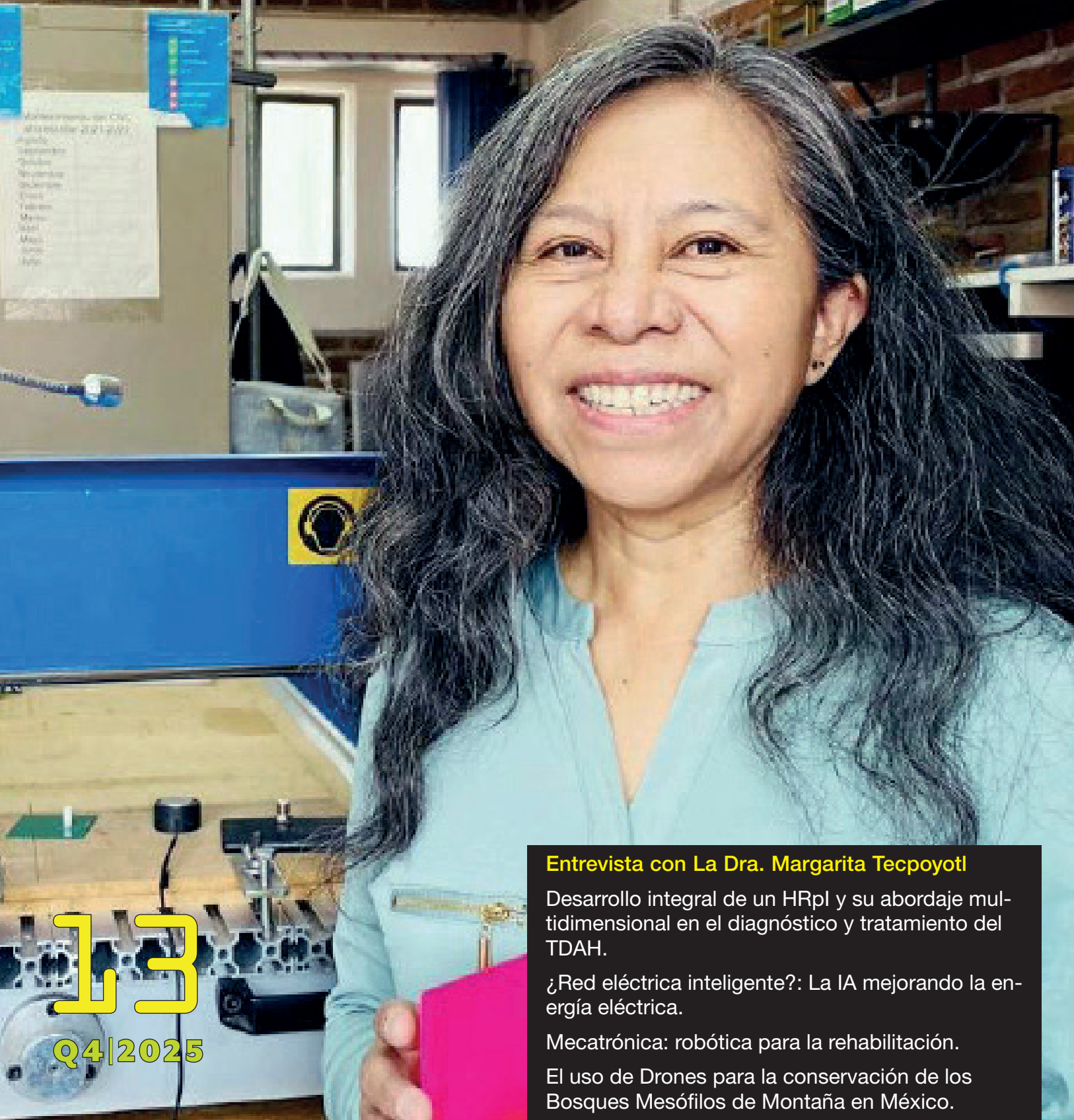


gaiabit[®]

<https://gaiabit.com>



13

Q4|2025

Entrevista con La Dra. Margarita Tecpoyotl

Desarrollo integral de un HRpl y su abordaje multidimensional en el diagnóstico y tratamiento del TDAH.

¿Red eléctrica inteligente?: La IA mejorando la energía eléctrica.

Mecatrónica: robótica para la rehabilitación.

El uso de Drones para la conservación de los Bosques Mesófilos de Montaña en México.



“Los artículos publicados en esta revista reflejan opiniones de la exclusiva responsabilidad del autor”

Revista Gaiabit, año 14, núm. 13, octubre-diciembre de 2025, es una publicación independiente editada por la Mtra. Andrea Cinthya Dominguez Medina. Viaducto Tlalpan 5, Col. San Lorenzo Huipulco C.P. 14370, Ciudad de México. | Teléfono 55 31924347. | Página electrónica de la revista: <https://www.gaiabit.com> | Correo electrónico: gaiabit@gaiabit.com | Editor Responsable: Mtra. Andrea Cinthya Dominguez Medina. Colaborador: Dr. Jonathan Villanueva Tavira. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2025-090513012500-102, ISSN: 3122-380X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. | Responsable de la última actualización de este número: Mtra. Andrea Dominguez Medina fecha de última modificación: 13 de enero de 2026. Tamaño del archivo: 2.45 MB

Responsable de publicación:

Andrea Domínguez Medina.
andrea@gaiabit.com

Editor en jefe:

Jonathan Villanueva Tavera
editor@gaiabit.com

Comité científico:

Dra. Andrea Magadán Salazar

Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

Dr. Andrés Blanco Ortega

Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

Dr. Héctor Miguel Buenabad Arias

Centro de Investigación en Ingenierías y Ciencias
Aplicadas

Dra. Margarita Tecpoyotl Torres

Centro de Investigación en Ingenierías y Ciencias
Aplicadas

Dr. Jorge Salvador Váldez Martínez

Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado
de Morelos

Dr. Francisco Jurado Zamarripa

Instituto Tecnológico de la Laguna

Dra. Karla Graciela Cedano Villavicencio

Instituto de Energías Renovables de la UNAM

Dr. José Martínez Carranza

Instituto Nacional de Astrofísica,
Óptica y Electrónica

Dr. Juan Humberto Sossa Azuela

Centro de Investigación en Computación
del IPN

Dra. Mirna Castro Bello

Instituto Tecnológico de Chilpancingo

Dr. Jorge Fuentes Flores Pacheco

Instituto Tecnológico de Chilpancingo

Dra. María José Mirón Chacón

Instituto de Estudios Superiores de Huatusco

Dra. Olivia Labastida Puertos

Instituto de Estudios Superiores de Huatusco

Comentarios a la publicación

e-mail: gaiabit@gaiabit.com

Indice

- 4 Desarrollo integral de un HRpl y su abordaje multidimensional en el diagnóstico y tratamiento del TDAH.** Jerónimo Aparicio Juárez y Omar Arturo Domínguez Ramírez
- 10 ¿Red eléctrica inteligente?: La IA mejorando la energía eléctrica.** Juan Carlos Olivares Rojas, Enrique Reyes Archundia, José Antonio Gutiérrez Gnechi, Adriana del Carmen Téllez Anguiano
- 16 Mecatrónica: robótica para la rehabilitación.** Andrés Blanco Ortega, Jonathan Villanueva Tavera, Héctor M. Buenabad Arias.
- 22 Entrevista: Dra. Margarita Tecpoyotl**
Por Andrea Dominguez
- 28 El uso de Drones para la conservación de los Bosques Mesófilos de Montaña en México.** Marco Antonio Lara de la Calleja, Guillermo Mejía Méndez, Juan Fernando Marín López, Sonia Gutiérrez Luna, Luis Manuel García Martínez.
- 34 Interfaz Gráfica para Robot de Asistencia y Servicio.** Diego Fernández Maldonado, Jonathan Villanueva Tavera.
- 41 Predicción de precios de cebolla por arpilla en la central de abastos de Iztapalapa producida en Morelos mediante un modelo de regresión lineal múltiple.** Luis Daniel Jiménez Campos, Eduardo Antonio Martínez Juárez, Ramírez Gil Jair Uriel.

13
Q4|2025

Desarrollo integral de un HRpI y su abordaje multidimensional en el diagnóstico y tratamiento del TDAH

Autores: Jerónimo Aparicio Juárez y Omar Arturo Domínguez Ramírez

Resumen: El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) es uno de los trastornos del desarrollo neurológico más frecuentes en la niñez. Este artículo examina la utilización del seguimiento ocular en un sistema de interacción física humano-robot (HRpI), como herramienta innovadora para el diagnóstico y tratamiento del TDAH. Se describe un exergame propuesto, denominado “ADHD K9 Canine Quest”, como tecnología emergente para proporcionar una solución novedosa que fortalece el diagnóstico temprano y la autorregulación en niños.

Palabras clave:

TDAH, seguimiento ocular, exergame, diagnóstico, tratamiento.

Declaración de importancia: Este trabajo contribuye al abordaje multidimensional del TDAH, ofreciendo soluciones tecnológicas que podrían mejorar significativamente el diagnóstico y tratamiento de este trastorno, impactando positivamente en la calidad de vida de millones de niños y sus familias.

Disciplina principal: Neurociencia cognitiva.

Áreas de aplicación:

Psicología infantil, educación especial, ingeniería biomédica.

Industria mayormente relacionada: Tecnología educativa y salud.

Introducción al TDAH y sus desafíos actuales

El TDAH es una realidad que afecta a millones de niños en todo el mundo. En Estados Unidos, aproximadamente el 9.8% de los niños entre 3 y 17 años han sido diagnosticados con TDAH, mientras que, en México, se estima que un 8% de la población infantil lo padece [1]. A pesar de su prevalencia, el TDAH enfrenta desafíos importantes en su diagnóstico y tratamiento. Los métodos actuales de diagnóstico presentan limitaciones significativas. Un estudio reveló que el 64% de los neuropediatras y psiquiatras infantiles inician el tratamiento farmacológico basándose únicamente en la sintomatología del niño [2]. Este enfoque subjetivo puede llevar a sesgos y diagnósticos incorrectos, afectando el curso del tratamiento. Por otro lado, los tratamientos





D

A

H



farmacológicos, aunque efectivos, también presentan desafíos. Los fármacos psicoestimulantes, como el metilfenidato y las anfetaminas, pueden causar efectos secundarios como irritabilidad, insomnio y aumento de la ansiedad. Los no psicoestimulantes, como la atomoxetina y los antidepresivos, también tienen inconvenientes como la acción lenta o la necesidad de ingesta en forma de tableta, lo cual puede ser problemático para niños pequeños [3].

El seguimiento ocular como herramienta prometedora

En este contexto, el seguimiento ocular, o eye-tracking, ha emergido como una técnica prometedora. Esta tecnología no invasiva mide y analiza los movimientos oculares, proporcionando información valiosa sobre los procesos atencionales y cognitivos [4]. Investigaciones recientes han demostrado el potencial del seguimiento ocular en el diagnóstico del TDAH. Un estudio utilizó el análisis del ángulo de vergencia durante tareas de atención y encontró que los modelos de aprendizaje automático pudieron clasificar a los pacientes con TDAH de los controles sanos con una precisión del 96.3% [5]. Este nivel de precisión supera significativamente a los métodos de diagnóstico tradicionales.

Además del diagnóstico, el seguimiento ocular también ha mostrado promesa en el tratamiento. El desarrollo de un juego interactivo de seguimiento ocular llamado RECOGNeyes fue ideado para entrenar la atención visual en niños con TDAH. Los resultados fueron prometedores, mostrando una mejora del sistema de atención visual [4].

Exergame basado en un sistema HRpI: “ADHD K9 Canine Quest”

En este artículo, presentamos un sistema innovador que integra el seguimiento ocular con otras tecnologías emergentes para ofrecer una solución integral al TDAH. El HRpI combina interfaces hápticas en interacción con ambientes virtuales dinámicos, y que en conjunto con el seguimiento ocular, integran una plataforma interactiva o exergame para estimulación neurocognitiva. Las interfaces hápticas proporcionan retroalimentación táctil, mientras que el seguimiento ocular evalúa variables relacionadas con la concentración visual del niño. “ADHD K9 Canine Quest” es un exergame diseñado específicamente para niños con TDAH. En este juego, los niños guían a un perro a través de un entorno interactivo lleno de desafíos, distracciones y premios. A medida que el niño juega, el sistema analiza sus movimientos oculares y adapta el juego en consecuencia, ofreciendo una experiencia personalizada que estimula y entrena sus habilidades atencionales.

