	6.1	-2.1
A20	1	3	2.3	4.5	-2.2
A21	4	5	8.0	6.1	1.9
A22	6	6	7.3	6.8	0.5
A23	3	5	6.3	6.2	0.1
A24	5	7	7.7	7.9	-0.3
A25	7	9	10.0	9.7	0.3
A26	7	9	9.3	9.7	-0.3

Con los valores de la Tabla 5, se construyó la Gráfica 3. En la cual, se aprecia la comparación entre las calificaciones reales alcanzadas en la asignatura de Cálculo Diferencial (ED) y el aprovechamiento estimado ( $\hat{Y}$ ) por medio del modelo de regresión lineal múltiple. En general, las curvas presentan una tendencia semejante, confirmando que el modelo explica apropiadamente la variabilidad de los datos ( $R^2 = 0.616$ ). Asimismo, se observa diferencias entre las curvas correspondientes a los residuos calculados de forma individual, los cuales no interfieren significativamente para predecir el comportamiento del grupo. La tendencia semejante entre las curvas respalda la pertinencia del uso de evaluaciones diagnósticas (EI) y del curso introductorio (EC) como predictores tempranos del rendimiento terminal de la asignatura de Cálculo Diferencial.



Gráfica 3. Comparación entre desempeño académico (ED) y valores estimados ( $\hat{Y}$ ).

## 4. Conclusiones

La presente investigación aporta evidencia sobre la pertinencia de las evaluaciones iniciales como predictores del desempeño en Cálculo Diferencial en estudiantes de nuevo ingreso a ingeniería. La aplicación conjunta de pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas, junto con el cálculo del coeficiente Alfa de Cronbach y la correlación de Pearson, permitió garantizar la consistencia interna de los instrumentos y la validez de las inferencias. Los resultados evidencian que las evaluaciones diagnósticas y propedéuticas

constituyen un recurso eficaz para predecir el rendimiento terminal en Cálculo Diferencial, permitiendo efectuar intervenciones tempranas y oportunas en estudiantes que se encuentran en riesgo académico. Asimismo, el modelo predictivo propuesto representa una aportación metodológica que puede orientar la planeación curricular y la toma de decisiones pedagógicas en ingeniería.

## 5. Referencias

- Akinwande, M., Dikko, H. & Samson, A. (2015). Variance Inflation Factor: As a condition for the inclusion of suppressor variable(s) in regression analysis. *Open Journal of Statistics*, 5(7), 754–767. <https://doi.org/10.4236/ojs.2015.57075>
- De Winter, J. & Dodou, D. (2011). Predicting academic performance in engineering using high school exam scores. *International Journal of Engineering Education*, 27(6), 1343–1351. [https://www.ijee.ie/articles/Vol27-6/19\\_ijee2519ns.pdf](https://www.ijee.ie/articles/Vol27-6/19_ijee2519ns.pdf)
- Escalante C. (2010). Prueba de hipótesis frente a intervalos de confianza. *Ciencia y Tecnología para la salud Visual y Ocular*, 8(2), 145–149.
- Eisinga, R., Heskes, T., Pelzer, B., & Te Grotenhuis, M. (2017). Exact p-values for pairwise comparison of Friedman rank sums, with application to comparing classifiers. *BMC Bioinformatics*, 18(1), 68.
- García, M. (2025). Classification of common mathematical errors using the AHP process for formative assessment in engineering students. *Education Sciences*, 15(7), 827. <https://doi.org/10.3390/educsci15070827>
- González A. & Pazmiño M. (2015). Cálculo e interpretación del Alfa de Cronbach para el caso de validación de la consistencia interna de un cuestionario, con dos posibles escalas tipo Likert. *SSOAR Open Access Repository*. 2(1), 62–67.
- Hair, J., Black, W., Babin, B., & Anderson, R. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
- Hieb, J., Lyle, K., Ralston, P. & Chariker, L. (2015). Predicting performance in a first engineering calculus course. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 46(1), 40–55. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2014.936976>
- Inzunza S. & Jiménez J. (2013). Caracterización del razonamiento estadístico de estudiantes universitarios acerca de las pruebas de hipótesis. *Revista latinoamericana de investigación matemática educativa*, 6(2), 179–211. <https://doi.org/10.12802/relime.13.1622>
- Kim, T. (2015). T test as a parametric statistic. *Korean Journal of Anesthesiology*, 68(6), 540–546. <https://doi.org/10.4097/kjae.2015.68.6.540>
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4, 863. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>
- Ledesma, R., Molina G. & Valero P. (2002). Análisis de consistencia interna mediante Alfa de Cronbach: un programa basado en gráficos dinámicos. *Psico-USF*, 7(2), 143–152.
- Lee, S. Harrison, M., Pell, G. & Robinson, C. (2008). Predicting performance of first year engineering students and the importance of assessment tools therein. *Journal of the Higher Education Academy*, 3(1), 44–51. <https://doi.org/10.11120/ened.2008.03010044>
- Legendre, P. (2005). Species associations: The Kendall coefficient of concordance revisited. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 10(2), 226–245. <https://doi.org/10.1198/108571105X46642>
- Mahata, A., Mohd, Z., Mistima, S. & Razali, N. (2025). An Early Detection of Students Mathematical Competency in Engineering. *Jurnal Kejuruteraan*, 37(4), 107–118. <https://www.ukm.my/jkukm/wp-content/uploads/2025/3704/07.pdf>
- Oviedo, H. & Campo, A. (2005). Aproximación del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista colombiana de Psiquiatría*, XXXIV (4), 572–580.
- Ozili, P. (2023). The acceptable R-squared in empirical social science research. *Munich Personal RePEc Archive (MPRA) Paper No. 115769*. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/115769>
- Quevedo, F. (2011). Medidas de tendencia central y dispersión. *Medware*, 9(3), 1–6.
- Razali, N. & Wah, Y. (2011). Power comparisons of Shapiro–Wilk, Kolmogorov–Smirnov, Lilliefors and Anderson–Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21–33.
- Ryan, O., Sajadi, S., Barrera, S. & Tavakoli, R. (2025). Understanding the Effects of a Math Placement Exam on Calculus 1 Enrollment and Engineering Persistence. *Education Sciences*, 15(2), 154. <https://doi.org/10.3390/educsci15020154>
- Sullivan, G. & Feinn, R. (2012). Using effect size-or why the p value is not enough. *Journal of Graduate Medical Education*, 4(3), 279–282. <https://doi.org/10.4300/JGME-D-12-00156.1>
- Tomczak, M., & Tomczak, E. (2014). The need to report effect size estimates revisited: An overview of some recommended measures of effect size. *Trends in Sport Sciences*, 1(21), 19–25.
- Tuapanta, D., Duque, V. & Mena, R. (2017). Alfa de Cronbach para validar un cuestionario de uso de TIC en docentes universitarios. *Descubre*, 37–48. Recuperado de <https://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/9807>



# Aplicación de un modelo de clustering para el análisis del comportamiento de usuarios de la banca en línea para la clasificación de riesgos cibernéticos

## Application of a clustering model for the analysis of online banking user behavior for cyber risk classification.

Jasmin-Estephany Guerrero-Lora 

*"Licenciatura en Tecnologías de la Información y Comunicación, Universidad Nacional Rosario Castellanos, 07969, Ciudad de México, México."*

### Resumen

Este estudio se centra en la relación entre los hábitos de los usuarios de banca en línea y su susceptibilidad a ciberataques dentro del sistema bancario mexicano. En un contexto de creciente digitalización de los servicios financieros, se identifica el problema de cómo determinadas prácticas de los usuarios pueden incrementar los riesgos de ser víctimas de fraude financiero. Se utilizó una metodología cuantitativa mediante la aplicación de una encuesta diseñada para descubrir patrones de comportamiento de riesgo entre los usuarios de banca en línea para con ello crear una clasificación utilizando el método de clustering k-means. Los resultados revelaron que hábitos como el uso de conexiones inseguras, la falta de software de seguridad y las malas prácticas de gestión de contraseñas están directamente relacionados con una mayor incidencia de fallos de seguridad. El estudio concluye con recomendaciones para mejorar la educación y las políticas de seguridad dirigidas a los usuarios, así como estrategias para que las entidades financieras refuercen sus sistemas frente a ciberataques.

**Palabras clave:** Clustering K-Means, análisis del comportamiento, riesgo cibernético, prevención de fraudes bancarios

### Abstract

This study focuses on the relationship between online banking users' habits and their susceptibility to cyberattacks within the Mexican banking system. In a context of increasing digitalization of financial services, the problem of how certain user practices can increase the risks of being victims of financial fraud is identified. A quantitative methodology was used through the application of a survey designed to discover patterns of risk behavior among online banking users in order to create a classification using the k-means clustering method. The results revealed that habits such as the use of insecure connections, lack of security software, and poor password management practices are directly related to a higher incidence of security breaches. The study concludes with recommendations to improve education and security policies aimed at users, as well as strategies for financial institutions to strengthen their systems against cyberattacks.

**Keywords:** keyword 1, Clustering K-Means, behavioral analysis, cyber risk, bank fraud prevention

### 1. Introducción

El sistema bancario mexicano ha experimentado una transformación significativa en las últimas décadas y ha adoptado tecnologías digitales para mejorar la eficiencia y la accesibilidad de sus servicios (Trillo del Pozo & Alonso Gallo, 2021). Este cambio ha resultado en un aumento en el uso de la banca en línea, que permite a los usuarios realizar transacciones financieras desde la comodidad de sus hogares.

Sin embargo, la digitalización también ha atraído a actores maliciosos que buscan explotar vulnerabilidades en los sistemas de seguridad para llevar a cabo ataques cibernéticos (Quintero Peña & Mejía Baños, 2021). Los ataques cibernéticos en el sistema bancario mexicano han mostrado una tendencia al alza, con un aumento en la frecuencia e intensidad de los incidentes (Realpe & Cano, 2020). Las instituciones financieras han enfrentado una variedad de amenazas, que incluyen el phishing, ransomware y ataques a la infraestructura de red (Capeta Mondoñedo et al., 2023). Los

\*Autor para la correspondencia: [yazlora476@gmail.com](mailto:yazlora476@gmail.com)

Correo electrónico: [yazlora476@gmail.com](mailto:yazlora476@gmail.com) (Jasmin Estephany Guerrero Lora)

**Historial del manuscrito:** recibido el 22/07/2025, última versión-revisada recibida el 16/10/2025 aceptado el 18/10/2025, publicado el 06/11/2025. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17545595>

atacantes no solo buscan robar información financiera valiosa, sino que también intentan socavar la confianza en el sistema bancario (Leiva, 2015). La vulnerabilidad en línea puede tener consecuencias negativas para el bienestar psicológico de un usuario (Moran-Fuentes et al., 2022; Varchetta et al., 2020). Es importante que las instituciones financieras mejoren sus estándares de seguridad y adopten estrategias más efectivas para protegerse contra estos ataques (Realpe & Cano, 2020).