Desafío	Distracciones	Pistas	Obstáculos	Premios
Buscar el hueso	Gato	Galletas	Barriles	Hueso
	Ardilla	Juguetes	Trozos de madera	
	Gallina	Recipiente de agua	Carreta vieja	

Tabla 1. Componentes del exergame «ADHD K9 Canine Quest»

En la Tabla 1, se presentan los componentes fundamentales que se aplicaron a las reglas del juego, para diagnóstico y tratamiento del TDAH.

Este enfoque no solo hace que el diagnóstico y tratamiento sean más atractivos para los niños, sino que también permite una evaluación continua y adaptativa de sus capacidades cognitivas.

En la Figura 1, se presenta un niño interactuando con el exergame 'ADHD K9 Canine Quest'. Este juego está diseñado para ayudar en el diagnóstico y tratamiento del TDAH, proporcionando una experiencia de juego personalizada que estimula y entrena las habilidades atencionales del niño.

Figura_1 Desarrollo integral de un HRpI y su abordaje multidimensional en el diagnóstico y tratamiento del TDAH.

En la Figura 2, se presenta un diagrama que ilustra las distintas etapas del exergame utilizado para el diagnóstico y tratamiento del TDAH. El diagrama se divide en tres secciones principales: i) exploración inicial, ii) entrenamiento y iii) búsqueda final.

Figura_2 Desarrollo integral de un HRpI y su abordaje multidimensional en el diagnóstico y tratamiento del TDAH.

En la Figura 3, se describe la incorporación del dispositivo háptico Phantom Omni en el entrenamiento basado en guiado háptico del exergame, lo que ofrece beneficios significativos tanto tecnológicos como clínicos. Tecnológicamente, proporciona retroalimentación táctil precisa, mejorando la inmersión y la interactividad. Su control de movimiento de alta precisión en 3D es crucial para tareas que requieren destreza. Además, es posible la personalización y adaptación del nivel de dificultad de acuerdo a las necesidades del usuario.

Figura_3 Desarrollo integral de un HRpI y su abordaje multidimensional en el diagnóstico y tratamiento del TDAH.

Desde el punto de vista clínico, mejora la rehabilitación cognitiva y conductual al permitir la práctica de tareas específicas con retroalimentación en tiempo real. Esto es beneficioso para la atención, la coordinación y la motricidad fina, especialmente en pacientes con trastornos neuropsiquiátricos como el TDAH. El dispositivo también facilita la evaluación y el seguimiento del progreso del paciente, permitiendo una terapia más personalizada. La retroalimentación háptica puede reducir la frustración y el estrés, y la gamificación de los ejercicios aumenta la motivación y la adherencia al tratamiento.



Figura 1. Niño interactuando con el exergame.

Etapas del exergame "ADHD K9 Canine Quest"

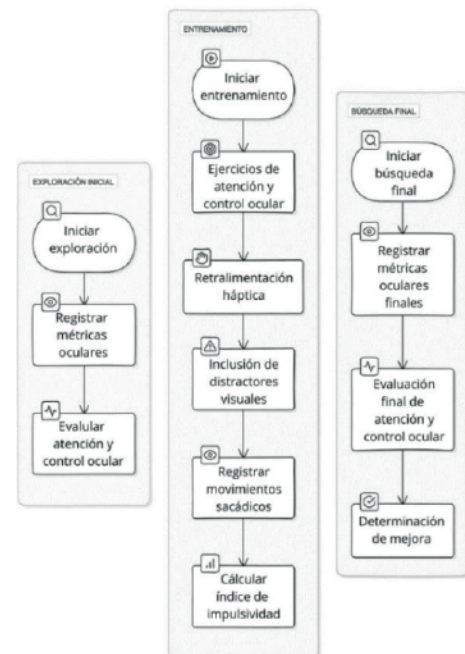


Figura 2. Esquema general de las etapas del exergame "ADHD K9 Canine Quest"

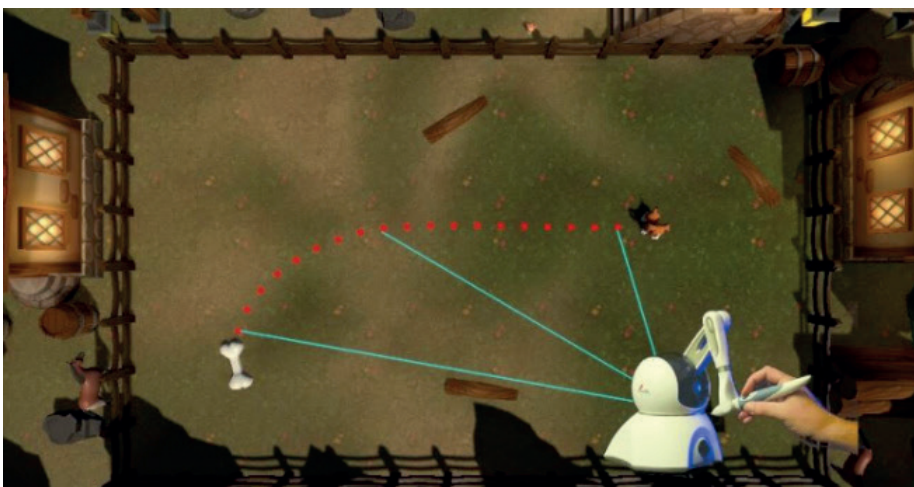


Figura 3. Integración del dispositivo háptico como componente de interacción con el exergame.

Perspectivas futuras

El potencial del seguimiento ocular y el HRpI en el TDAH es amplio. Las perspectivas futuras, impulsadas por la naturaleza heterogénea de esta neurodivergencia, buscan integrar estas tecnologías con otras, como el análisis de señales fisiológicas mediante electroencefalografía (EEG) y electrocardiografía (ECG) [1], así como el procesamiento de imágenes con resonancia magnética funcional (fMRI) y otros métodos de diagnóstico. La aplicación de técnicas de aprendizaje automático y profundo, se plantea como un medio para lograr una evaluación más exhaustiva del estado cognitivo y emocional del niño [6]. Estos avances no solo prometen mejorar el diagnóstico y tratamiento del TDAH, sino que también podrían impactar positivamente en el rendimiento escolar de los niños. Al mejorar las habilidades neurocognitivas a través de la estimulación, se espera que los niños muestren mejoras en habilidades básicas del pensamiento como el cálculo, la lectura y la escritura, sentando bases sólidas para su futuro académico [7].

Conclusión

Un sistema HRpI con el componente de seguimiento ocular, conforma un exergame que ofrece una perspectiva innovadora y multidimensional para abordar el TDAH. Estos avances no solo prometen diagnósticos más precisos y tratamientos más efectivos, sino que también abren un panorama de vertientes de investigación que permitirán mejorar la calidad de vida y el futuro de los niños con TDAH, desarrollando un mayor potencial de desarrollo neurológico y adaptativo en su contexto familiar, educativo y social. 

Referencias

- [1] J. Aparicio-Juárez, O. A. Domínguez-Ramírez, and E. A. Escotto-Córdova, "Emerging Technologies in the Diagnosis and Treatment of ADHD," 2024.
- [2] K. Bruchmüller, J. Margraf, and S. Schneider, "Is ADHD diagnosed in accord with diagnostic criteria? Overdiagnosis and influence of client gender on diagnosis," *J. Consult. Clin. Psychol.*, vol. 80, no. 1, pp. 128–138, 2012.
- [3] M. A. Moreno Fontiveros, M. J. Martínez Vera, A. Tejada González, V. González Igeño, and O. García Resa, "Actualización en el tratamiento del trastorno del déficit de atención con/sin hiperactividad (TDAH) en Atención Primaria," *Rev. Clínica Med. Fam.*, vol. 8, no. 3, pp. 231–239, 2015, doi: 10.4321/s1699-695x2015000300006.
- [4] A. García-Baos, D. Tomas, I. Oliveira, P. Collins, C. Echevarria, L. P. Zapata, and H. Super, "Novel interactive eye-tracking game for training attention in children with attention-deficit/hyperactivity disorder," *The primary care companion for CNS disorders*, vol. 21, no. 4, p. 26348, 2019.
- [5] P. V. Casal, F. L. Esposito, I. M. Martínez, A. Capdevila, M. S. Puig, N. de la Osa, J. Cañete, "Clinical validation of eye vergence as an objective marker for diagnosis of ADHD in children," *J. Attention Disorders*, vol. 23, no. 6, pp. 599–614, 2019.
- [6] H. W. Loh, C. P. Ooi, P. D. Barua, E. E. Palmer, F. Molinari, and U. R. Acharya, "Automated detection of ADHD: Current trends and future perspective," *Comput. Biol. Med.*, vol. 146, 2022, doi: 10.1016/j.compbiomed.2022.105525.
- [7] M. A. de Sánchez, "Desarrollo de Habilidades de Pensamiento," in *Procesos básicos del pensamiento*, 2nd ed. México: Trillas, ITESM, 1995, p. 29.



perro
digital

EL HUESO DEL MARKETING DIGITAL

- Gestión de Google Ads (setup)
- SEO (Auditoría)
- SEO (Mensual)
- Manejo de Redes Sociales (Mensual)
- Google Mi Negocio (Optimización Inicial)
- Google Mi Negocio (Mensual)
- Diseño Web (Landing Page)
- Diseño Web (Sitio Corporativo)
- Diseño Web (Ecommerce)
- Creación y edición de video
- Foto profesional
- Branding y diseño de información

SOMOS
ESPECIALISTAS
EN MARKETING DIGITAL

¿Red eléctrica inteligente? La IA mejorando la energía eléctrica

Autores:

Juan Carlos Olivares Rojas
Enrique Reyes Archundia
José Antonio Gutiérrez Gnechhi
Adriana del Carmen Téllez Anguiano

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Morelia

Resumen:

Palabras clave: Red eléctrica inteligente, inteligencia artificial, blockchain, ciencia de datos.

Declaración de importancia:

La red eléctrica se ha modernizado en años recientes, particularmente a través del uso de tecnologías de información y comunicaciones como lo es la inteligencia artificial. Por lo tanto, es importante que la sociedad conozca algunas pautas sobre esta área y lo que se desarrolla en nuestro país.

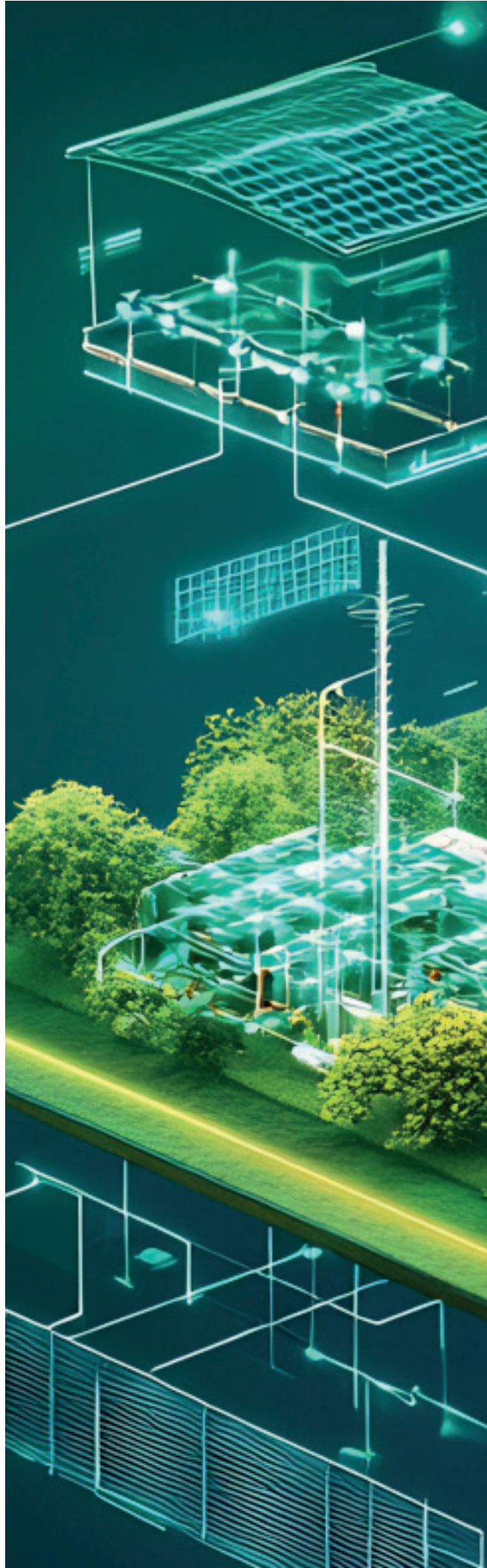
Disciplina principal: Computación

Áreas de aplicación: Inteligencia Artificial, Red Eléctrica
Industria mayormente relacionada: Red eléctrica, computación.

La red eléctrica es uno de los pilares para los sistemas productivos y económicos para el desarrollo de la humanidad. Creado a finales del siglo XIX, hasta hace poco no se habían modernizado los sistemas eléctricos de potencia. A través del uso de tecnologías de información y comunicaciones, a finales de la década del 2000 se le pasó a denominar red eléctrica inteligente [1].

Sin embargo, hasta hace poco la “inteligencia” solo se había centrado en mecanismos básicos de comunicación y procesamiento de datos, por lo que la red eléctrica no ha sido totalmente inteligente debido a que no se ha adaptado a las nuevas necesidades de los usuarios finales [2].

Los sistemas eléctricos de potencia se componen de diversas partes, iniciando desde la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica.





La “inteligencia” en cualquier sistema no solo implica el uso de TICs, se ocupa de que dichas tecnologías trabajen en conjunto para brindar mejor experiencias al usuario final.

Una de las partes más visibles de la red eléctrica inteligente ha sido el sistema de medición inteligente [3]. Los sistemas de medición inteligente se caracterizan por tener toda una infraestructura para la transmisión de datos, principalmente de consumo, desde los medidores de energía hacia la empresa eléctrica. La implementación más conocida es la infraestructura de medición avanzada (AMI, por sus siglas en inglés) [4].

El elemento fundamental de los sistemas de medición inteligente es el medidor inteligente. Un medidor inteligente es un sistema embebido especializado en la medición de consumo de energía eléctrica, pero que ahora tiene capacidades de comunicación y procesamiento de datos básicos que le permiten brindar una serie de servicios a los usuarios finales [5].

En la Figura 1 se muestran los elementos principales de un sistema de medición inteligente en redes eléctricas. Se puede notar que existe un dispositivo intermediario que recolecta los datos de varios medidores, llamado concentrador de datos. La interconexión de los elementos se hace a través de redes de telecomunicaciones, principalmente inalámbricas.

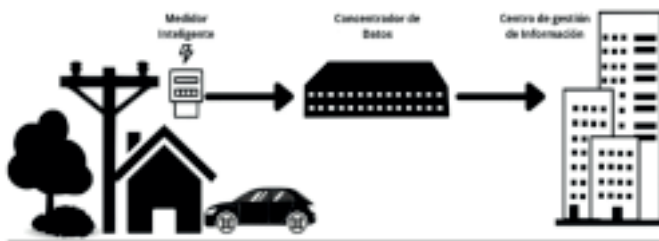


Figura 1. Arquitectura básica de un sistema de medición inteligente.

Además del servicio básico de facturación, en donde la empresa eléctrica no necesita de un lectorista humano para que vaya físicamente a los medidores de las casas y oficinas, también se cuenta con un portal web y/o aplicación móvil que permite a los usuarios ver su consumo de energía en todo momento.

Por otra parte, también se han automatizado otros procesos, como lo son los cortes y reconexiones, que ahora se pueden realizar de forma automática sin necesidad de que el operador eléctrico lo haga de forma manual.

En este trabajo se presentan nuevas tendencias en la red eléctrica, los nuevos retos a enfrentar y cómo el uso de la Inteligencia Artificial (IA) está mejorando el sector eléctrico. Finalmente, se presenta un trabajo desarrollado para sistemas de medición transactiva que combina el uso de blockchain y de IA para mejorar el uso de la energía.

Nuevas tendencias en la red eléctrica

Ahora, con el uso de las TICs, el medidor inteligente puede hacer más cosas al tener más capacidades de comunicación y procesamiento de datos. La tendencia actual de abaratamiento de los sistemas electrónicos ha hecho que hardware de procesamiento de datos como microcontroladores y en especial, tarjetas de computadoras simples (SBC, por sus siglas en inglés) sean cada vez más baratos y por tanto, sean capaces de tener nuevas aplicaciones [6].

Algunas nuevas aplicaciones ya han sido consideradas y aplicadas. Por ejemplo, los medidores pueden aplicar tarifas diversas como horas pico y recientemente, dada la alta penetración de energías renovables como la solar y eólica, los medidores son bidireccionales, permitiendo medir también la producción de energía eléctrica.

Los usuarios finales que, además de consumir, ahora pueden producir energía eléctrica son denominados prosumidores [7]. ¿Es este quizás uno de los principales disruptores en el sistema eléctrico de potencia, junto con las tres D de Descarbonización, Descentralización y Digitalización?

Nuevos retos en la red eléctrica

Para lograr la descarbonización, además de utilizar sistemas de energía distribuida (DER, por sus siglas en inglés), se han empezado a integrar directamente los medidores inteligentes con los sistemas de gestión de energía de tal forma que se puedan conectar y desconectar aparatos eléctricos que consumen mucha energía, tales como calefactores y aires acondicionados, así como conectar otros electrodomésticos cuando los precios de energía sean más baratos; es decir, ahora los precios de energía empiezan a manejarse en tiempo real conforme a la oferta y la demanda de la energía eléctrica.

Algunas empresas eléctricas, a través de programas de incentivos con la participación de los prosumidores, pueden apagar sus dispositivos cuando por cuestiones de producción de energía salga muy caro producirla, por lo que el usuario final deja de utilizar sus aparatos eléctricos a cambio de una retribución económica. A esto se le ha denominado respuesta a la demanda [8] y esto se ha empezado a integrar directamente a los medidores inteligentes.

Respecto a la descentralización, se ha empezado a trabajar en tecnologías que permitan abrir el mercado eléctrico ante todos los participantes y más con la inclusión de los prosumidores; por lo que los mercados eléctricos se empiezan a regir más por los sistemas transactivos de energía (TES, por sus siglas en inglés). La mayoría de los TES utilizan tecnologías como las cadenas de bloques (blockchain), que además de permitir descentralización, manejan técnicas criptográficas que permiten la seguridad de la información [9]. En este sentido, la seguridad y privacidad de los datos de medición es fundamental para conservar la confidencialidad, integridad y disponibilidad del suministro eléctrico [4].

Por otra parte, la digitalización ha sido crucial en el desarrollo de la sostenibilidad de la nueva red eléctrica. Particularmente, las TICs se han utilizado en otras partes del proceso de generación, transmisión, distribución, consumo y comercialización de la energía eléctrica. La digitalización ha traído consigo la creciente generación de datos [10].

Uso de la IA en la red eléctrica

La creciente explosión de datos, junto con el abaratamiento del hardware, ha hecho posible que se puedan aplicar técnicas de inteligencia artificial no solo en la nube (servidores con grandes capacidades de cómputo), sino que también se puedan desarrollar en dispositivos intermedios (cómputo en la niebla) y principalmente en los dispositivos finales (cómputo en el borde), como los medidores inteligentes.

Por ejemplo, se han utilizado los datos que generan los medidores inteligentes para determinar patrones de consumo que permitan, por una parte, reducir el consumo de energía, pero también, por otra parte, determinar componentes anómalos [5].

También los datos generados por medidores de energía eléctrica permiten tener modelos de pronóstico más eficientes para predecir la demanda y por ende abaratar costos en la generación.

Otra de las aplicaciones de la IA con el uso de medidores de energía eléctrica es que se pueden utilizar para medir eventos de calidad de la energía (por ejemplo, bajo o sobre voltajes, armónicos, entre otros) y lograr con ello tener un mejor estado de la red.

Otros autores se han enfocado más hacia el procesamiento de señales con la idea de poder identificar de forma rápida y sencilla los dispositivos eléctricos que consumen y cómo consumen la energía. Todo esto a través del procesamiento de señales, aplicando desde técnicas tradicionales como filtros y transformadas hasta técnicas de clasificación de datos utilizando marcos de trabajo como NILTK [2].

Hacia un nuevo sistema de medición de energía eléctrica inteligente.

Dadas las nuevas tendencias en mercados de energía eléctrica, así como las oportunidades tecnológicas que brinda la IA, en nuestro país [2] se empezó a desarrollar un sistema de cadena de bloques multinivel que, además de garantizar la ciberseguridad de los datos de los medidores inteligentes, permite la comercialización de la energía en sistemas transactivos a través del uso de un algoritmo de consenso que premia el buen uso de energía eléctrica, la generación de energía de forma limpia y la calidad de la energía utilizada.

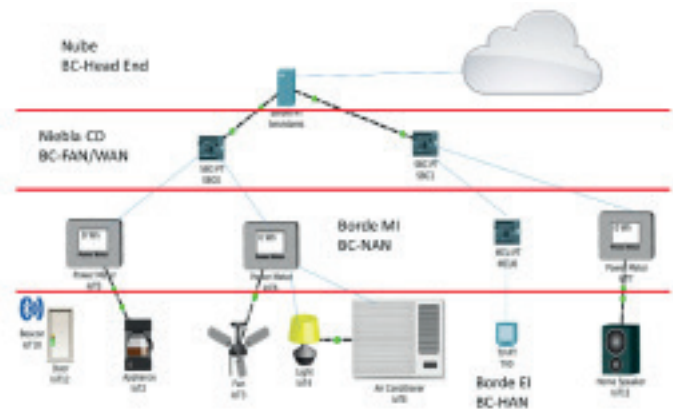


Figura 2. Sistema de Medición Inteligente en el contexto de computación distribuida en la nube-niebla-borde.

En la Figura 2 se puede observar cómo un sistema de medición inteligente puede adaptarse a entornos de computación distribuida, tanto en la nube, niebla como en el borde. Observe que, aunque el medidor inteligente está en el borde, existen otros dispositivos de Internet de las Cosas que pueden interactuar y procesar información, como cafeteras, lámparas, etc. El nivel de niebla está compuesto por los concentradores de datos, que son sistemas embebidos con mayores capacidades de almacenamiento y procesamiento que los medidores.

El blockchain implementado fue desarrollado desde cero en Python, permitiendo un fácil despliegue en medidores inteligentes, concentradores de datos y servidores. El medidor inteligente se realizó a través de una placa Raspberry Pi Model 3 con una tarjeta de medición de energía SmartPi.

En la Figura 3 se puede observar que la implementación de la cadena de bloques se hace en al menos 4 niveles. La primera (BC1), que corresponde a la red detrás del medidor, denominada red de área hogareña (HAN, por sus siglas en inglés), y que es la interconexión de dispositivos de consumo y producción de energía. La BC2 corresponde a la red entre medidores expresada como red de área vecinal (NAN por sus siglas en inglés). El tercer nivel (BC3) corresponde a la red entre concentradores de datos denominada red de área de campo (FAN, por sus siglas en inglés). Finalmente, la última parte (BCn) contiene toda la información

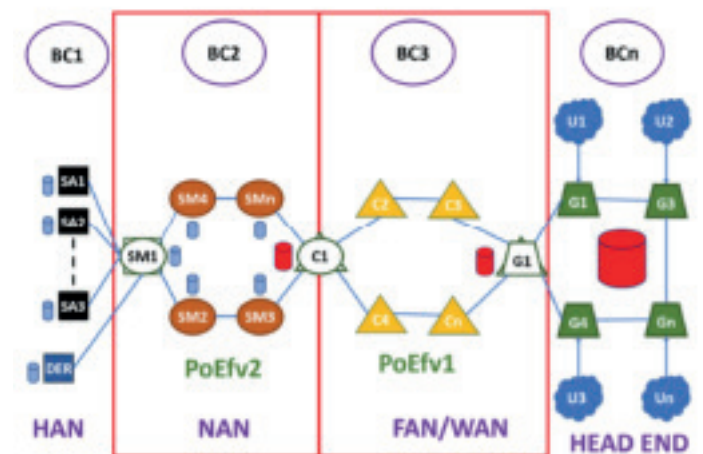


Figura 3. Arquitectura de blockchain multi nivel implementado

Nótese que en todos los niveles se cuenta con bases de datos que reflejan todas las transacciones realizadas en el sistema. Para nuestra implementación se tienen transacciones de compra (consumo de energía) y venta (producción), representando flujos negativos y positivos de dinero. La idea de segmentar la cadena de bloques es para mejorar el desempeño, ya que las capacidades de cómputo en los medidores (borde) no permitirían guardar y procesar toda la información. El algoritmo de consenso es la parte más importante de una cadena de bloques y es en donde se refleja su grado de inteligencia. El algoritmo implementado, denominado Prueba de Eficiencia (PoEf), es de votación simple, pero con tres aplicaciones de datos: robo de energía, calidad de la energía y pronóstico de consumo y producción de energía.

Para el pronóstico de consumo de energía se utilizó un esquema ARIMA, mientras que para el pronóstico de calidad de la energía se utilizaron técnicas de árbol de decisión y agrupamiento k-means para medir los diferentes eventos de calidad. Finalmente, para la detección de robo de energía se utilizó una variante de clasificador bayesiano. Todos los modelos son retroalimentados por computación en el borde-niebla-nube utilizando AMI en medidores inteligentes, concentradores de datos y servidores, tal y como se ilustra en la Figura 4.