En el contexto descrito, la ciberseguridad en el sector bancario se ha convertido en un aspecto crucial para garantizar la integridad y la confianza en el sistema financiero (Capeta Mondoñedo et al., 2023). Las instituciones financieras almacenan una gran cantidad de información sensible, incluyendo datos personales y detalles de transacciones financieras. Un ataque exitoso podría resultar en la pérdida de grandes sumas de dinero, así como en daños a la reputación de la institución afectada (Moran-Fuentes et al., 2022). Además, la confianza de los clientes en la banca en línea podría disminuir significativamente, lo que tendría un impacto negativo en la adopción de estos servicios (Capeta Mondoñedo et al., 2023). Por lo tanto, fortalecer la ciberseguridad en las instituciones financieras no es solo una cuestión de proteger los activos financieros, sino también de mantener la confianza en el sistema bancario en su conjunto (Capeta Mondoñedo et al., 2023). Las instituciones deben adoptar estrategias de ciberseguridad proactivas, implementando las últimas tecnologías y prácticas de seguridad para prevenir, detectar y responder a los ataques cibernéticos de manera efectiva (Leiva, 2015).

Los ataques cibernéticos en el sistema bancario no son un fenómeno nuevo, sino que han ido evolucionando a lo largo de los años con el aumento de la digitalización de los servicios financieros (Negro & Pons, 2022). Los años 90 marcaron el comienzo de los ataques cibernéticos a bancos, aunque eran menos sofisticados que los actuales, ya se evidenciaban intentos de fraude y robo de información (Sastré, 2022). Con el auge del internet en la década del 2000, los ataques se volvieron más frecuentes y sofisticados (Manssur Nicola, 2023). Uno de los casos más emblemáticos fue el ataque a Bangladesh Bank en 2016, donde los delincuentes lograron robar 81 millones de dólares a través de transferencias fraudulentas (White & Lee, 2021). Este incidente puso de manifiesto la necesidad urgente de fortalecer las medidas de ciberseguridad en el sector bancario (Riveros, 2020). Otro ejemplo significativo fue el ataque a Banco de Chile en 2018, donde un malware fue utilizado para distraer y luego robar 10 millones de dólares (Poveda, 2020).

La historia de los ataques cibernéticos en el sistema bancario mexicano refleja un crecimiento constante y una evolución en la sofisticación y en la magnitud de los incidentes (Cisneros Zepeda, 2021). A finales de la década de los 2000 y principios de la década de 2010, los bancos en México comenzaron a experimentar los primeros ataques cibernéticos significativos, en su mayoría, enfocados en el fraude en línea y el robo de credenciales de los clientes (Rodríguez, 2017). Durante esos años, los delincuentes cibernéticos aprovecharon principalmente las debilidades en los sistemas de autenticación y en la falta de conciencia de seguridad entre los usuarios para realizar transacciones

fraudulentas (Cisneros Zepeda, 2021). Un punto de inflexión se produjo en 2013, cuando los bancos mexicanos experimentaron un aumento en los ataques de phishing, que buscaban engañar a los usuarios para que revelaran sus credenciales bancarias en línea (Guaña-Moya et al., 2022).

En 2018, el sistema bancario mexicano fue víctima de un ataque cibernético sin precedentes, conocido como el "Ciberataque a la Banca Mexicana", en el que los delincuentes lograron infiltrarse en el sistema de pagos interbancarios del país, realizando transferencias ilícitas por un monto total de 15 millones de dólares (Leyva Reus, 2019). Este ataque puso de manifiesto la necesidad urgente de mejorar las medidas de ciberseguridad en el sector bancario y generó una respuesta significativa tanto por parte de las autoridades como de los propios bancos (Admati, 2014). Los incidentes continuaron ocurriendo en los años siguientes, demostrando que, a pesar de los esfuerzos para mejorar la seguridad, los sistemas bancarios aún eran vulnerables (Juárez, 2017). Estos ataques han tenido un impacto significativo en la forma en que los bancos y las autoridades mexicanas abordan la ciberseguridad, lo que ocasionó una mayor inversión en tecnologías de seguridad y la implementación de regulaciones más estrictas para proteger tanto a las instituciones financieras como a sus clientes (Camhaji, 2018). La historia de los ataques cibernéticos en México ilustra claramente la magnitud del problema y la necesidad imperante de adoptar estrategias de ciberseguridad más robustas y eficientes (Redacción, 2018).

El objetivo principal de este trabajo es analizar los elementos que influyen en la severidad de los ataques cibernéticos en el sistema bancario desde el punto de vista de los usuarios e identificar las áreas más vulnerables y proponer estrategias de mitigación de riesgos. Al entender las tácticas, técnicas y procedimientos utilizados por los atacantes, las instituciones financieras pueden mejorar sus defensas y responder de manera más efectiva a los incidentes de seguridad (Realpe & Cano, 2020). Este análisis no solo se limita a los aspectos técnicos, sino que también incluye el comportamiento humano y las prácticas organizativas, ya que estos factores juegan un papel crucial en la seguridad cibernética (Moran-Fuentes et al., 2022). La justificación para este estudio radica en la creciente dependencia de la banca en línea y la necesidad de proteger tanto los activos financieros como la información personal de los clientes (Gavilanes L et al., 2021). Al mejorar las estrategias de ciberseguridad, se contribuye a fortalecer la resiliencia del sistema bancario frente a los ataques cibernéticos, garantizando así la confianza de los usuarios y la estabilidad del sistema financiero (Realpe & Cano, 2020).

## 2. Materiales y Método

Se llevó a cabo un diseño transversal del tipo descriptivo para profundizar en los hábitos de uso de la banca en línea. Se estudiaron diferencias potencialmente asociadas al género y edad en las variables analizadas. La investigación tiene de igual manera un componente correlacional dado que se exploró la relación entre las diferentes prácticas de

ciberseguridad y la distribución de las respuestas dadas a las preguntas categóricas como el uso de redes públicas, la frecuencia con que se cambia la contraseña de acceso a la banca, así como con las sugerencias de los bancos con relación a la ciberseguridad.

### 2.1. Instrumento

Para llevar a cabo este estudio se diseñó una encuesta que permite indagar sobre los hábitos y comportamientos al usar la banca móvil que podrían incidir en la vulnerabilidad ante ataques cibernéticos. El cuestionario estaba compuesto por 30 preguntas algunas abiertas y otras cerradas con opciones de respuesta tipo Likert.

Las variables evaluadas fueron: frecuencia de uso de la banca móvil, tipo de actividades realizadas (consultas, transferencias, pagos, etc.), lugar de acceso (casa, trabajo, lugares públicos), dispositivo utilizado (teléfono inteligente, tableta, computadora), hábitos de seguridad (uso de antivirus, contraseñas seguras, etc.), experiencia previa con ataques o intentos de fraude, y conocimiento sobre medidas de protección al usar la banca móvil. El instrumento se puede consultar en la siguiente liga: <https://forms.gle/3QTdGfQM7veL84Pg8>

El instrumento investiga el comportamiento de los usuarios de la banca móvil y en línea en cuanto a los hábitos de uso, el tipo de operaciones y actividades que se realizan con más frecuencia, los lugares desde donde se accede a la cuenta de banco, que hábitos y precauciones se toman para incrementar la seguridad y si han tenido experiencias previas de ataques o intentos de fraude.

### 2.2. Participantes

La muestra estuvo conformada por 300 usuarios de la banca móvil en México, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. Los criterios de inclusión fueron: 1) ser mayor de 18 años, 2) ser usuario activo de la banca móvil de al menos un banco mexicano. No se consideraron variables sociodemográficas adicionales a la edad y el género en la selección de participantes. En las Figuras 1 y 2 se observa que la muestra estuvo compuesta por 95 mujeres y 205 hombres con edad comprendidas entre 19 y 59 años edad en donde se tuvo una edad promedio de 23.10 años y una desviación estándar de 5.52 años.

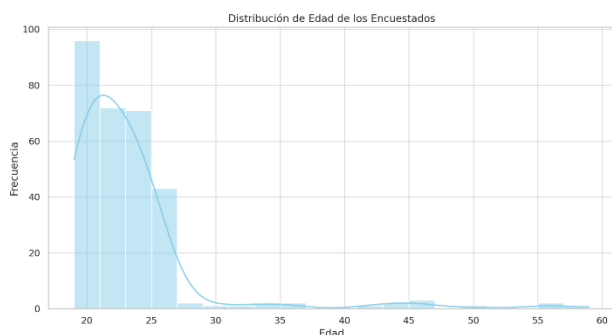


Figura 1: Distribución de edad de los 300 encuestados con una edad mínima de 19 años y una edad máxima de 59.

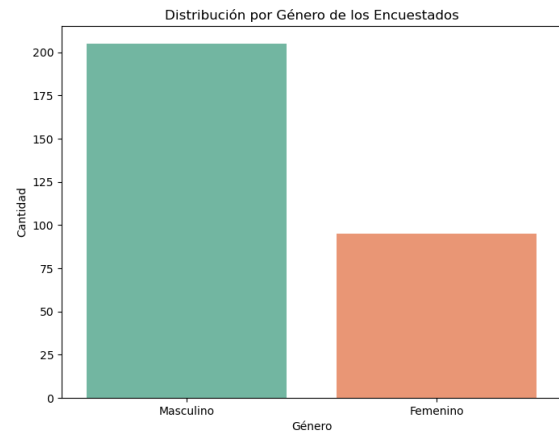


Figura 2: Distribución por género de los encuestados donde se obtuvieron 95 mujeres y 205 hombres.

### 2.3. Procedimiento

La encuesta fue contestada de forma anónima y confidencial por los participantes mediante un formulario virtual diseñado en Google Forms. El enlace al cuestionario fue compartido a través de redes sociales y grupos de usuarios de banca móvil y algunas escuelas de educación superior donde se aplicó de manera presencial.

Previo a contestar, los participantes debían otorgar su consentimiento informado. No se ofreció ningún incentivo por participar. Los datos fueron recolectados durante un periodo de dos meses y posteriormente exportados y capturados para su análisis.

### 2.4. Análisis de datos

Los datos fueron analizados con estadística descriptiva utilizando Python versión 3.8 como lenguaje de programación de scripts. Se obtuvieron frecuencias, porcentajes, medias y desviaciones estándar para describir los hábitos y comportamientos de los usuarios de la banca móvil. También se realizaron comparaciones de medias entre grupos y análisis de correlaciones para determinar relaciones entre variables. El propósito fue caracterizar el perfil de uso y los hábitos de seguridad de los usuarios, así como determinar comportamientos de riesgo que podrían incidir en la efectividad de ataques cibernéticos al sistema bancario.

La metodología del análisis incluyó las siguientes fases:

- Análisis descriptivo. Estadísticas descriptivas para analizar medidas de tendencia central y dispersión para las variables cuantitativas. Análisis de frecuencias para analizar la distribución de las respuestas para las preguntas categóricas.
- Análisis de relaciones entre variables. Correlaciones para identificar si hay alguna correlación entre diferentes comportamientos o prácticas de ciberseguridad. Análisis de contingencia que permitió examinar la relación entre dos variables categóricas.