Se puede observar en la Figura 4 que, en primera instancia (bloque 1), se ejecutan los modelos de forma local, para después enviarlos al siguiente nivel (bloque 2), en donde se concentran más datos provenientes de los niveles inferiores. Después se vuelven a ejecutar los modelos en el siguiente nivel (bloque 3), mandando los resultados a los niveles inferiores y procesándolos nuevamente (bloque 4), obteniendo un mejor desempeño a través de ajustes a prueba y error en base a las funciones de optimización planteadas.



Figura 4. Utilización de aprendizaje por refuerzo en la arquitectura implementada.

El desarrollo implementado logró, además de poder mejorar la calidad de la energía, evitar robos y fraudes de energía, así como mejorar los pronósticos de consumo y producción de energía; una disminución considerable en

las diversas tarifas eléctricas a nivel hogar (ver Tabla I). Para ello, se utilizaron datos de consumo de cuatro años de 2016-2020. Considerando que, en lugar de premiar a bajos costos, teniendo una tarifa escalonada por cantidad de consumo y clima como la tiene la Comisión Federal de Electricidad, se manejará una tarifa única para el consumo de producción de energía eléctrica que premie el uso más racional y eficiente de energía, así como el consumo y producción de energía de alta calidad.

De manera general, se puede observar que en las tarifas más bajas no hay una disminución real de precios; sin embargo, en las tarifas altas, el ahorro es considerable, teniendo una disminución promedio del 15.92%.

Una de las limitantes es que aun en nuestro país la penetración de energía eléctrica en el consumidor final es baja (generalmente vista en empresas medianas a grandes y no tanto en los hogares). Sin embargo, al aumentar el uso de energías renovables, se podrán conseguir mejores tarifas.

Tarifa	Costos promedios	Costos tarifas propuestas	% de reducción
	tarifas actuales		
1	\$377.14	\$389.67	+3.32
1A	\$401.67	\$405.92	+1.06
1B	\$527.35	\$530.71	+0.64
1C	\$633.19	\$632.16	-0.16
1D	\$748.26	\$744.25	-0.54
1E	\$893.49	\$867.43	-2.92
1F	\$1,127.61	\$1,053.66	-6.56
DAC	\$1,532.27	\$1,381.12	-9.87

Tabla I. Disminución de tarifas eléctricas en el hogar utilizando el algoritmo de consenso implementado.

Conclusiones

La IA está mejorando la red eléctrica inteligente en lo siguiente. Optimización del consumo: La IA analiza patrones de consumo energético para prever la demanda y optimizar la distribución de energía, reduciendo pérdidas y costos. Mantenimiento predictivo: Los algoritmos de IA pueden predecir fallos en los equipos, lo que permite realizar mantenimiento antes de que ocurran problemas, mejorando la fiabilidad de la red. Integración de energías renovables: La IA facilita la integración de fuentes de energía renovable al predecir la producción y ajustando la gestión de la red para equilibrar la oferta y la demanda.

Gestión de la carga: Mediante el análisis de datos en tiempo real, la IA ayuda a gestionar la carga de manera más eficiente, distribuyendo la energía según las necesidades y evitando sobrecargas.

Resiliencia ante fallos: La IA mejora la resiliencia de la red al identificar y mitigar rápidamente situaciones de riesgo, como apagones o problemas en la infraestructura.

Interacción con usuarios: Las plataformas de IA permiten a los consumidores monitorear y gestionar su consumo energético, fomentando el uso eficiente de la energía. Estas mejoras contribuyen a una red eléctrica más eficiente, sostenible y resiliente. 

Referencias

- [1] E. Y. Song, G. J. FitzPatrick, K. B. Lee and E. Griffor, "A Methodology for Modeling Interoperability of Smart Sensors in Smart Grids," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 13, no. 1, pp. 555-563, Jan. 2022, doi: 10.1109/TSG.2021.3124490.
- [2] J. C. Olivares-Rojas, "Ciberseguridad de Transacciones en Sistemas de Medición Inteligente Usando Cadenas de Bloque", Tesis de Doctorado.
- [3] M. Orlando et al., "A Smart Meter Infrastructure for Smart Grid IoT Applications," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 14, pp. 12529-12541, 15 July 2022, doi: 10.1109/JIOT.2021.3137596.
- [4] S. Zhang, Y. Zhang and B. Wang, "Antiquantum Privacy Protection Scheme in Advanced Metering Infrastructure of Smart Grid Based on Consortium Blockchain and RLWE," in *IEEE Systems Journal*, doi: 10.1109/JSYST.2023.3244630
- [5] F. Liu, C. Liang and Q. He, "Remote Malfunctional Smart Meter Detection in Edge Computing Environment," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 67436-67443, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2985725.
- [6] M. Fayazi, Z. Colter, Z. B. -E. Youbi, J. Bagherzadeh, T. Ajayi and R. Dresinski, "FASCINET: A Fully Automated Single-Board Computer Generator Using Neural Networks," in *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, vol. 41, no. 12, pp. 5435-5448, Dec. 2022, doi: 10.1109/TCAD.2022.3158073.
- [7] G. C. Okwuibe, T. Brenner, P. Tzscheuschler and T. Hamacher, "Survey and Analysis of Local Energy Markets Based on Distributed Ledger Technologies," in *IEEE Access*, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3254508.
- [8] H. R. Bokkissam, S. Singh, R. M. Acharya and M. P. Selvan, "Blockchain-based peer-to-peer transactive energy system for community microgrid with demand response management," in *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 8, no. 1, pp. 198-211, Jan. 2022, doi: 10.17775/CSEEJPES.2020.06660.
- [9] Z. Zeng, M. Dong, W. Miao, M. Zhang and H. Tang, "A Data-Driven Approach for Blockchain-Based Smart Grid System," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 70061-70070, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3076746.
- [10] D. Said, "A Survey on Information Communication Technologies in Modern Demand Side Management for Smart Grids: "Challenges, Solutions, and Opportunities," in *IEEE Engineering Management Review*, 2022, doi: 10.1109/EMR.2022.3186154.

Mecatrónica: robótica para la rehabilitación

Autores:

Andrés Blanco Ortega, Jonathan Villanueva Tavera, Héctor M. Buenabad Arias.

Importancia de la investigación:

La lectura y decodificación del pensamiento a través de las interfaces cerebro-computadora puede ser utilizada en la industria médica e ingenieril para optimizar y simplificar diversas tareas y aplicaciones.

Escuelas: TecNM/Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.

Palabras clave (Hashtags): #Sistemas de rehabilitación, #robótica para la rehabilitación, #rehabilitador de tobillo, #fisioterapia.

Disciplina: Ingeniería y Ciencias.

Área: Ingeniería, Medicina, Ciencias, Matemáticas, Computación.

Industria: Médica e Ingeniería de Control.

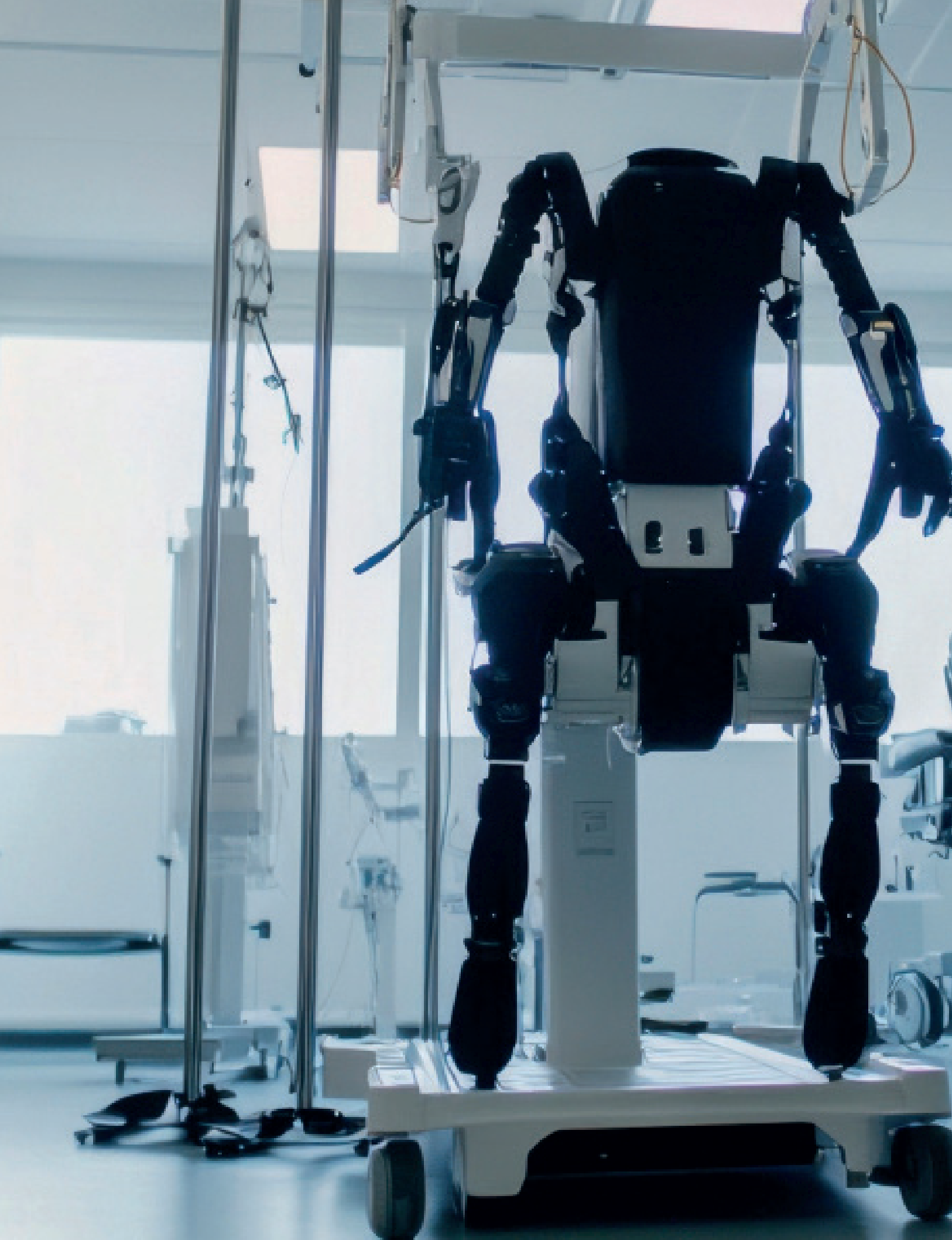
Los seres humanos estamos sujetos a presentar incidentes traumáticos, los cuales ocasionan lesiones en las extremidades inferiores y/o superiores. Estas lesiones ocasionan que no se puedan realizar actividades de la vida cotidiana. Posteriormente al tratamiento médico, el paciente, generalmente, mantiene en reposo la parte afectada. Cuando un músculo no se utiliza o se debilita, tiende a acortarse, resultando que las articulaciones se vuelvan rígidas y ocasionando deformidades. Esto provoca un deterioro muy notable sobre músculos y articulaciones, que, sin el estímulo del movimiento o una terapia física, pierden parte de sus aptitudes. Por lo que, generalmente, después de un tratamiento médico se requiere de un proceso de rehabilitación.

Otra problemática que se presenta en los seres humanos es el Accidente Cerebrovascular (ACV), también conocido como ictus, el cual es un síndrome clínico que genera discapacidad tanto física como cognitiva severa a largo plazo, perdiendo la capacidad de ser autosuficiente, y es causado por una hemorragia o bloqueo en los vasos sanguíneos del cerebro, que daña las células cerebrales y puede ser fatal, causando la muerte [1]. Un paciente que sufrió un ACV generalmente tiene pérdida de movimiento en la mitad del cuerpo, requiriendo rehabilitación inmediata para recuperar parte de la movilidad en las extremidades. En México se registran 170 mil casos de infarto cerebrovascular, de los cuales el 75 por ciento de las personas tendrá discapacidad total (grave o moderada), y solo el 25 por ciento logrará una recuperación exitosa [2].