- Identificación de Patrones o Tendencias. Para ello se utilizó el clustering k-means con técnicas de agrupamiento para identificar grupos de individuos con comportamientos similares. Análisis de tendencias para verificar si hay tendencias en el tiempo respecto a las prácticas de ciberseguridad.
- Evaluación de riesgos. Identificación de comportamientos de riesgo determinando qué prácticas están más asociadas con riesgos de ciberseguridad.
- Recomendaciones para mejorar la seguridad. Basado en los resultados, se proporcionan recomendaciones para mejorar las prácticas de ciberseguridad

### 3. Resultados

Con los análisis descriptivos se obtuvieron los siguientes resultados de acuerdo con las respuestas a las preguntas de la encuesta:

- El 81% de los encuestados no ha sido víctima de algún fraude financiero. Solo el 19% reportó haber sido víctima.
- La transacción realizada con mayor frecuencia es transferencia bancaria (46% de los encuestados).
- El 72% considera la ciberseguridad como "Muy Importante", mientras que el 24% la considera "Importante". Solo un 4% la consideró "Poco Importante".
- El 49% cree que la responsabilidad de la ciberseguridad en el sistema bancario es compartida entre el banco, el gobierno y el usuario.
- El 36% cambia su contraseña de banca en línea una vez al año. Solo el 13% la cambia cada 6 meses.
- El 68% utiliza las aplicaciones oficiales de su banco para evitar ser víctima de fraude.
- El 62% protege su teléfono móvil con contraseña.
- El 49% considera que el precio de los antivirus es accesible.
- El 85% sigue las recomendaciones de seguridad de su banco.
- El 67% toma en cuenta las notificaciones de alerta de seguridad que recibe.
- El 54% renueva su equipo celular cada 18 meses y su computadora cada 18 meses también.

Con el análisis de frecuencias se observa que la mayoría de los participantes son jóvenes, con una edad promedio de alrededor de 23 años. Hay más hombres que mujeres en la muestra. La gran mayoría de los participantes no han sido víctimas de fraude financiero como usuarios del sistema bancario mexicano, sólo 37 participantes han sido víctimas de fraude. Muchos participantes no cambian su contraseña de la banca en línea con frecuencia. La mayoría sigue las recomendaciones de seguridad de su banco y actualiza su sistema operativo cuando reciben notificaciones. Hay una cantidad considerable de personas que utilizan redes públicas y/o abiertas para navegar en internet, 42%, lo cual puede ser un riesgo de seguridad.

En el análisis de correlaciones entre variables cuantitativas y algunas variables categóricas que fueron codificadas para el análisis como las respuestas a las preguntas "¿Sigues las recomendaciones de seguridad de su banco?" o "¿Utiliza redes públicas y/o abiertas para navegar en internet?" para analizar su relación con la edad, se tuvieron los resultados mostrados en la Fig. 3.

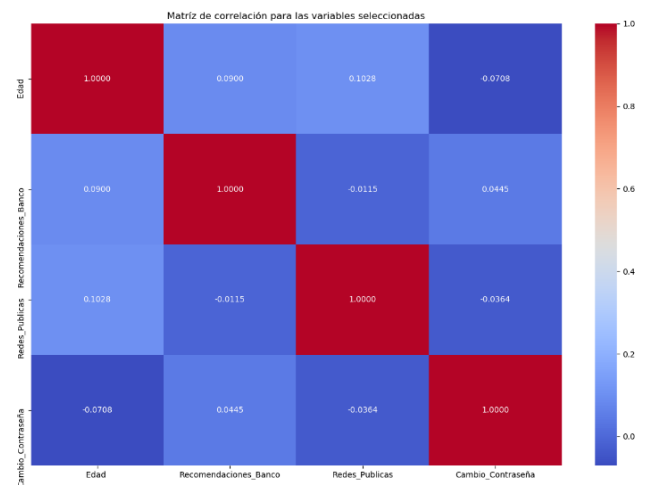


Figura 3. Matriz de correlación entre las variables: frecuencia de cambio de contraseña, sigue las recomendaciones de seguridad del banco, uso de redes públicas para el acceso al banco y la edad.

En las variables edad y seguir las recomendaciones de seguridad del banco hay una correlación positiva muy débil. Las personas mayores tienden a seguir ligeramente más las recomendaciones de seguridad de su banco. Se observa que en la relación entre la edad y el utilizar redes públicas hay una correlación positiva muy débil. Las personas mayores tienden ligeramente a usar menos redes públicas y/o abiertas para navegar en internet. En el último caso sobre la frecuencia de cambio de contraseña hay una correlación negativa también muy débil. Las personas mayores tienden a cambiar sus contraseñas de banca en línea con más frecuencia.

La correlación más fuerte se observa entre la edad y el uso de redes públicas, lo que sugiere que las personas mayores podrían ser más conscientes de la importancia de no utilizar redes públicas para el acceso a los servicios de banca en línea. Las otras correlaciones son bastante débiles, lo que indica que no hay una relación lineal fuerte entre la edad y estas prácticas de ciberseguridad.

Posteriormente en el análisis de contingencia entre ser víctima de fraude bancario o financiero con las variables de la frecuencia de cambio de contraseña, uso de redes públicas para navegar en internet y seguir las recomendaciones de seguridad del banco se tuvieron los resultados mostrados en las tablas I, II y III.

En cuanto a la frecuencia de cambio de contraseña se tiene que de los que cambian la contraseña cada año, el 18% ha sido víctima de fraude. El 24% de los que cambian la contraseña cada 6 meses, ha sido víctima de fraude financiero. Dado que no parece haber una relación fuerte entre estas variables se realizó el estadístico de Chi-Cuadrado para la tabla de contingencia mostrada en la tabla 1 y se obtuvo un valor de chi-cuadrada de 0.6757 con un valor p igual 0. 8788, lo cual es mucho mayor que 0.05. Esto sugiere que no hay una relación estadísticamente significativa entre la frecuencia con la que las personas cambian sus contraseñas de la banca en línea y si han sido víctimas de fraude financiero. Lo que significa que, de acuerdo con los datos de la encuesta, cambiar las contraseñas con más o menos frecuencia no parece tener un impacto significativo en el riesgo de experimentar fraude financiero.

Tabla 1: Análisis de contingencia: Ser víctima de fraude y frecuencia de cambio de contraseña

Víctima de Fraude Financiero	Frecuencia de cambio de contraseña			
	Cada año	Cada seis meses	Una vez al mes	Otro
No	94	35	30	104
Si	11	5	4	17

Tabla 2: Análisis de contingencia: Ser víctima de fraude y seguimiento de las recomendaciones de seguridad del banco

¿Usted ha sido víctima de algún fraude financiero?	¿Sigue las recomendaciones de seguridad del Banco?	
	No	Si
No	56	9
Si	207	28

El estadístico de Chi-Cuadrado arrojó un valor 0. 00424 con un valor p de 0. 08367 lo cual es mucho mayor que 0.05. Esto también significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de independencia entre ser víctima de un fraude financiero y el seguimiento de las recomendaciones de seguridad del banco. En otras palabras, no se encontró una relación estadísticamente significativa entre haber sido víctima de fraude financiero y seguir las recomendaciones de seguridad del banco en este conjunto de datos.

Tabla 3: Análisis de contingencia: Ser víctima de fraude y uso de redes públicas y/o abiertas para navegar en internet

¿Usted ha sido víctima de algún fraude financiero?	¿Utiliza redes públicas o abiertas para navegar en Internet?	
	No	Si
No	153	21
Si	110	16

Para el estadístico de Chi-Cuadrado se obtuvo un valor de 0.0002 y el valor para p fue 0.9886 lo cual también es mucho mayor que 0.05. Esto significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de independencia entre ser víctima de un fraude financiero y el uso de redes públicas y/o abiertas para navegar en internet. En otras palabras, no se encontró una relación estadísticamente significativa entre haber sido víctima de fraude financiero y el uso de redes públicas y/o abiertas para navegar en internet en este conjunto de datos.

Tabla 4. Análisis de contingencia: Ser víctima de fraude y frecuencia de instalación de actualizaciones del sistema

¿Usted ha sido víctima de algún fraude financiero?	Frecuencia en la instalación de actualizaciones del sistema			
	Cada 6 meses	Cada mes	Cada vez que llegan notificaciones	Nunca
No	74	78	110	1
Si	9	9	19	0

En este análisis de contingencia se obtuvo un valor para el estadístico de Chi-Cuadrado de 1.3138 y un valor p de 0.7258, lo cual es mayor que 0.05. Esto significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de independencia entre ser víctima de un fraude financiero y la frecuencia de instalación de actualizaciones del sistema. En otras palabras, no se encontró una relación estadísticamente significativa entre haber sido víctima de fraude financiero y la frecuencia de instalación de actualizaciones del sistema en este conjunto de datos.

En la exploración de algunas variables con relación a haber sido víctima de un fraude financiero, no se encontraron relaciones estadísticamente significativas en este conjunto de datos.

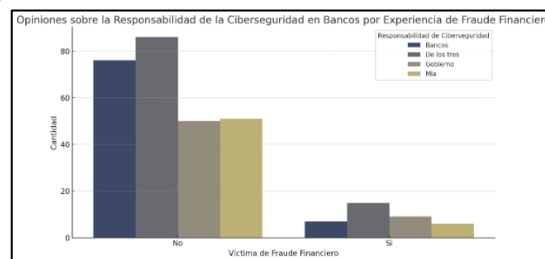


Figura 4. Opiniones sobre la responsabilidad de ciberseguridad dada la experiencia de fraude financiero.

Los análisis sobre las opiniones de quién debería ser responsable de la ciberseguridad en el sistema bancario se obtienen dos perspectivas clave (Fig. 4), como resultado de la experiencia de haber sido víctima de fraude hay una clara influencia en la percepción sobre quién debería asumir la responsabilidad de la ciberseguridad en el sector financiero. El resultado permite entender cómo las experiencias personales y las percepciones generales influyen en las opiniones sobre la ciberseguridad bancaria.

Para encontrar la relación entre la edad y haber sido víctima de fraude financiero se utilizó la prueba de Mann-Whitney U dado que no es posible asumir que la distribución de las



edades sea normal, una prueba no paramétrica como Mann-Whitney U resultó apropiada para comparar las distribuciones de edad entre los dos grupos. La edad promedio de las víctimas de fraude financiero es de 23.62 años y la edad promedio de las personas no víctimas de fraude financiero es de 23.02 años. El estadístico U arrojó un valor de 4,290.0 con valor de  $p$  igual a 0.12 que al ser mayor que 0.05, significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de que las distribuciones de edad son iguales entre los que han sido víctimas de fraude financiero y los que no lo han sido. En otras palabras, no se encontró una diferencia estadísticamente significativa en las edades entre las víctimas de fraude financiero y las no víctimas en este conjunto de datos. Aunque la edad promedio es ligeramente mayor en el grupo de víctimas de fraude financiero, esta diferencia no es estadísticamente significativa. Esto sugiere que, aunque puede haber una tendencia, no se podría afirmar con certeza que la edad esté relacionada con ser víctima de fraude financiero basándonos en este conjunto de datos.

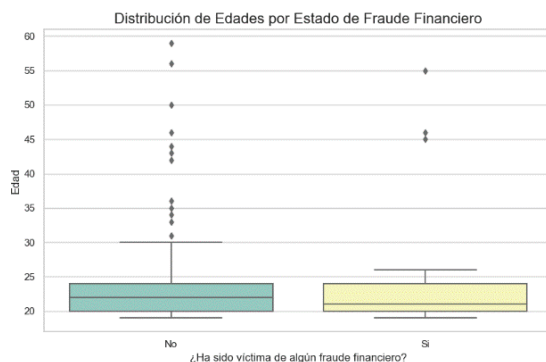


Figura 5. Distribución de las edades entre los dos grupos: aquellos que han sido víctimas de fraude financiero y aquellos que no lo han sido.

Se identificaron algunas tendencias en las prácticas de ciberseguridad de los encuestados. La mayoría sigue las recomendaciones de seguridad de su banco, pero también hay un uso significativo de redes públicas y/o abiertas para navegar en internet. Además, la frecuencia de cambio de contraseña y de instalación de actualizaciones del sistema varía entre los encuestados.

La identificación de patrones o tendencias en un conjunto de datos implica analizar las variables y sus relaciones para descubrir información útil o insights. En ese sentido, el análisis de clustering o agrupamiento se utilizó para segmentar los datos en grupos basados en las respuestas a las preguntas relacionadas con las prácticas de ciberseguridad.

Se utilizó el método del codo para determinar un número adecuado de clusters o grupos lo que implica graficar la suma de las distancias al cuadrado de cada punto a su centro asignado para varios valores de  $k$  (número de clusters) y buscar el "codo" en la gráfica. En el análisis de clustering se utilizó el modelo no jerárquico K-Means utilizando la librería scikit-learn.

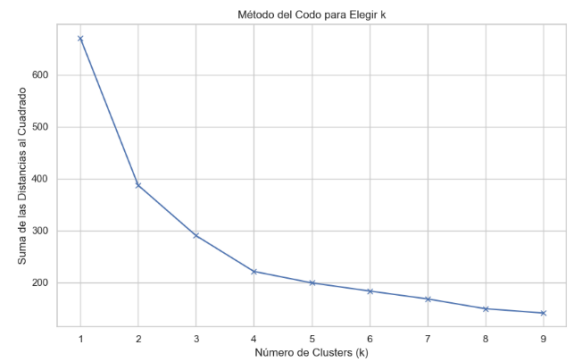


Figura 6. Gráfica del método del codo para determinar el número de clusters  $k$  en el método de agrupamiento.

Se observa un cambio significativo en la pendiente de la gráfica en  $k=4$ , lo que sugiere que 4 podría ser un buen número de clusters o grupos para este conjunto de datos, la disminución en la suma de las distancias al cuadrado se vuelve más gradual, indicando que añadir más clusters no mejora significativamente la compactación de los datos, por lo que se decidió utilizar 4 para el valor de  $k$ .

Se aplicó el análisis de clusters K-Means para identificar patrones o tendencias y que pudieran ayudar a responder las preguntas: ¿Hay diferencias significativas en las prácticas de ciberseguridad entre los clusters?, ¿Cómo varían las características demográficas (edad, sexo) entre los clusters?, ¿Hay una prevalencia de fraude financiero en algunos de los clusters?

Tabla 5. Valores más frecuentes de las respuestas categóricas para cada grupo. Columna A: Frecuencia de cambio de contraseña de la banca en línea. Columna B: Seguir las recomendaciones de seguridad del banco. Columna C: Uso de redes públicas para navegar. Columna D: Frecuencia de instalación de actualizaciones del sistema.

Grupo	A	B	C	D
Grupo 1	Cada año	Si	No	Cada mes
Grupo 2	Otro	Si	No	Cada mes
Grupo 3	Cada año	Si	No	Cada que llegan notificaciones
Grupo 4	Otro	Si	Si	Cada que llegan notificaciones

Todos los grupos tienen una alta tendencia a seguir las recomendaciones de seguridad de sus bancos. Los tres primeros grupos tienden a no usar redes públicas y/o abiertas para navegar en internet, mientras que el Grupo 4 tiene una frecuencia del 50% en uso de redes públicas. El Grupo 1 y el Grupo 2 tienden a cambiar su contraseña de la banca en línea cada año, mientras que los Grupo 3 y 4 tienen una tendencia diferente (categoría "Otro"). Ambos grupos, Grupo 1 y Grupo 2 tienden a instalar actualizaciones del sistema cada mes mientras que los Grupos 3 y 4 lo realizan cada vez que llegan las notificaciones.

Posteriormente se llevó a cabo el análisis de características demográficas y experiencia con fraude financiero en cada

grupo con lo que se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 6.

Basado en las características encontradas en cada subgrupo se pudo definir ciertos rasgos que nos ayudan a perfilarlos, el Grupo 1 es el de usuarios indiferentes pero responsables ya que no cambian contraseña ni instalan actualizaciones de manera regular, pero si evitan las redes abiertas y siguen las recomendaciones del banco; el Grupo 2 son usuarios jóvenes y moderados debido a que es el grupo donde prevalece una edad más baja de todos los grupos y que siguen las recomendaciones del banco, no se conectan a redes publica e instalan las actualizaciones; el Grupo 3 está conformado por usuarios cautos pero confiados porque instalan actualizaciones, no usan redes publicas y siguen las recomendaciones del banco, pero no cambian de contraseña de manera frecuente. Por último, el Grupo 4 consiente en usuarios precavidos pero arriesgados porque se conectan a redes abiertas a pesar de seguir las recomendaciones del banco e instalar actualizaciones.

Tabla 6. Análisis de las características demográficas H(Hombre), M(Mujer) y experiencia con fraude en los grupos arrojados por el método de K-Means

Grupo	Edad prom.	Dist. de edades	H %	M %	Fraude financiero	
Grupo 1	22.5 años	Dispersas, con una frecuencia significativa de 19,20, 30 y 40 años	71.3	28.7	No 89.6	Si 10.4
Grupo 2	21.87 años	Distribución más concentrada en 20 años	68.4	31.3	89.2	10.8
Grupo 3	24.71 años	Distribución más amplia desde los 20 a los 56 años	65.5	34.5	87.9	12.1
Grupo 4	23.92 años	Distribución más dispersa desde los 19 a los 59 años	66.7	33.3	83.3	16.7

#### 4. Discusión

La elección del muestreo no probabilístico por conveniencia nos permitió realizar este estudio en un periodo corto de tiempo (dos meses), así como reducir los costos de la investigación sin comprometer la viabilidad del trabajo. Asimismo, al ser diseñado con un enfoque transversal del tipo descriptivo, los resultados obtenidos de la encuesta sobre ciberseguridad y fraude financiero proporcionan una perspectiva única sobre las prácticas de seguridad de los usuarios en el contexto del sistema bancario mexicano. La discusión que sigue se basa en la interpretación de estos resultados en relación con los objetivos originales de la

investigación, las hipótesis planteadas y su alineación con el conocimiento existente en el ámbito de la ciberseguridad financiera.

La segmentación de los participantes en cuatro grupos principales reveló patrones distintivos en las prácticas de ciberseguridad. Notablemente, aquellos agrupados en el Grupo 4 mostraron una mayor tendencia al uso de redes públicas y abiertas para navegar en internet, lo cual coincide con una ligeramente mayor incidencia de haber sido víctimas de fraude financiero (Chawla, 2022). Esta relación refuerza la noción bien establecida en la literatura de seguridad informática de que las redes no seguras son vectores de amenazas potenciales y pueden incrementar la vulnerabilidad a ataques fraudulentos (Cremer et al., 2022).

En el análisis de las prácticas de ciberseguridad, las características demográficas y la experiencia con fraude financiero en cada uno de los grupos identificados por el algoritmo K-Means. Basados en las respuestas a las preguntas y los grupos generados, se pueden identificar algunas acciones o actividades que podrían aumentar el riesgo de fraude financiero. Es importante tomar en cuenta que estos son patrones observados en los datos y no implican necesariamente una relación causal directa. Las acciones o actividades que podrían aumentar el riesgo de fraude financiero son principalmente el uso de redes públicas y/o abiertas para navegar en Internet: Se observa que el Grupo 4, el cual tiene una mayor prevalencia de haber sido víctima de fraude financiero, tiende a usar redes públicas y/o abiertas para navegar en internet. Este comportamiento puede aumentar el riesgo de exposición a ataques maliciosos y fraude (Cremer et al., 2022).

Contrario a la hipótesis inicial, la frecuencia de cambio de contraseña no mostró una relación directa con la incidencia de fraude financiero en los clusters identificados (Soltani et al., 2023). Sin embargo, la esta nula correlación no significa que por ello no se deba de cambiar la contraseña con cierta frecuencia dado que existen prácticas como el Phishing que son usadas para crear bases de datos con todo tipo de información (bancaria, de redes sociales, empresarial, etc.); por lo cual es muy recomendable que a pesar de no ser víctima de fraude se actualicen y/o modifiquen las credenciales de autenticación para mantener prácticas robustas en la gestión de contraseñas, las cuales son ampliamente recomendadas por expertos en seguridad (Maurer & Nelson, 2021). En la frecuencia de cambio de contraseña de la banca en línea que, aunque no se observó una relación clara con el fraude financiero, mantener prácticas seguras de gestión de contraseñas, como cambiarlas regularmente y utilizar contraseñas fuertes, es crucial para la seguridad en línea debido a las filtraciones y/o robo de bases de datos a las instituciones que manejan información financiera directa o indirectamente (Maurer & Nelson, 2021).

Se observa que las víctimas de fraude financiero tienden a ser ligeramente mayores en promedio. Sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa en la muestra. Esto podría deberse a que los adultos mayores tienen un bajo conocimiento en el uso de las TIC's provocando que los ataques sean más efectivos, caso contrario es el de los jóvenes que suelen estar más conectados por medio del internet volviéndolos más vulnerables. Y dado los resultados que

obtuvimos podríamos dejar esto pendiente para que realizar un trabajo que verifique estas hipótesis.

Dado que no se encontró correlación entre ser víctima de fraude financiero y seguir las recomendaciones de seguridad del banco podríamos decir que los ciberataques se están concentrando en el usuario final a través de ataques de ingeniería social, por ello se debería de realizar una investigación que nos permita profundizar y analizar cuál de ellos es el más utilizado para definir estrategias que nos ayuden a subsanar y mejorar las recomendaciones que los bancos emiten.

Pero como conclusión se recomienda evitar el uso de redes públicas para transacciones financieras o acceder a información sensible, al mismo tiempo es recomendable seguir las recomendaciones de seguridad del banco, aunque la mayoría de los participantes indicaron seguir las recomendaciones de seguridad de su banco, también es importante mantener el software actualizado, asegurándose de instalar actualizaciones del sistema y de las aplicaciones dado que ello puede ayudar a protegerse contra vulnerabilidades de seguridad.

Sorprendentemente, la edad promedio más alta en el Grupo 3 sugiere que puede haber una relación entre la edad y la susceptibilidad al fraude financiero, aunque este hallazgo no fue estadísticamente significativo en el conjunto de datos. Es posible que este resultado sea un artefacto del tamaño de la muestra o de factores no medidos en la encuesta, lo cual subraya la necesidad de una investigación más profunda en esta área.