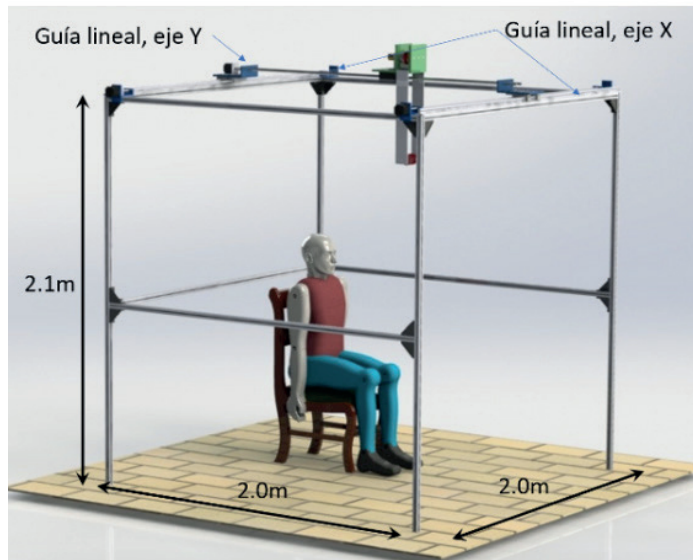
La rehabilitación es un proceso de reincorporación física, mental y social de duración limitada que tiene como propósito integrar a una persona a sus actividades diarias. Cualquier persona puede necesitar rehabilitación en algún momento de su vida, como consecuencia de una lesión, intervención quirúrgica, enfermedad, o cuando se presenten ciertas limitaciones funcionales como consecuencia del propio envejecimiento.

La Ingeniería Mecatrónica es una sinergia de varias disciplinas de ingeniería como la mecánica, electrónica, control y sistemas informáticos para el diseño y fabricación de productos electromecánicos inteligentes. En las últimas décadas, se han propuesto diversas máquinas o sistemas mecatrónicos (robots) para rehabilitación de miembros superiores e inferiores, siendo la mayoría de movimiento pasivo continuo (MPC). Las máquinas de MPC son utilizadas en la etapa inicial del proceso de reha-





bilitación, donde el paciente no aplica fuerza o no realiza esfuerzo para mover la parte afectada, la máquina es quien realiza el movimiento de la parte afectada. Las máquinas de MPC son utilizadas para recuperar la movilidad, evitar la rigidez en las articulaciones y recuperar el rango de movimiento. Estas máquinas son solo una herramienta para la labor física de los fisioterapeutas, de manera que proporcionen movimientos suaves, continuos y personalizados, con base en el estado de la lesión de cada paciente.



Para el diseño de estas máquinas se deben de conocer los movimientos que se tienen en las articulaciones, conocidos como grados de libertad. También, conocer las amplitudes máximas en cada uno de los movimientos, los movimientos que los fisioterapeutas proporcionan a los pacientes en sus sesiones de rehabilitación, que dependen del nivel de afectación.

La rehabilitación de las partes lesionadas del cuerpo requiere de un ejercicio de entrenamiento repetitivo y progresivo, y para mejorar la efectividad de la rehabilitación, el uso de sistemas robóticos es requerido por su capacidad intensiva de movimientos y su tiempo de duración.

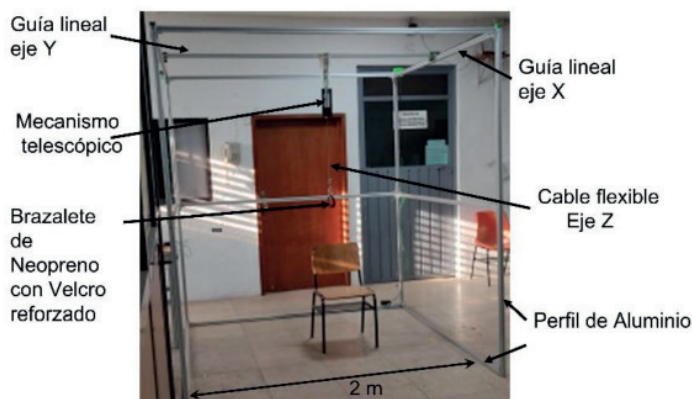
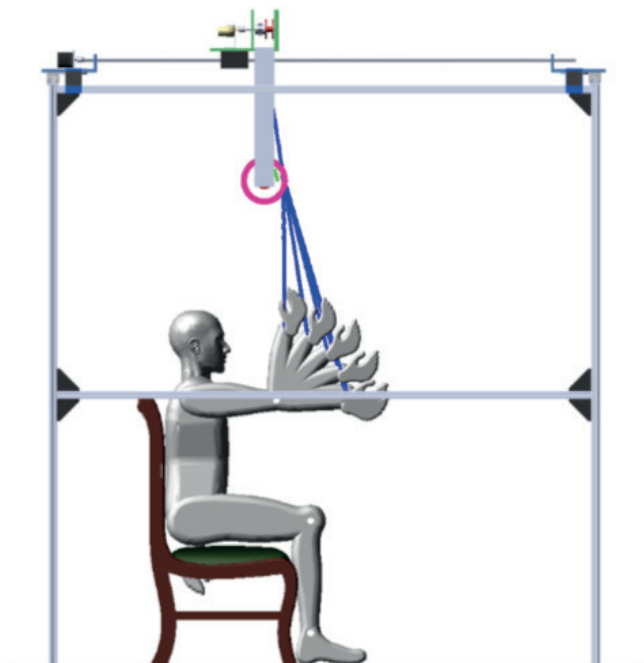
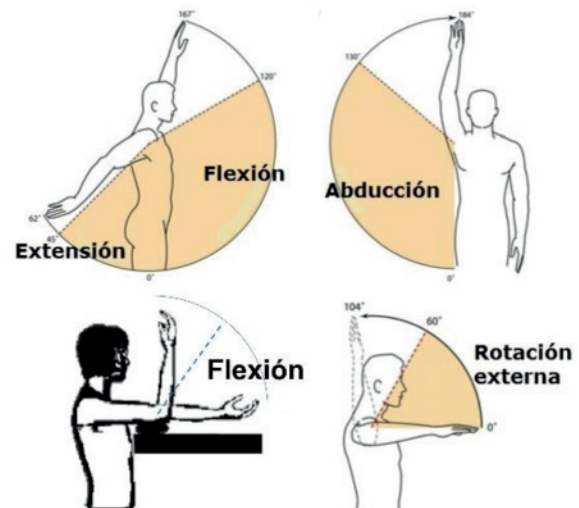


Figura 1. Rehabilitador de extremidades superiores con cable flexible. Prototipo virtual y físico.

llo Tecnológico, se han desarrollado diversos dispositivos robóticos para la rehabilitación, tanto de extremidades superiores como inferiores.

En la Figura 1 se muestra un rehabilitador de extremidades superiores con cable flexible [3, 4], prototipo virtual (diseño en un programa asistido por computadora) y prototipo físico. Este sistema mecatrónico contiene un sistema tipo grúa, en la parte superior se puede mover en los ejes X y Y. Al enrollar el cable, se tiene un movimiento en el eje Z. Con estos movimientos del sistema tipo grúa, se pueden proporcionar movimientos como: flexión, extensión, abducción, aducción, rotación externa y circunducción del brazo; flexión del brazo. Este tipo de sistema proporciona ventajas como rehabilitar ambas extremidades (derecha o izquierda), mayor amplitud de movimiento y más tipos de movimientos de rehabilitación.



En el TecNM/Centro Nacional de Investigación y Desarrollo

De manera similar, se presenta en la Figura 2 un reha-

bilitador para lesiones en el tobillo [5, 6]. Se muestra el prototipo virtual, el prototipo físico y los movimientos que se tienen en la articulación del tobillo. Este diseño mecatrónico proporciona movimientos de dorsiflexión-plantarflexión y abducción-aducción del tobillo. También proporciona movimientos combinados y complejos, como el trazar las letras del abecedario en un plano imaginario con el dedo hallux (dedo gordo del pie).



En la Figura 3, se muestran dos prototipos para la rehabilitación de la cadera. Estos son dispositivos que ayudan a disminuir el esfuerzo del fisioterapeuta en un proceso de rehabilitación. Puesto que, en la rehabilitación de la cadera, en movimientos de flexión, extensión y abducción, aducción, el especialista tiene que cargar toda la pierna del paciente para realizar los movimientos. Este sistema robótico proporciona los movimientos de flexión-extensión, abducción-aducción de la cadera, flexión de la rodilla y movimientos combinados.

Con base en el estado de la lesión en la articulación, el especialista deberá proponer una terapia de rehabilitación con el uso de estas máquinas mecatrónicas de rehabilitación. Definiendo el tipo de movimiento (amplitud y velocidad), el número de repeticiones y el número de sesiones. Posteriormente, y con base en otra valoración, se deberá de cambiar la terapia, hasta lograr una recuperación igual o cercana a como estaba la articulación antes de la lesión. Ese es el objetivo de la robótica para la rehabilitación: apoyar y mejorar la efectividad de los fisioterapeutas con el uso de dispositivos robóticos mientras intentan facilitar la recuperación de los pacientes.

Finalmente, se puede concluir que los rehabilitadores mecatrónicos son dispositivos que buscan mejorar la recuperación de un paciente después de haber padecido algún tipo de enfermedad o lesión en alguna parte de su cuerpo. Estos dispositivos empleados en rehabilitación surgen

debido al constante incremento del número de pacientes que requieren rehabilitación, la falta de personal profesional, falta de equipo y los insuficientes centros de rehabilitación. Un dispositivo mecatrónico aplicado a la rehabilitación, básicamente, se enfoca en servir como apoyo al fisioterapeuta en el proceso de recuperación del paciente.

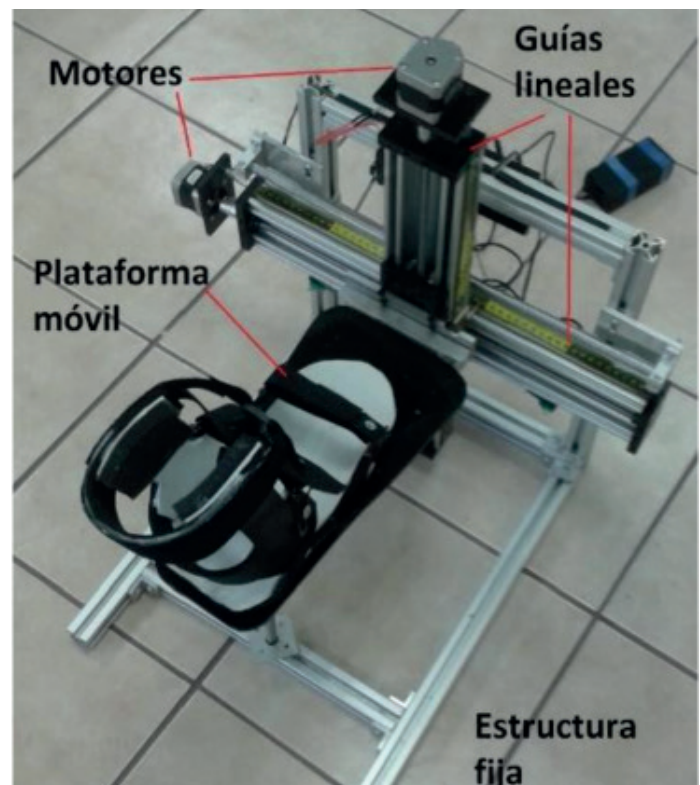
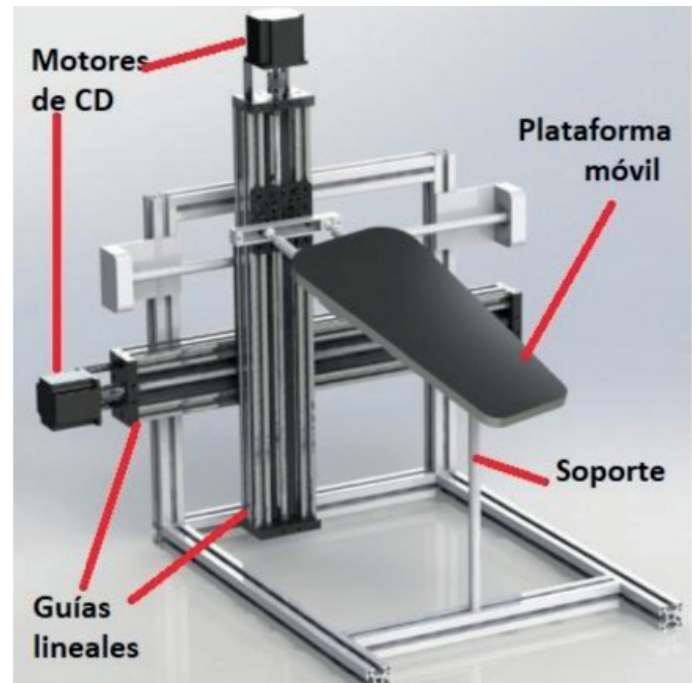


Figura 2. Rehabilitador de tobillo para movimientos de dorsiflexión-plantarflexión y abducción-aducción. Prototipo virtual y físico.