Los hallazgos respaldan y amplían el conocimiento actual en ciberseguridad, especialmente en el contexto del comportamiento de los usuarios finales (Cremer et al., 2022). El uso predominante de redes inseguras como factor de riesgo destaca la importancia crítica de la conciencia y educación en ciberseguridad (Chawla, 2022). Además, el seguimiento de las recomendaciones de seguridad del banco, que fue una práctica común entre los encuestados, demuestra un nivel de diligencia que debe ser continuamente fomentado (Gotelaere & Paoli, 2022).

La literatura actual en ciberseguridad financiera y comportamiento del consumidor sugiere que las prácticas de seguridad personal son esenciales para mitigar el riesgo de fraude (Cremer et al., 2022; Kannelønning & Katsikas, 2023). Nuestros resultados corroboran estas afirmaciones y sugieren que, aunque los usuarios pueden ser conscientes de las recomendaciones de seguridad, todavía existen brechas en la aplicación constante de estas prácticas, como se evidencia en el uso de redes públicas (Chawla, 2022).

Fomentar la educación y la concienciación sobre ciberseguridad puede ayudar a reducir el riesgo de fraude financiero, especialmente en grupos demográficos más susceptibles (Machín Nieva Gazapo, 2016). Identificar y mitigar los riesgos de fraude financiero es crucial para proteger la seguridad financiera y la información personal (Aguilar Antonio & Aguilar Antonio, 2021). Las prácticas seguras de navegación en internet, junto con la educación y la concienciación sobre ciberseguridad, son componentes clave

para reducir estos riesgos (Aguilar Antonio & Aguilar Antonio, 2021; Machín Nieva Gazapo, 2016).

Los análisis sobre los comportamientos de seguridad ofrecen una visión detallada en varios aspectos:

- Frecuencia de Cambio de Contraseñas de Banca en Línea: En el gráfico de la figura 5 se muestra cómo los encuestados varían en la frecuencia con la que cambian sus contraseñas de banca en línea. Esta información es crucial para entender las prácticas de seguridad de contraseña entre los usuarios.
- Uso de Redes Públicas y/o Abiertas para Navegar en Internet: El análisis revela el porcentaje de usuarios que utilizan redes públicas o abiertas para navegar en internet, lo cual es un factor importante en la seguridad en línea.
- Frecuencia de Instalación de Actualizaciones del Sistema: la frecuencia con la que los usuarios instalan actualizaciones del sistema, un comportamiento clave en la protección contra amenazas de seguridad.

## 5. Conclusiones

Los resultados de este estudio enfatizan la relevancia de las estrategias preventivas en ciberseguridad, tales como evitar redes inseguras y seguir las recomendaciones de seguridad bancaria. Además, resaltan la importancia de la educación continua y la conciencia sobre la ciberseguridad como herramientas cruciales en la lucha contra el fraude financiero. Para fortalecer la seguridad financiera en línea, las instituciones financieras y los responsables de la formulación de políticas deben considerar estos hallazgos y trabajar hacia el fortalecimiento de la infraestructura de seguridad digital y las iniciativas de educación del consumidor.

Dado que una gran mayoría considera la ciberseguridad como muy importante, sería beneficioso implementar programas de educación y conciencia sobre ciberseguridad específicos para usuarios bancarios. Esto podría incluir consejos sobre cómo detectar fraudes, la importancia de actualizar regularmente las contraseñas y el uso seguro de redes públicas.

- Promoción de Buenas Prácticas de Seguridad: Fomentar el cambio regular de contraseñas y el uso de contraseñas más complejas que integren caracteres especiales y alfanuméricos. A pesar de que muchos usuarios no cambian sus contraseñas con frecuencia, educar sobre los riesgos asociados a esto puede fomentar mejores prácticas.
- Uso de Antivirus y Actualizaciones de Seguridad: Animar a los usuarios a instalar y mantener actualizados los programas de antivirus, dada su percepción como eficientes y accesibles. Además, promover la instalación regular de actualizaciones del

sistema, ya que ayudan a proteger contra vulnerabilidades de seguridad.

- **Responsabilidad Compartida en Ciberseguridad:** Resaltar la importancia de la responsabilidad compartida entre bancos, gobierno y usuarios en la ciberseguridad. Esto puede incluir campañas que muestren cómo cada parte contribuye a un sistema bancario más seguro.
- **Enfoque en la Seguridad Móvil y de Computadoras:** Ofrecer recomendaciones sobre seguridad en dispositivos móviles y computadoras, especialmente considerando que muchos usuarios renuevan sus dispositivos cada 12 a 18 meses. Esto podría incluir el uso seguro de aplicaciones bancarias y la protección de dispositivos con contraseñas o autenticación biométrica.
- **Alertas y Recomendaciones de Seguridad del Banco:** Aprovechar el hecho de que la mayoría sigue las recomendaciones de seguridad de su banco para proporcionar consejos frecuentes y actualizados sobre ciberseguridad. Asimismo, se recomienda atenderlas de manera pronta para evitar que hagan un daño mayor.
- **Investigación y Desarrollo de Seguridad:** Para bancos y entidades gubernamentales, es crucial seguir invirtiendo en tecnologías de seguridad y en investigaciones para mantenerse al día con las amenazas cambiantes en ciberseguridad.

Estas sugerencias pueden ayudar a mejorar la seguridad general y la conciencia sobre ciberseguridad entre los usuarios bancarios. Es vital que tanto las instituciones bancarias como los usuarios trabajen juntos para garantizar un entorno seguro y protegido.

Mientras que este estudio proporciona una visión valiosa de las prácticas de ciberseguridad, también reconoce las limitaciones inherentes a la naturaleza auto informada de los datos y el alcance del análisis. Investigaciones futuras deberían buscar expandir la muestra y considerar el análisis longitudinal para observar cómo evolucionan las prácticas de ciberseguridad y su impacto en la incidencia del fraude financiero a lo largo del tiempo.

## 6. Agradecimientos

Los autores agradecen al editor y a los revisores por sus valiosos comentarios y sus sugerencias que permiten mejorar esta investigación significativamente. Los autores reconocen y agradecen el apoyo otorgado por la Universidad Rosario Castellanos, así como al Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec por permitirnos la aplicación de la encuesta y

facilitarnos el tiempo para el desarrollo de este proyecto de investigación.

## 7. Referencias

- Admati, A. R. (2014). The Compelling Case for Stronger and More Effective Leverage Regulation in Banking. *The Journal of Legal Studies*, 43(S2), S35–S61. <https://doi.org/10.1086/677557>
- Aguilar Antonio, J. M., & Aguilar Antonio, J. M. (2021). Retos y oportunidades en materia de ciberseguridad de América Latina frente al contexto global de ciberamenazas a la seguridad nacional y política exterior. *Estudios Internacionales (Santiago)*, 53(198), 169–197. <https://doi.org/10.5354/0719-3769.2021.57067>
- Camhaji, E. (2018, May 18). El mayor cibertráfico en la historia de México mantiene en vilo al sistema bancario | Economía | EL PAÍS. El País. [https://elpais.com/economia/2018/05/18/actualidad/1526663135\\_029795.html](https://elpais.com/economia/2018/05/18/actualidad/1526663135_029795.html)
- Capeta Mondoñedo, F. S., Franco Del Carpio, C. M., & Villafuerte Barreto, H. O. (2023). Ciberseguridad y su relación con la empleabilidad para egresados de Ingeniería de Sistemas en una Universidad Pública. *Revista de Climatología*, 23, 1510–1519. <https://doi.org/10.59427/rcli/2023/v23cs.1510-1519>
- Chawla, V. (2022, March 16). A Unified Response to Cyberattacks, Fraud and Financial Crime. ISACA. <https://www.isaca.org/resources/isaca-journal/issues/2022/volume-2/a-unified-response-to-cyberattacks-fraud-crime>
- Cisneros Zepeda, D. S. (2021). Los efectos del crédito bancario otorgado a la industria y al consumo en el crecimiento económico: evidencia de México, 1994-2017. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 17(2), 1–25. <https://doi.org/10.21919/remef.v17i2.560>
- Cremer, F., Sheehan, B., Fortmann, M., Kia, A. N., Mullins, M., Murphy, F., & Materne, S. (2022). Cyber risk and cybersecurity: a systematic review of data availability. *The Geneva Papers on Risk and Insurance - Issues and Practice* 2022 47:3, 47(3), 698–736. <https://doi.org/10.1057/S41288-022-00266-6>
- Gavilanes L, M. J., Aucatoma, K., Moreno Piedrahita, F., & Rivas, A. (2021). La cultura de seguridad del paciente como estrategia para evitar errores médicos. *Medicinas UTA*, 5(3), 2. <https://doi.org/10.31243/mdc.uta.v5i3.1189.2021>
- Gotelaere, S., & Paoli, L. (2022). Prevention and Control of Financial Fraud: a Scoping Review. *European Journal on Criminal Policy and Research*, 1–21. <https://doi.org/10.1007/S10610-022-09532-8/METRICS>
- Guaña-Moya, J., Chiluisa-Chiluisa, M. A., Jaramillo-Flores, P. del C., Naranjo-Villota, D., Mora-Zambrano, E. R., & Larrea-Torres, L. G. (2022). Phishing attacks and how to prevent them. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI*, 2022-June. <https://doi.org/10.23919/CISTI54924.2022.9820161>
- Juárez, G. S. (2017). Análisis De Contagio en El Sistema Financiero Mexicano Combinando El Modelo De Merton Y Redes Aleatorias. *Contaduría Y Administración*. <https://doi.org/10.1016/j.cya.2016.10.006>
- Kannelønning, K., & Katsikas, S. K. (2023). A systematic literature review of how cybersecurity-related behavior has been assessed. *Information and Computer Security*, 31(4), 463–477. <https://doi.org/10.1108/ICS-08-2022-0139/FULL/PDF>
- Leiva, E. A. (2015). Estrategias Nacionales de Ciberseguridad: Estudio Comparativo Basado en Enfoque Top-Down desde una Visión Global a una Visión Local. *Revista Latinoamericana de Ingeniería de Software*, 3(4), 161. <https://doi.org/10.18294/relais.2015.161-176>
- Machín Nieva Gazapo, M. (2016). LA CIBERSEGURIDAD COMO FACTOR CRÍTICO EN LA SEGURIDAD DE LA UNIÓN EUROPEA. *Revista UNISCI*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76747805002>
- Manssur Nicola, A. (2023). Autenticación multifactor, el nuevo “imperativo” en ciberseguridad - TintaTIC. <https://tintatic.com/autenticacion-multifactor-el-nuevo-imperativo-en-ciberseguridad/>
- Maurer, T., & Nelson, A. (2021). Cyber threats to the financial system are growing, and the global community must cooperate to protect it GLOBAL CYBER THREAT. Finance and Development. [https://www.esrb.europa.eu/pub/pdf/reports/esrb.report200219\\_systemic\\_cyberrisk](https://www.esrb.europa.eu/pub/pdf/reports/esrb.report200219_systemic_cyberrisk)
- Moran-Fuentes, J. J., Carlos-Ornelas, C. E., & Soto-Morones, H. (2022). Prácticas De Gestión De Seguridad Y Salud en El Trabajo: Una Revisión

- Sistemática De La Literatura. Ciencias Administrativas Teoría Y Praxis. <https://doi.org/10.46443/catyp.v18i1.304>
- Negro, P., & Pons, C. (2022). Artificial Intelligence techniques based on the integration of symbolic logic and deep neural networks: A systematic review of the literature. *Inteligencia Artificial*, 25(69), 13–41. <https://doi.org/10.4114/intartif.vol25iss69pp13-41>
- Poveda, M. U. (2020). Riesgo De Crédito: Evidencia en El Sistema Bancario Ecuatoriano. *Bolentín De Coyuntura*. <https://doi.org/10.31164/bcoyu.23.2019.842>
- Quintero Peña, J. W., & Mejía Baños, M. A. (2021). Factores asociados a la adopción de la banca electrónica en México. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 17(2), 1–23. <https://doi.org/10.21919/remef.v17i2.659>
- Realpe, M. E., & Cano, J. (2020). Amenazas Cibernéticas a la Seguridad y Defensa Nacional. Reflexiones y perspectivas en Colombia. In *Seguridad Informática. X Congreso Iberoamericano, CIBSI 2020*. Universidad del Rosario. <https://doi.org/10.12804/si9789587844337.10>
- Redacción. (2018, May 18). México: el ciberataque “sin precedentes” a los bancos del país que causó pérdidas millonarias - BBC News Mundo. BBC Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-44130887>
- Riveros, A. (2020, June 29). Qué es la criptografía y por qué es útil en Ciberseguridad. EALDE Business School. <https://www.ealde.es/que-es-criptografia/>
- Rodríguez, J. (2017, March 21). Cómo usar la tecnología aplicada para prevenir riesgos. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/tecnologia-aplicada-para-prevenir-riesgos/>
- Sastré, A. (2022). La ciberseguridad debe planearse desde el comportamiento del usuario. *Expansión*. <https://expansion.mx/opinion/2022/04/23/ciberseguridad-planearse-desde-comportamiento-usuario>
- Soltani, M., Kythreotis, A., & Roshanpoor, A. (2023). Two decades of financial statement fraud detection literature review; combination of bibliometric analysis and topic modeling approach. *Journal of Financial Crime*. <https://doi.org/10.1108/JFC-09-2022-0227>
- Trillo del Pozo, D., & Alonso Gallo, N. (2021). La banca pública como instrumento de estabilización en la crisis del COVID-19. *Papeles de Europa*, 33(2), 79–90. <https://doi.org/10.5209/pade.76523>
- Varchetta, M., Frascetti, A., Mari, E., & Giannini, A. M. (2020). Adicción a redes sociales, Miedo a perderse experiencias (FOMO) y Vulnerabilidad en línea en estudiantes universitarios. *Revista Digital de Investigación En Docencia Universitaria*, 14(1), e1187. <https://doi.org/10.19083/ridu.2020.1187>
- White, G., & Lee, J. H. (2021, June 24). El “impactante” atraco del Grupo Lázaro, el equipo de élite de Corea del Norte que casi roba US\$1.000 millones en un solo asalto - BBC News Mundo. BBC News. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-57562592>



# Modelo de visión artificial para el reconocimiento de la Lengua de Señas Mexicana Machine Vision Model for Mexican Sign Language Recognition.

Derlis Hernández-Lara<sup>a</sup>, Emmanuel-Tonatiuh Juárez-Velázquez<sup>b</sup>, Carlos-Alfonso Trejo-Villanueva<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Universidad Mexiquense del Bicentenario: UES Atenco  
<sup>a, b, c</sup> Ingeniería informática, Tecnológico Nacional de México: Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

## Resumen

En el mundo existen millones de personas con discapacidad auditiva o del habla que enfrentan barreras comunicativas y sociales, lo que limita su plena integración. En respuesta a esta problemática, el presente trabajo propone un modelo de visión artificial para el reconocimiento de la Lengua de Señas Mexicana (LSM) basado en aprendizaje profundo, con el propósito de favorecer la inclusión social y educativa de personas con discapacidad auditiva. El estudio se estructura conforme al formato IMRaD (Introducción, Métodos, Resultados y Discusión), detallando los materiales, métodos, resultados y discusión. Se desarrolló un modelo de red neuronal convolucional entrenado con un conjunto de datos de 24 letras del alfabeto manual de la LSM, conformado por 12 000 imágenes procesadas en escala de grises (40×40 px). Se evaluaron métricas de precisión, recall, F1-Score y matriz de confusión, obteniendo una precisión global del 93 %. El trabajo incorpora además el enfoque de Design Thinking en la etapa de diseño centrado en el usuario, complementado con una metodología experimental de aprendizaje automático para la validación técnica. Los resultados muestran la viabilidad del modelo para aplicaciones educativas e interactivas, constituyendo una herramienta accesible para el reconocimiento automatizado de señas estáticas.

**Palabras clave:** Visión artificial, Aprendizaje profundo, Lengua de Señas Mexicana (LSM), Pensando en diseño, Inclusión digital

## Abstract

Millions of people with hearing or speech disabilities worldwide face communication barriers that limit their full social participation. In response, this paper presents a computer vision model for the recognition of Mexican Sign Language (LSM) based on deep learning techniques, aimed at promoting social and educational inclusion for people with hearing impairments. The study follows the IMRaD structure and details the materials, methods, results, and discussion. A convolutional neural network was trained using a dataset of 24 manual alphabet letters from LSM, composed of 12,000 grayscale images (40×40 px). Evaluation metrics included accuracy, recall, F1-score, and confusion matrix, achieving an overall accuracy of 93 %. Design Thinking was applied in the user-centered design phase, complemented by a machine learning experimental methodology for technical validation. The results demonstrate the feasibility of the proposed model for educational and interactive applications, providing an accessible tool for automated static sign recognition.

**Keywords:** Machine vision, Deep Learning, Mexican Sign Language (MSL), Design Thinking, Digital inclusion

## 1. Introducción

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020), en México hay 6,179,890 personas con algún tipo de discapacidad, lo que representa el 4.9 % de la población total. Dentro de este grupo, las personas con discapacidad auditiva o del habla constituyen un porcentaje relevante. En la Figura 1 se muestra el porcentaje de la

población con discapacidad según el tipo de dificultad reportada.

\*Autor para la correspondencia: dderlis-lara@tese.edu.mx

**Correo electrónico:** dderlis-lara@tese.edu.mx (Derlis Hernández-Lara), ejuarvezv@hotmail.com (Emmanuel Tonatiuh, Juárez Velázquez), carlostrejo@tese.edu.mx

**Historial del manuscrito:** recibido el 11/10/2025, última versión-revisada recibida el 23/10/2025, aceptado el 24/10/2025, publicado el 06/11/2025. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17546270>

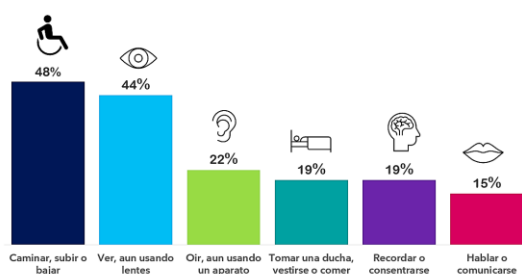


Figura 1: Población con discapacidad según la actividad (INEGI, 2020).

Estas limitaciones afectan la comunicación cotidiana y generan la necesidad de desarrollar herramientas tecnológicas que permitan la interacción entre personas sordas y oyentes. La Lengua de Señas Mexicana (LSM) constituye un medio esencial de comunicación visual-gestual que posibilita la expresión y comprensión sin depender del lenguaje oral (INDEPEDI, 2017).

El uso de la IA, específicamente de la Visión Artificial (VA) con RNA se ha extendido hasta el desarrollo de sistemas de identificación de gestos, particularmente en el desarrollo de herramientas tecnológicas que permiten el reconocimiento del lenguaje de señas expresado con las manos (González Riveros & Yimes Inostra, 2016; Santos D. et al., 2020).

En el trabajo presentado por Razo Gil (2009), se desarrolló un sistema clasificador de imágenes de postura de la mano correspondiente a las letras del alfabeto dactilológico que se representan sin movimiento, las cuales se digitalizan para identificar a que letra corresponde haciendo uso del código de cadena, que es una serie de valores numéricos que van del 0 al 7, estos representan direcciones cuantizadas de 45° conocidos como códigos 8-direccional.

El reconocimiento de gestos con las manos *Hand Gesture Recognition* (HGR, por sus siglas en inglés), es un método novedoso sin contacto, que implementa un sistema *Handwritten Character Recognition* (HCR) en tiempo real con Microsoft Visual Studio 2010, el cual fue abordado por Li (2012). HGR es un algoritmo que solo hace el reconocimiento de 9 señas, esta propuesta realiza la extracción de las manos utilizando el dispositivo *Kinect*, que tiene sensores de profundidad y de color para capturar imágenes en RGB y los datos de profundidad, lo cual le permite al sistema aplicar algoritmos que clasifiquen y realicen el reconocimiento de las características de la imagen.

El trabajo presentado por García Incertis et al., (2006) corresponde al reconocimiento de gestos con las manos de la Lengua de Signos Española (LSE), este reconocimiento de gestos se da mediante la identificación de la mano cubierta con un guante instrumental de color azul como se presenta en la Figura 2, lo que simplifica el problema de reconocimiento. El enfoque general funciona de la siguiente manera: primero, la región de la mano y los contornos correspondientes se extraen de la imagen a través de la segmentación mediante el formato de color HSV (*Hue Saturation Value*). Luego de la extracción, el contorno obtenido se muestrea y se calcula cada distancia de arco dada en una huella, y los puntos resultantes de dicho muestreo se comparan con los de un gesto objetivo en un diccionario. Esta comparación se realiza sobre cuatro criterios de distancia, de forma que, finalmente se consigue un

reconocimiento adecuado, el cual obtiene un resultado del reconocimiento de 19 letras de la LSE.



Figura 2: Guante azul para el reconocimiento de la LSE (García Incertis et al., 2006).

Abordando la problemática expuesta anteriormente, se ha propuesto implementar una herramienta tecnológica basada en un modelo de visión artificial para el reconocimiento de la LSM con la ayuda de Inteligencia Artificial (IA), específicamente el *Deep Learning* que es un área dentro del aprendizaje de máquinas basada en Redes Neuronales Artificiales (RNA) (López Saca, 2019). Para el desarrollo de la propuesta, se utiliza el siguiente proceso: 1) adquisición de una imagen que representa una postura de la mano, siendo una letra de la LSM, y 2) dicha imagen es procesada para analizarla en un modelo de RNA e identificarla con la clase de mayor probabilidad, dando como resultado la letra a la que pertenece. Así, con esta herramienta se pretende facilitar la comunicación y/o mejorar el entendimiento para las personas que requieran su uso de manera eficiente y eficaz, apoyando a la comunicación de las personas con este tipo de discapacidad.