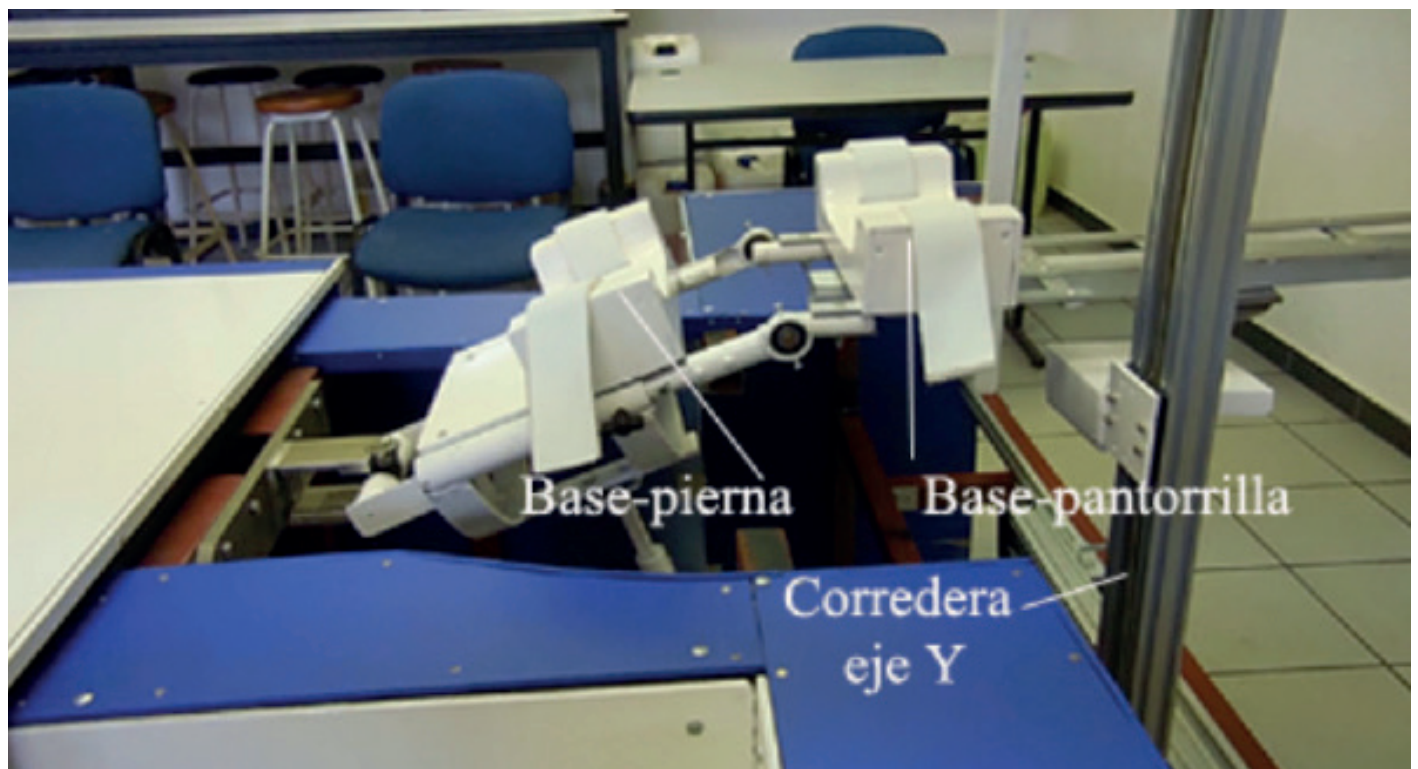
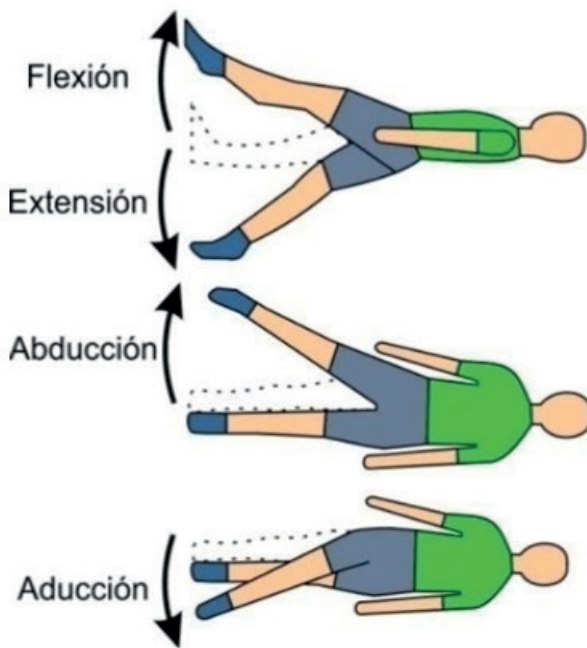
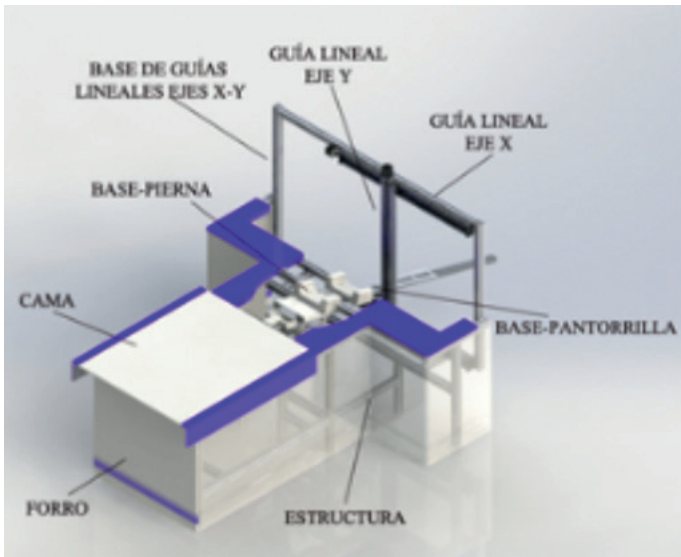


Figura 3. Rehabilitadores de cadera para movimientos de flexión-extensión, abducción-aducción. Prototipo virtual y físico.

Sin embargo, son muy pocas las máquinas mecatrónicas para rehabilitación que están disponibles comercialmente y al alcance de la población que lo requiere, por su alto costo. Por lo que el interés por desarrollar nuevos dispositivos mecatrónicos para mejorar la calidad de vida de las personas sigue vigente en las instituciones de investigación y desarrollo tecnológico.



Conclusiones

Resumen: La inteligencia artificial es el siguiente gran paso para una revolución industrial. Dicha tecnología es actualmente utilizada por muchos dispositivos de la vida cotidiana, desde celulares y automóviles hasta redes sociales. Dentro de esta área, las interfaces cerebro-computadora son consideradas de gran interés debido a que a través de ellas podemos leer y decodificar el pensamiento del ser humano. Esto abre la puerta a diversas aplicaciones, que pueden ir desde la rehabilitación de pacientes y detección de enfermedades hasta el control de dispositivos externos para simplificar y optimizar diversas actividades humanas.

Referencias

- [1] Demofonti, A.; Carpino, G.; Zollo, L.; Johnson, M.J. "Affordable Robotics for Upper Limb Stroke Rehabilitation in Developing Countries: A Systematic Review," IEEE Trans. Med Robot. Bionics, 3, 11–20, 2021.
- [2] Secretaría de Salud. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/salud/prensa/363-organizaciones-academicas-presentan-posicionamiento-contra-infarto-cerebral-en-mexico?idiom=es>. Último acceso: 22 de marzo de 2025.
- [3] Vargas-Ortiz, M. U., Blanco-Ortega, A., Lara-Barrios, C. M., Magadán-Salazar, A., Palacios-Gallegos, M. de J., Ramos Fon Bon, V. F. "Análisis Cinemático de un Sistema de rehabilitación para miembros superiores con cables flexibles," Jornada de Ciencia y Tecnología Aplicada. Vol. 4, Núm. 2, Julio - Diciembre 2021.
- [4] Vargas-Ortiz, M. U., Blanco-Ortega, A., Colín-Ocampo, J., Alcocer-Rosado, W., Palacios-Gallegos, M. de J., Ramos Fon Bon, V. F. "Sistema de rehabilitación para miembros superiores con cables flexibles," Jornada de Ciencia y Tecnología Aplicada. Vol. 4, Núm. 1, enero - junio 2021.
- [5] Blanco, A., Gómez, F., Olivares, V., Abúndez, A., Colín, J. "Design and development of a parallel robot based on an XY table for ankle rehabilitation," Int. J. Automation and Control, 9(2), pp.89–106. 2015.
- [6] Blanco Ortega, A.; Magadán Salazar, A.; Guzmán Valdivia, C.H.; Gómez Becerra, F.A.; Palacios Gallegos, M.J.; García Velarde, M.A.; Santana Camilo, J.A. "CNC Machines for Rehabilitation: Ankle and Shoulder Machines," 10, 1055. 2022, <https://doi.org/10.3390/machines10111055>
- [7] F. A. G. Becerra, A. B. Ortega, C. D. G. Beltrán, C. G. Valdivia and R. O. D. Arcega, "Design and control of a new parallel robot for the rehabilitation of the hip-knee," in IEEE Latin America Transactions, vol. 16, no. 5, pp. 1314-1319, May 2018, doi: 10.1109/TLA.2018.8407102.



Entrevista con la Dra. Margarita Tecpoyotl

Por Andrea Dominguez

Cuenta con más de 90 artículos de investigación científica y divulgación, los cuales han sido citados más de 290 veces, de acuerdo con Scopus, en revistas internacionales, y más de 550 veces de acuerdo con Google Académico. Además ha sido revisora en revistas científicas como Sensors, Applied Computational Electromagnetics Society Journal, Actuators, y Research Journal of Physical and Applied Science. Es también integrante del grupo de editores académicos del Asian Journal of Environment & Ecology.

Científica mexicana especializada en electrónica. Es profesora investigadora en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Cuenta con seis títulos de patente y una patente concedida, dos marcas y diez certificados de registro público de derechos de autor. Su principal línea de investigación se enfoca en el diseño de dispositivos microelectromecánicos. Junto con su grupo de investiga-

ción desarrollaron una antena para televisión abierta de dimensiones reducidas, la cual obtuvo diversos premios y reconocimientos a nivel mundial. (1)

Andrea: ¿Qué consideras que es lo más crucial que se debe atender en este momento en el área de bioingeniería y hacia dónde crees que vamos? ¿Qué es relevante para México?

Dra. Margarita Tecpoyotl: Claro que sí, en bioingeniería aplicada. Nosotros aquí en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos tenemos un programa relativamente nuevo en el que ya contamos con estudiantes de la primera generación de bioingeniería aplicada. La justificación de este programa de estudios es que existen problemas complejos en biología y otras áreas que requieren herramientas y metodologías desarrolladas en ingeniería. Estas herramientas pueden ayudar a los estudiantes a resolver problemas en biología, ciencias agropecuarias o ciencias del deporte. Es decir, sí, la bioingeniería es extremadamente amplia, y nosotros nos enfocamos en tres áreas: biología, agropecuarias y deporte.

Sí sabemos que hay muchos problemas que se tienen. Por ejemplo, en el sector agropecuario, hay esta necesidad de mejorar todo lo que tiene que ver con la autonomía en temas de alimentación. Aquí, en ciencias agropecuarias, se dedican básicamente al cultivo de plantas y también a los animales de crianza, destacando cerditos, gallinas,

etcétera. En estos problemas que ellos abordan, la ingeniería tiene mucho que ver, precisamente para ayudarlos a lograr sus objetivos. Con relación a la biología, pues no se diga. Ahora que estuvo la pandemia por COVID, nos dimos cuenta claramente de que hacen muchísima falta equipos electrónicos que apoyen, ya sea a lo largo de los tratamientos, o bien en temas de rehabilitación. Por lo que también es crucial el tema de la ingeniería aplicada hacia temas de salud. Y, por otro lado, están las ciencias del deporte, donde, para que una persona que hace ejercicio, aunque no sea de alto rendimiento, mantenga condiciones de salud adecuadas, para ello sí es importante que se aplique en la ingeniería. Desde otra perspectiva, se encuentran las ciencias del deporte. En este ámbito, la aplicación de la ingeniería resulta importante para asegurar que cualquier persona que realice ejercicio, incluso sin ser atleta de alto rendimiento, conserve un estado de salud apropiado. Para apoyar a las problemáticas existentes en este sector, pueden diseñarse sistemas que utilicen “wearables”, o diseñar equipos o aparatos, así como monitorear señales. En todos estos casos, nosotros observamos esta área de oportunidad de aplicar la ingeniería en estos temas en particular. Es esencial porque, aquí en la universidad, estábamos un poco separados. Cada quien por su lado, pero ahora CIICAp (Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas) se integra a estas dependencias de la misma universidad, y se presenta una oferta bastante atractiva, porque tenemos tanto la infraestructura propia de cada uno de los centros, física y humana. Los equipos y los investigadores. La verdad es que pinta muy bien, y esperamos que a los chicos les interese esta nueva ingeniería, bioingeniería aplicada aquí en la universidad.