El objetivo de este estudio es desarrollar e implementar un modelo de visión artificial capaz de reconocer las letras estáticas del alfabeto de la LSM a partir de imágenes capturadas por cámara, utilizando técnicas de aprendizaje profundo y una metodología reproducible. La hipótesis de trabajo sostiene que un modelo CNN adecuadamente entrenado, complementado con buenas prácticas de diseño centrado en el usuario, puede alcanzar niveles de precisión superiores al 90 % y servir de base para futuras aplicaciones de interpretación automática de señas en tiempo real.

## 2. Materiales y Método

Para la obtención del diseño conceptual, se utilizó la metodología *Design Thinking*, permitiendo así, la construcción de prototipos basados en las personas (Dinngo Lab, 2022). Esta metodología se empezó a desarrollar en la Universidad de Stanford en California en los años 70, y se compone de 5 etapas como se muestra en la Figura 3: 1) empatizar, 2) definir, 3) idear, 4) prototipar y 5) testear. No es lineal y se puede saltar a etapas no consecutivas. En los siguientes apartados se describe lo que se realizó a partir de estas etapas para desarrollar este trabajo.

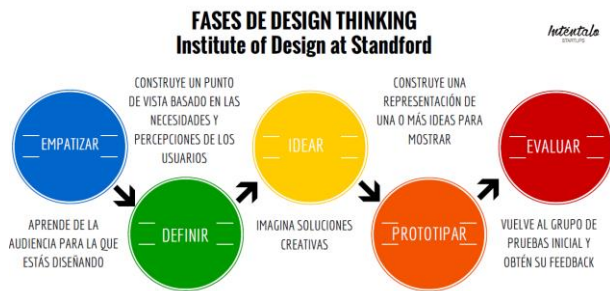


Figura 3: Metodología *Design Thinking* (Mejía López et al. 2019).

De forma general el funcionamiento del sistema es el presentado en la Figura 4: Primero se adquiere la imagen de la señal realizada por el usuario, para enseguida realizar un preprocesamiento de esta, y posteriormente su segmentación, siendo analizada por el modelo de *Deep Learning* propuesto, para obtener el reconocimiento de esta basándose en el diccionario de la LSM.

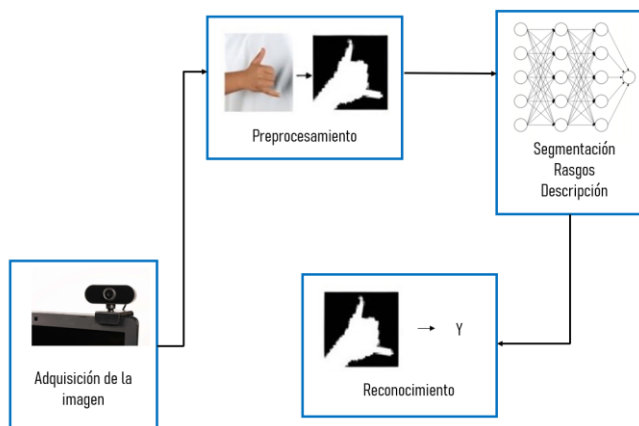


Figura 4: Ejemplo del preprocesamiento de imágenes (original, binarizada y normalizada a 40×40 px).

### 2.1. Adquisición del conjunto de datos

Se empleó un conjunto de datos denominado *SenasDataset*, compuesto por 12 000 imágenes correspondientes a 24 letras del alfabeto manual de la LSM (se excluyeron las letras J y K por implicar movimiento). Las imágenes fueron capturadas en diferentes condiciones de iluminación, con variabilidad en tono de piel, género y accesorios de las manos, utilizando una cámara Logitech C920 (1080 p).

Cada imagen se redimensionó a 40×40 px y se convirtió a escala de grises. Posteriormente, se aplicó un proceso de normalización de intensidad y segmentación de fondo. La información fue almacenada en un archivo CSV con 1600 columnas de píxeles y una columna adicional con la etiqueta correspondiente a cada letra (valores 0–23). La Figura 5 muestra la distribución del número de imágenes por clase en el *dataset*. Mientras que la Figura 6 el etiquetado de los datos.

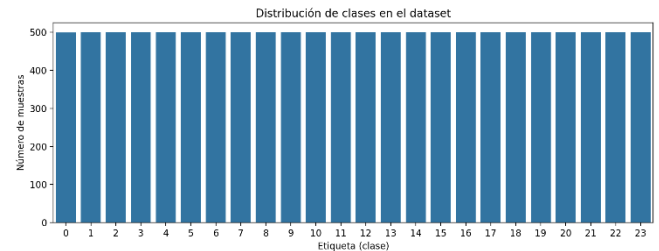


Figura 5: Distribución de clases en el *dataset* de señas.

Etiqueta	Letra	Etiqueta	Letra
0	a	12	o
1	b	13	p
2	c	14	q
3	d	15	r
4	e	16	s
5	f	17	t
6	g	18	u
7	h	19	v
8	i	20	w
9	l	21	x
10	m	22	y
11	n	23	z

Figura 6: Etiquetas asignadas a cada letra del alfabeto en este modelo.

### 2.2. Preprocesamiento y preparación de datos

Los valores de los píxeles fueron normalizados en el rango [0, 1] y posteriormente estandarizados mediante *StandardScaler* para homogenizar la varianza entre variables. El conjunto de datos se dividió en 80 % para entrenamiento y 20 % para prueba, garantizando balance mediante estratificación de clases.

Se implementaron técnicas de aumento de datos (*data augmentation*) en la etapa de entrenamiento para mejorar la generalización del modelo, aplicando transformaciones de rotación, volteo horizontal y cambios leves de brillo.

### 2.3. Arquitectura del modelo

El modelo base consistió en una Red Neuronal Convolutiva (CNN) de cuatro capas, con la estructura que se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Estructura de la Red Neuronal Convolutiva (CNN)

Capa	Tipo	Tamaño de filtro / unidades	Activación
1	Convolutiva + MaxPooling	32 filtros (3×3)	ReLU
2	Convolutiva + MaxPooling	64 filtros (3×3)	ReLU
3	Convolutiva + GlobalAveragePooling	—	—

4	Densa	128	ReLU
		unidades	
<b>Salida</b>	Densa	24 neuronas	Softmax

Se utilizó el optimizador Adam con tasa de aprendizaje de  $1 \times 10^{-3}$ , función de pérdida *categorical\_crossentropy*, y métricas de evaluación *accuracy*, *precision*, *recall* y *F1-Score*. El entrenamiento se realizó durante 50 épocas con tamaño de lote de 32, utilizando *EarlyStopping* y *ModelCheckpoint* para evitar sobreajuste.

El entorno de experimentación incluyó Python 3.11, *TensorFlow 2.12*, *scikit-learn 1.4*, y ejecución en GPU NVIDIA RTX 3060.

#### 2.4. Validación y métricas

Se evaluó el modelo sobre el conjunto de prueba utilizando las siguientes métricas:

- Precisión global (*Accuracy*)
- Precisión y *recall* por clase
- Puntaje F1 macro-promedio
- Matriz de confusión
- Intervalos de confianza (95 %)

Para garantizar reproducibilidad, se utilizó una semilla aleatoria fija (*random\_state* = 42).

Además, se implementó un modelo comparativo de referencia (*baseline*) mediante *Random Forest* para validar la discriminabilidad del *dataset*. Los resultados obtenidos con este modelo se presentan en la sección de Resultados.

### 3. Resultados

El modelo propuesto alcanzó una precisión global del 93.1 % en el conjunto de prueba, con un puntaje F1 macro-promedio de 0.92. La Figura 7 presenta ejemplos de las imágenes procesadas del *dataset* utilizadas en el entrenamiento.

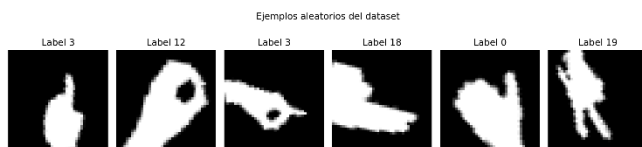


Figura 7: Ejemplos aleatorios del *dataset*.

En la Figura 8 se muestra la matriz de confusión obtenida con el modelo *Random Forest* de referencia, la cual permitió identificar patrones de confusión entre letras con configuraciones de mano similares (por ejemplo, las señas que representan a las letras E y S).

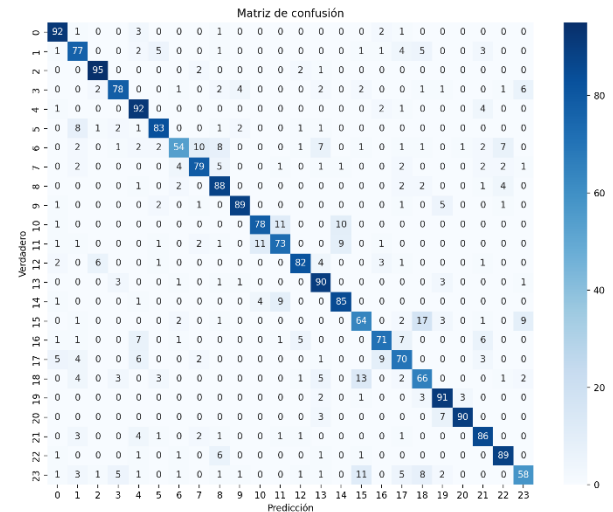


Figura 8: Matriz de confusión del modelo *Random Forest*.

El rendimiento del modelo CNN superó de manera consistente al clasificador *baseline*, demostrando la eficacia de la arquitectura convolucional para la extracción automática de características discriminantes. La Tabla 2 resume las métricas promedio obtenidas.

Tabla 2: Métricas promedio obtenidas

Modelo	Precisión (%)	Recall (%)	F1-Score (%)
<b>Random Forest (baseline)</b>	88.4	87.9	87.6
<b>CNN propuesta</b>	<b>93.1</b>	<b>92.8</b>	<b>92.0</b>

Durante el entrenamiento de la CNN (50 épocas), se implementó *EarlyStopping* con una paciencia de 5 épocas y *Dropout* del 50 %. Las curvas de evolución muestran una convergencia estable del modelo sin indicios de sobreajuste significativo, como se observa en las Figuras 9 y 10 respectivamente.

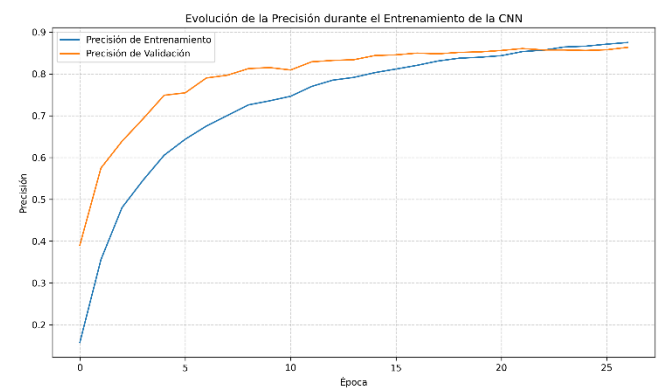


Figura 9: Evolución de la precisión durante el entrenamiento del modelo CNN.



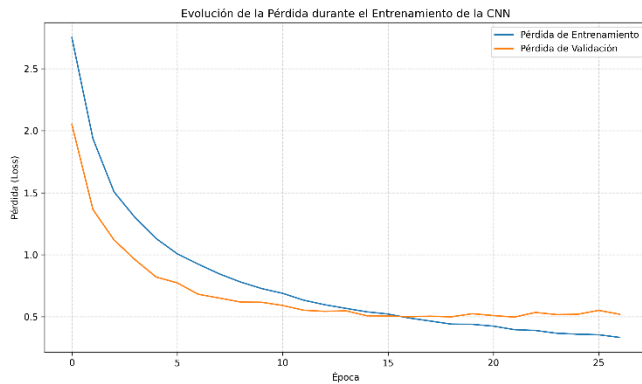


Figura 10: Evolución del error durante el entrenamiento del modelo CNN.

### 3.1 Evaluación e implementación del modelo

Además de las métricas cuantitativas previamente presentadas, se realizaron pruebas de validación funcional para ilustrar el desempeño del modelo en escenarios reales de reconocimiento de señas. En la Figura 11, se muestra un ejemplo del funcionamiento del modelo con una seña de entrada correspondiente a la letra «O». La imagen original fue procesada, redimensionada a 40×40 píxeles y binarizada antes de ser ingresada a la red neuronal. Posteriormente, el modelo realizó la predicción automática de la clase asociada, identificando correctamente la seña representada.

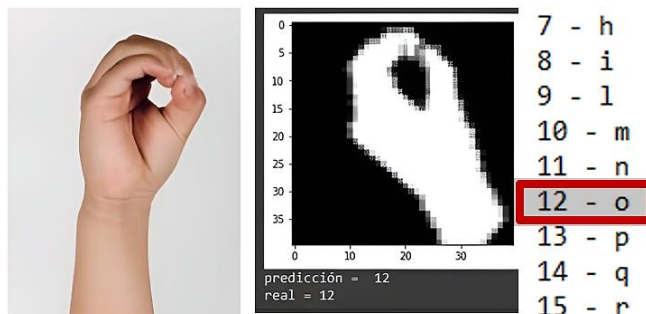


Figura 11: Ejemplo de implementación del modelo con la seña correspondiente a la letra «O» en la LSM.

De manera complementaria, la Figura 12 presenta una segunda prueba en la que un usuario ejecuta una seña distinta, en este caso, la letra «V», utilizando la mano derecha, siguiendo las condiciones de captura definidas en el protocolo experimental. La imagen capturada es preprocesada por el sistema, binarizada y normalizada antes de ingresar a la CNN, la cual emite como salida la etiqueta de clase con la mayor probabilidad. Este procedimiento evidencia la capacidad del modelo para generalizar correctamente a muestras nuevas y reconocer de forma precisa las letras del alfabeto dactilológico mexicano.

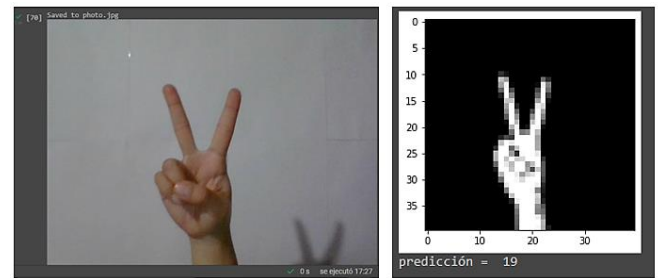


Figura 12: Ejemplo de reconocimiento final del modelo con la seña correspondiente a la letra «V» en la LSM.

## 4. Discusión

El rendimiento alcanzado por la CNN propuesta confirma la viabilidad del aprendizaje profundo para la interpretación automática de señas estáticas de la LSM. Comparando con trabajos recientes (Tabla 3), el modelo obtiene resultados competitivos y reproduce buenas prácticas metodológicas. La precisión lograda (93 %) es comparable con estudios recientes (Sharma et al., 2022; Salgado-Martínez et al., 2024), incluso con imágenes de baja resolución.

Tabla 3: Comparación con modelos recientes de reconocimiento de señas (2019–2024)

Autor(es) Año	/	Arquitectura	Dataset	Nº clases	Precisión (%)
Sharma, M. et (2022)	C. al.	EfficientNet + Transfer Learning	ISL- Alphabet	26	95
Oyedotun & Khashman (2017)		Deep CNN	ASL dataset	24	92.7
Bheda & Radpour (2017)		CNN (arXiv)	ASL RGB	24	94.5
Salgado- Martínez et al. (2024)		MobileNetV2 (Transfer Learning)	LSM (móvil)	24	91.2
Presente estudio (2025)		CNN simple (4 capas)	LSM (propio)	24	93.1

Fuentes: Sharma, C. M. et al. (2022); Oyedotun & Khashman (2017); Bheda & Radpour (2017); Salgado-Martínez et al. (2024); Presente estudio (2025).

Los resultados demuestran que, aun con una resolución modesta (40×40 px) y sin usar redes preentrenadas, el modelo propuesto logra una precisión equiparable a arquitecturas más complejas. Esto sugiere que la calidad del preprocesamiento y la representatividad del *dataset* son factores clave para un desempeño robusto.

### Limitaciones del estudio

Entre las principales limitaciones se identifican:

1. Diversidad del *dataset*: aunque se procuró variabilidad en iluminación y tonos de piel, la muestra no cubre todas las condiciones posibles ni suficiente número de usuarios.



2. Resolución de entrada: el tamaño 40×40 px, aunque eficiente, puede eliminar rasgos finos de textura. En estudios futuros se propone usar RGB o *landmarks* de *MediaPipe* para conservar detalles espaciales.

Ausencia de validación con usuarios reales: el modelo aún no ha sido probado en contextos de interacción directa con personas sordas. Se planea una segunda fase con pruebas de usabilidad y percepción.

## 4.2. Lista de referencias

La lista de referencias debe ser ordenada alfabéticamente de acuerdo con el primer autor, con las siguientes líneas justificadas con la sangría correspondiente. Si existen diferentes publicaciones del mismo autor(es), éstas deberán ser listadas en el orden del año de publicación. Si hay más de un artículo del mismo autor en la misma fecha, etiquételas como a,b, etc. (Baker, 1963a, b). Por favor, fíjese que todas las referencias (García, 2007) en este apartado (García and Martínez, 2008) deben ser citadas directamente en el cuerpo del texto (García et al., 2007), (Dog, 1958), (Keohane, 1958).

Por favor, tenga en cuenta que las referencias al final de este documento cumplen con el estilo anteriormente mencionado. Los artículos que no hayan sido publicados deben ser citados como “no publicado.” Ponga en mayúscula únicamente la primera palabra del título, excepto el caso de nombres propios y símbolos de elementos.

Si está utilizando LaTeX, puede procesar una base de datos de bibliografía externa o insertarla directamente en la sección de referencias. Las notas al pie de página se deben evitar en la medida de lo posible.

## 5. Conclusiones

El modelo de visión artificial desarrollado demuestra la factibilidad de aplicar redes neuronales convolucionales al reconocimiento de la Lengua de Señas Mexicana, alcanzando una precisión del 93 %. La combinación de *Design Thinking* en la fase de diseño con una metodología experimental de aprendizaje profundo permitió integrar perspectivas humanas y tecnológicas en una solución inclusiva.

*Entre las aportaciones destacadas se encuentran:*

- Un *dataset* de la LSM documentado y balanceado.
- Una arquitectura CNN reproducible y de bajo costo computacional.
- Un protocolo metodológico transparente que favorece la replicabilidad y la transferencia tecnológica.

Futuras líneas de trabajo incluyen la incorporación de secuencias dinámicas para reconocer señas con movimiento, el uso de modelos preentrenados como *MobileNetV2* y

*MediaPipe Holistic*, *ResNet50* y la integración del sistema en plataformas web accesibles.

## Nota de reproducibilidad

Los *scripts* de entrenamiento y evaluación del modelo (incluido modelo\_LSM\_replicacion.py), así como el conjunto de datos utilizado, estarán disponibles bajo solicitud directa a los autores, con el fin de garantizar un uso ético y controlado del material.

## 6. Referencias

- Bheda, V., & Radpour, D. (2017). Using deep convolutional networks for gesture recognition in American Sign Language. arXiv preprint arXiv:1710.06836. <https://arxiv.org/abs/1710.06836>
- Dinngo Lab. (2022). Design Thinking en español. Recuperado de <https://www.designthinking.es/inicio/index.php>
- García Incertis, I., Gómez García-Bermejo, J., & Zalama Casanova, E. (2006). Hand gesture recognition for deaf people interfacing. In Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2006.619>
- González Riveros, C. G., & Yimes Inostra, F. J. (2016). Sistema de reconocimiento gestual de lengua chilena mediante cámara digital. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). La discapacidad en México (Cuéntame de México). <https://cuentame.inegi.org.mx/explora/poblacion/discapacidad/>
- Instituto para la Atención e Inclusión de las Personas con Discapacidad de la Ciudad de México (INDEPEDI). (2017). Diccionario de Lengua de Señas Mexicana — Ciudad de México (DLSM CDMX). Gobierno de la Ciudad de México. <https://www.indiscapacidad.cdmx.gob.mx/>
- Li, Y. (2012). Hand gesture recognition using Kinect (Master's thesis). University of Louisville. <https://ir.library.louisville.edu/etd/823>
- López Saca, F. (2019). Clasificación de imágenes usando redes neuronales convolucionales. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Mejía López, J. A., Ruiz Guzmán, O. A., Gaviria Ocampo, L. N., & Ruiz Guzmán, C. P. (2019). Aplicación de metodología design thinking en el desarrollo de cortadora automática CNC para MiPyME de confección. Revista UIS Ingenierías, 18(3), 157–168. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n3-2019016>
- Oyedotun, O. K., & Khashman, A. (2017). Deep learning in vision-based static hand gesture recognition. Neural Computing and Applications, 28(12), 3941–3951. <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2294-8>
- Razo Gil, L. J. (2009). Sistema para el reconocimiento del alfabeto dactilológico (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Computación.
- Salgado-Martínez, G. A., Cuevas-Valencia, R. E., Feliciano-Morales, A., & Catalán-Villegas, A. (2024). Reconocimiento de la Lengua de Señas Mexicana usando Deep Learning mediante una aplicación móvil. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i5.14458](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14458)
- Santos, D., Dallos, L., & Gaona-García, P. A. (2020). Algoritmos de rastreo de movimiento utilizando técnicas de inteligencia artificial y machine learning. Información Tecnológica, 31(3), 23–38. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000300023>
- Sharma, C. M., et al. (2022). Indian Sign Language Recognition using transfer learning with EfficientNet. In Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence (ScitePress). <https://www.scitepress.org/Papers/2021/107903/107903.pdf>

# RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación

Edición semestral volumen 3, número 6, noviembre 2025



ISSN 2992-7315



9 772992 731002