Andrea: ¿Los proyectos qué tan vinculados se encuentran respecto al modelo de triple hélice? O sea, vincular al gobierno, la industria y la academia en triple hélice. ¿Cuál es la vinculación que tienen con este modelo en el desarrollo de sus proyectos?

Dra. Margarita Tecpoyotl: Ya están de alguna manera integradas las dependencias; y estamos en etapa inicial planteando los nuevos desarrollos. Tenemos en este momento a estudiantes en segundo semestre, y estamos por ingresar en el siguiente semestre a la nueva generación. Todavía necesitamos tiempo de maduración. Sin embargo, de manera independiente, CIICAp ha tenido una amplia vinculación con la industria desde la época del programa de estímulos a la innovación. En ese tiempo se desarrollaron muchos proyectos conjuntos. Esta vinculación favoreció posteriormente el trabajo conjunto, ya que se continuaron desarrollando algunos proyectos a petición de empresas o buscando satisfacer una necesidad identificada por los investigadores del CIICAp que pudiera ser útil para la empresa. Es decir, ofertándola, no sobre pedido, no que la empresa lo solicite, sino que nosotros identifiquemos y desarrollemos algo que pueda ser útil. Cuando desarrollamos nuestros proyectos de investigación o docentes, lo que buscamos es que se identifique plenamente una necesidad y que podamos dar algún resultado. Esperando un impacto

potencialmente positivo. Mejorando la calidad o como un producto para la industria. Sí tenemos una amplia vinculación. Esto ha hecho que nuestros estudiantes tengan la oportunidad de desarrollar estancias y hacer su tesis, en algunos casos, directamente con un enfoque hacia la industria. Y también que muchos egresados ya estén trabajando en empresas. Otra cosa relevante es que también ellos han tenido incidencia. Han formado parte de comités tutorales y han dado observaciones en el desarrollo de tesis, desarrollando así este modelo que se persigue, donde la industria o la empresa influye en el desarrollo de recursos humanos altamente calificados. Por otro lado, con relación a gobiernos, también hemos tenido la fortuna de que estas dependencias de carácter gubernamental, como Conahcyt (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías), hoy Secihti (Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación) y otras, brinden fuentes de financiamiento para que los proyectos puedan desarrollarse. Incluso también, en diversos momentos se enlazan de manera provechosa, en el estado de Morelos, el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (CCYTEM), el Centro Morelense de Innovación y Transferencia Tecnológica (CEMITT), y de alguna forma interactuamos de la mejor manera para divulgar resultados de la investigación. Esto es ampliamente valorado, ya que el estado está interesado en que se desarrollen ingenieros. Lo cual es relevante, pues, su impacto, como todos sabemos, también es un indicador de qué tan innovador es un estado y de qué tanto desarrollo tecnológico es capaz de realizar. Sí, creo que, afortunadamente, estos tres sectores sí se conjuntan de una manera útil, con una finalidad noble. O sea, sí, se busca que se desarrolle tanto la ciencia como la tecnología con potencial impacto social positivo, y que la gente se interese en estudiar estas áreas.

Andrea: ¿Estos proyectos son a corto plazo, a mediano plazo o a largo plazo?

Dra. Margarita Tecpoyotl: Muchas veces se ha dicho que los tiempos de la academia y los tiempos de la investigación no son iguales, porque nosotros enlazamos el desarrollo de proyectos con nuestros estudiantes, ya sean de licenciaturas, maestrías o doctorados. Eso implica, parcialmente, que el tiempo se divide entre el desarrollo del proyecto, las actividades académicas y las responsabilidades y obligaciones personales que se tienen. Por parte del profesor, nosotros tampoco somos profesores al 100% dedicados a la investigación. Somos profesores investigadores y parte de nuestro tiempo se involucra en actividades docentes; damos clases, dirigimos tesis y desarrollamos gestión académica. Esto hace que no podamos dedicarnos exclusivamente al desarrollo de un proyecto. Esto hace que los tiempos se alarguen. Sí entendemos muy bien las implicaciones que esto tiene, porque la empresa muchas veces tiene mucha prisa. ¿Por qué? Porque los mercados son muy dinámicos y la evolución tecnológica es muy rápida, lo que no coincide con los tiempos y diversos objetivos de la academia. Tratamos de dar respuesta, pero nuestros tiempos son diferentes.

Andrea: ¿Todos estos proyectos que se están desarro-



lando son proyectos que tienen relación con problemas que se quieran resolver de distintas comunidades de Morelos?

Dra. Margarita Tecpoyotl: Sí, pero no al 100%, porque la investigación que se realiza, si bien se busca que tenga impacto local, muchas otras tienen impacto más global o internacional. Entonces sí, aquí dependemos también del enfoque del investigador, de si está en contacto directo con las necesidades de la localidad, pues sí es posible que se desarrolle tanto conocimiento como tecnología y que se pueda aplicar de manera inmediata en el estado. Pero no del todo.

Andrea: ¿Se pueden implementar estos proyectos a corto plazo y resolver problemas de la comunidad y así generar más divulgación y presencia, para llegar a más personas? ¿Es viable ejecutar estos proyectos en el corto plazo para abordar problemáticas comunitarias y, de esta manera, aumentar su difusión y visibilidad para una mayor audiencia?

Dra. Margarita Tecpoyotl: Pues sería de enorme impacto. En principio yo creo que sería como parte de algo ideal, decir: “¿sabes qué? Tengo plenamente identificada en una localidad una necesidad que se tiene y podemos dar una solución pronto, ¿verdad? Pero, para lograr ese impacto rápido también requiere que tengamos matrículas muy, muy grandes. Comentaba, lamentablemente, que no solamente es una cuestión del estado, es una cuestión del país en lo general. La gente que estudia ingenierías no es una cantidad masiva; son pocas personas en lo general.

Entonces esto nos lleva a que, sí, sería algo absolutamente deseable, pero para eso también necesitamos salir de los laboratorios, de las universidades y tener este contacto directo. Con quien tenga las necesidades que hacen falta resolver. Existen muchas necesidades, no solo en el desarrollo de ciencia y tecnología, sino también en cuestiones académicas. Por ejemplo, se requiere desarrollar metodologías para fomentar la creatividad y la innovación que permitan a las personas aprovechar mejor sus ideas brillantes para comercializar productos, lo cual afortunadamente ya ocurre. Apoyamos a otras dependencias y organizaciones. Creo que nuestro impacto no es nulo; existe en diversas áreas, desde las académicas hasta temas de comercialización e incluso en cuestiones tecnológicas. Hay desarrollos hechos por la universidad que la gente ha utilizado en algún momento. Por ejemplo, nosotros desarrollamos una antena para televisión abierta en los años 2012-14 y, afortunadamente, por una temporada extensa, pues sí estuvo a la venta y tuvimos una aceptación notable.

Andrea: ¿Esa patente es parte de la universidad o es una patente donde tú tienes participación?

Dra. Margarita Tecpoyotl: Según la Ley Federal del Trabajo, todas las patentes desarrolladas en la universidad por académicos pertenecen a la universidad. Nosotros somos los inventores y tenemos cierta prioridad para comercializarla. Sin embargo, lo ideal es encontrar una empresa a

la que se le transfiera la tecnología y que tenga los recursos suficientes para producir en masa. Porque nosotros no tenemos los recursos ni tampoco herramientas para desarrollar en volumen, nosotros finalmente podemos aspirar con lo que tenemos a algo artesanal. Sí, queremos que la empresa se interese mucho y que invierta. Sin embargo, en tecnología, muchas cosas se pierden porque el mercado tecnológico evoluciona rápidamente. Por ejemplo, el tema de la televisión abierta sí fue crucial en su momento, pero hoy en día hay muchos elementos sustitutos, mucha competencia, entonces han surgido nuevas cosas. Entonces, sí, la verdad es que, al menos en la tecnología electrónica, es un asunto de mover rápidamente el conocimiento, transferirlo y explotarlo, ¿por qué? Porque existen cada vez más propuestas de forma acelerada. Ya todos sabemos que, por ejemplo, Corea y China son potencias en estas áreas y desarrollan productos a velocidad vertiginosa.

Andrea: ¿De qué manera México podría conseguir un beneficio competitivo y destacado frente a estas potencias en el desarrollo de microsensors, por ejemplo, que es un campo en el que también participas? Sobre todo en el campo de la salud, un área que mencionaste al principio, para generar sensores que ayuden a detectar problemas de tipo médico. ¿Qué opinas al respecto?

Dra. Margarita Tecpoyotl: Claro, finalmente las oportunidades existen y, bueno, yo siempre también he sido de la idea de que si no existen se pueden crear, ¿no? Pero para esto también necesitamos buscar la manera de fortalecer nuestras propuestas. Por un lado, cierto, podemos identificar y generar una idea. Sin embargo, sí necesitamos en considerable medida buscar a investigadores en otros sitios del país. Porque nosotros no tenemos “cuarto limpio”, es decir, laboratorio especializado en la fabricación de microcircuitos, y entonces lo que hacemos es apoyarnos en otras dependencias o instituciones, como es el caso de CIDESI (Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial) en Querétaro, o de la UACJ (Universidad Autónoma de Ciudad Juárez). Sí podemos desarrollar cosas, pues estamos abiertos a la colaboración en el sentido de ganar-ganar, que al final de cuentas es de lo que se trata. Aprovechar todos los recursos, tanto de equipo como de investigadores, para lograr resultados más acelerados. Para aprovechar todas esas oportunidades que no duran mucho. Pues si vamos a fallar, hacerlo más rápido para abrir nuevas oportunidades, y aprender de los fracasos también, porque es cierto que nada asegura que algo que nosotros plantemos sea realmente funcional, en tanto, no se fabrique y se pruebe. No se garantiza hasta que nosotros empezamos a trabajar en nuestros prototipos, nuestras mejoras, y entonces ya podemos pensar en mostrarlo, en publicarlo o en patentarlo, lo que aplique. Sí necesitamos trabajar de una manera relativamente expedita.

Andrea: ¿Qué mensaje mandarías a otras mujeres que quieran meterse en áreas de desarrollo o innovación tecnológica en ciencias?

Dra. Margarita Tecpoyotl: Tengo la seguridad de que

las chicas pueden encontrar aquí un área de desarrollo fascinante. Porque nosotras tenemos ese talento inherente de hacer diseño, como el diseño de modas, textil, etc., o de algo que se vea estéticamente bien, porque somos muy cuidadosas en la estructura, en la armonía, etc. Tal vez no elegimos la electrónica porque desconocemos que se puede desarrollar diseño electrónico. Finalmente, esto implica volver a cuestiones geométricas, estéticas y armónicas, que son una oportunidad invaluable de desarrollo. Aplicamos todas nuestras aptitudes y las conjuntamos con los aspectos técnicos requeridos, logrando cosas hermosísimas. Quizás la falta de conocimiento sobre el potencial del diseño electrónico nos impide elegirlo. En esencia, esta disciplina nos lleva a explorar aspectos geométricos, estéticos y armónicos, brindándonos una valiosa oportunidad de crecimiento. Al integrar nuestras habilidades con los requisitos técnicos, podemos crear resultados verdaderamente hermosos. Conozco a una chica estudiante que me decía: “Es que yo correspondo a un área que es muy básica”. Cuando decimos básica, nos referimos a la matemática o física pura, y yo le decía: Pero tienes el conocimiento, tienes toda la inteligencia y la puedes aplicar, puedes aprender a que eso que tú conoces lo puedes conjuntar con otra habilidad. Y hoy la veo manejando máquinas, equipos y software y me da mucho gusto pensar en cómo ella conjuntó todo ese conocimiento que tenía con las habilidades de electrónica. Y creo que igual que ella hay muchas chicas brillantes que pueden desarrollar cosas. Esto es como la creatividad; hay gente que dice: “Es que yo no soy tan creativo, no puedo hacer tantas cosas o proponer algo nuevo”. Sin embargo, hay metodologías que permiten potenciar la creatividad, y empresas como Google y cualquier otra de vanguardia utilizan técnicas creativas; entonces, en realidad es cuestión también de entrenamiento. Igual que un deportista puede ser muy bueno porque practica todos los días, un chico o una chica pueden ser tan competentes como su voluntad, determinación y disciplina lo permitan. 

Más información

Margarita Tecpoyotl: tecpoyotl@uaem.mx

Andrea Dominguez: andrea@gaiabit.com

Referencias

(1) https://es.wikipedia.org/wiki/Margarita_Tecpoyotl_Torres

10 ENE
12:00h

Una exposición de
Radharani Torres

APERTURA

Espectro de Brocken

AMPLIA
GALERÍA

ENTRADA LIBRE

Del 10 al 30 de enero 2026

Av Baja California 212, Roma Sur, CDMX

An aerial photograph of a dense, lush green forest. Sunlight filters through the canopy, creating a dappled light effect. The forest is composed of various shades of green, from deep forest green to bright yellow-green where the sun hits. The text is overlaid in the bottom left corner.

El uso de Drones para la conservación de los Bosques Mesófilos de Montaña en México



Autores:

Marco Antonio Lara de la Calleja, Guillermo Mejía Méndez, Juan Fernando Marín López, Sonia Gutiérrez Luna, Luis Manuel García Martínez.

Institución:

TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla, Maestría en Ciencias Ambientales, Ingeniería en Administración, Zacapoaxtla, Puebla, México

TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Ingeniería en Mecatrónica, Teziutlán, Puebla, México

Palabras clave: Bosque mesófilo, Drones, tecnología, Ambiental

Resumen: De las comunidades vegetales que se desarrollan en nuestro país, el Bosque mesófilo de Montaña es probablemente uno de los más vulnerables y amenazados por factores, tales como cambio climático global. El uso de drones en la conservación ambiental ha emergido como una herramienta revolucionaria para el monitoreo y protección de ecosistemas forestales.

Disciplina principal:

Ciencias Ambientales y Tecnología

Áreas de aplicación: Tecnología ambiental

Industria mayormente relacionada:

Sector ambiental, información geográfica ambiental

Dentro de la gran variedad de comunidades vegetales que se desarrollan en el territorio de México destacan los llamados bosques mesófilos de montaña, que son unidades de vegetación complejas, con tolerancias ambientales muy amplias, riqueza florística notable e historia evolutiva muy interesante [1]. En México, ocupa una superficie cercana a 1%, considerando vegetación secundaria derivada de esta formación, o poco más de 0.4%, si se considera solo vegetación primaria, de acuerdo con el INEGI [2]. El clima dominante reportado por Rzedowski [3, 4] pertenece al tipo Cf (templado húmedo con lluvias todo el año) de la clasificación de Köppen [5]; sin embargo, comenta que esta formación llega a prosperar en algunas partes en climas de tipo Af (cálido húmedo sin temporada seca), Am (caliente húmedo con corta temporada seca), Aw (caliente húmedo con larga temporada seca) y Cw (templado húmedo con temporada lluviosa en época caliente del año). Además, en un conjunto de fuentes consultadas se encontró una distribución heterogénea sin tendencias marcadas en cuanto a climas entre el Pacífico y el Golfo de México.

De las comunidades vegetales que se desarrollan en nuestro país, el Bosque mesófilo de Montaña es probablemente uno de los más vulnerables y amenazados por factores, tales como cambio climático global, que



Fig. 1. Vuelo de Dron. Imagen Propia.

afecta la fenología de todos los grupos de organismos; la deforestación de formaciones vegetales de regiones adyacentes (conversión de selvas húmedas a potreros, lo cual tiene alto impacto sobre la formación de nubes), y la deforestación para destinar el suelo del bosque a la agricultura de subsistencia o a cultivos extensivos de café o de otros productos. Todo ello afecta el equilibrio ecológico del bosque y ha ocasionado que este se encuentre en condición de riesgo para su supervivencia. Si bien es cierto que se han hecho esfuerzos muy loables para su conservación, a la fecha estos parecen ser insuficientes ante la magnitud de los procesos de deterioro y modificación a que se encuentra expuesto el bosque mesófilo de montaña.

Como se ha mencionado los bosques mesófilos de montaña en México enfrentan múltiples amenazas que comprometen su integridad y supervivencia. Estos ecosistemas, también conocidos como bosques de niebla, son vitales debido a su alta biodiversidad y a los servicios ambientales que proporcionan, como la captura y regulación del agua, la filtración de contaminantes y la regulación del clima. En las últimas décadas, la superficie de estos bosques ha disminuido drásticamente. En la década de 1970, ocupaban aproximadamente el 0.86% del territorio nacional; sin embargo, para 2007, esta cifra se redujo al 0.01%, lo que representa una pérdida del 90% de su área original [6].

Un factor crítico es la deforestación causada por el avance de la frontera agrícola, la urbanización y la tala ilegal. Esta situación ha llevado a una drástica reducción del bosque mesófilo de montaña, catalogándolo como uno

de los ecosistemas más amenazados del país [7]. La fragmentación del hábitat compromete la conectividad ecológica, lo que impide la movilidad de especies y su adaptación frente a las presiones ambientales.

La pérdida de este ecosistema también implica una disminución significativa en los servicios ambientales que brinda, como la captación y regulación del agua, la conservación de suelos y la mitigación del cambio climático [8]. La degradación del bosque mesófilo afecta directamente a las comunidades humanas que dependen de estos recursos naturales para su subsistencia.

El uso de drones en la conservación ambiental ha emergido como una herramienta revolucionaria para el monitoreo y protección de ecosistemas forestales (Fig.1). Estos vehículos aéreos no tripulados permiten acceder a áreas remotas y recopilar datos precisos en tiempo real, facilitando la detección de actividades ilegales y el seguimiento de la biodiversidad. Organizaciones de conservación han adoptado esta tecnología para detectar invasiones ilegales en territorios indígenas y monitorear la salud de los bosques [9].

Mecánicamente, los drones operan mediante un sistema de propulsión basado en rotores eléctricos, generalmente cuatro o más, que les otorgan capacidad de vuelo vertical y estacionario, ideal para sobrevolar áreas de difícil acceso en la selva o montañas. El control de vuelo está a cargo de un controlador central y sensores inerciales que estabilizan el dron durante el vuelo. Además, su sistema GPS permite realizar vuelos autónomos programados por rutas previamente definidas en software especializado [10]. Esta capacidad de automatización ha optimizado tareas como la recolección de datos cartográficos y la supervisión de áreas protegidas.

En proyectos de reforestación, drones con mecanismos de disparo neumático o de gravedad se usan para lanzar cápsulas de semillas directamente en terrenos degradados. Estas cápsulas, que contienen una mezcla de semillas, nutrientes y material orgánico, son diseñadas para asegurar la germinación en condiciones adversas, lo que permite reforestar extensas superficies en menor tiempo y con menor intervención humana [11]. A través del uso de drones se puede mapear primero la zona a intervenir, luego aplicar algoritmos que identifiquen zonas óptimas para sembrado (Fig. 2), y finalmente ejecutar el vuelo de siembra de forma precisa.



Fig. 2. Zonas óptimas de sembrado, Imágenes para conteo de árboles adquiridas con drones (Guevara-Bonilla, M; Meza-Leandro, et. Al., 2020)

Además, los drones permiten la evaluación continua del crecimiento forestal mediante imágenes multispectrales (Fig. 3), que detectan variaciones en la reflectancia de las hojas, lo cual es útil para identificar signos de estrés hídrico, enfermedades o plagas antes de que sean visibles a simple vista [12]. Estas capacidades permiten tomar decisiones rápidas y fundamentadas para la gestión y conservación del bosque.

La conservación de los bosques mesófilos de montaña, considerados uno de los ecosistemas más ricos y vulnerables del planeta, requiere de estrategias innovadoras que integren tecnología y sostenibilidad. El uso de drones representa una herramienta para enfrentar los desafíos ambientales que amenazan estos bosques. Beneficios como la capacidad de generar información geoespacial precisa, monitorear en tiempo real y acceder a zonas remotas sin impacto directo sobre el entorno, los drones permiten realizar diagnósticos ambientales más rápidos y efectivos. Además, su aplicación en tareas como la reforestación mediante dispersión de semillas y el seguimiento del estado de la vegetación fortalece los esfuerzos de res-

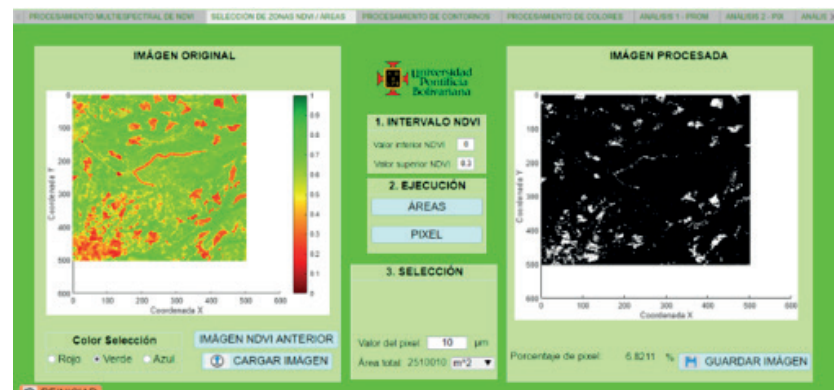
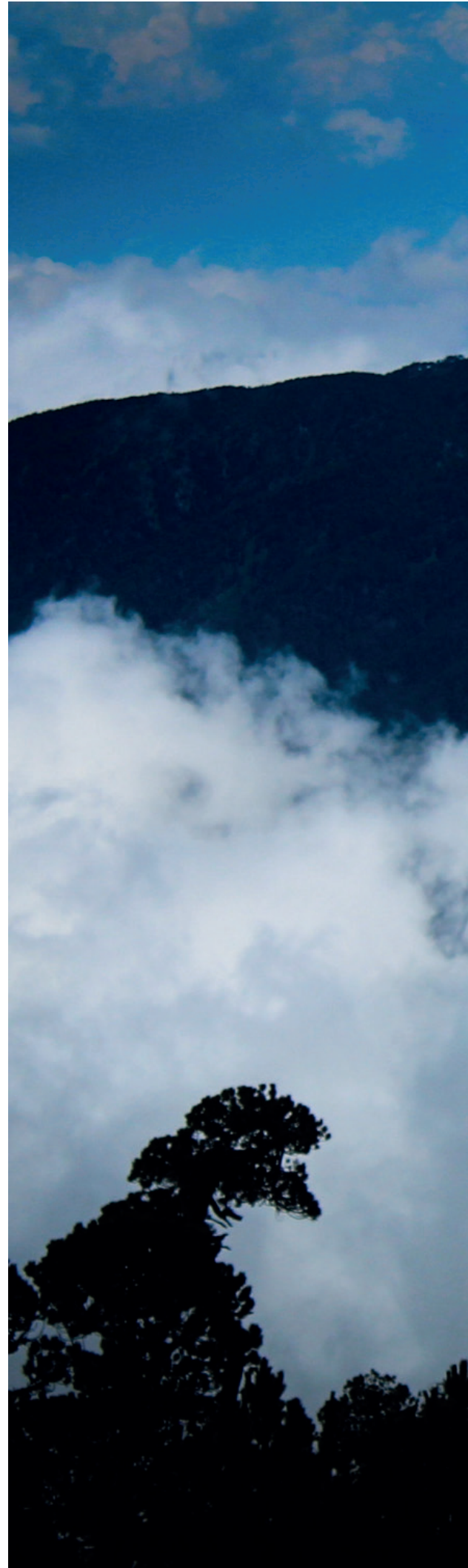


Fig. 3. Imágenes multispectrales adquiridas con drones para la caracterización de sistemas agroambientales (Hernández y Gulfo, 2021)

tauración ecológica. Así, la sinergia entre la tecnología de drones y las políticas de conservación ofrece una oportunidad valiosa para preservar los bosques mesófilos de montaña y los servicios ambientales que proveen, garantizando su preservación para las generaciones futuras.

Referencias

- [1] Gual-Díaz M., González-Medrano F. 2014. Los bosques mesófilos de montaña en México. En: Gual-Díaz M. y Rendón-Correa A. (Comps.). Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo. CONABIO México, D. F. pp. 27-68.
- [2] INEGI. 2007. Carta de uso de suelo y vegetación. Serie IV, escala 1: 250 000. México.
- [3] Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México. 432 p.
- [4] Rzedowski J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. Acta Botánica Mexicana 35:25-44.
- [5] Köppen W. 1948. Climatología. Fondo de Cultura Económica. México. 478 p.
- [6] SEMARNAT. (2021). Bosques mesófilos de montaña, amenazados por el cambio climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- [7] CONABIO. (2020). Bosques mesófilos de montaña de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://www.gob.mx/conabio/prensa/bosques-mesofilos-de-montana-de-mexico> <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/bosques-mesofilos-de-montana-amenazados-por-el-cambio-climatico-306631>
- [8] SEMARNAT. (2021). Bosques mesófilos de montaña, amenazados por el cambio climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- [9,10] CIFOR. (2023). Uso responsable de drones en la conservación de la biodiversidad: Directrices para las organizaciones ambientales y de conservación que utilizan drones. Recuperado de <https://www.cifor-icraf.org/es/conocimiento/publicacion/8885/>
- [11]. Conservación de Bosques. (2024). Cómo utilizar drones en proyectos de reforestación. Recuperado de <https://conservaciondebosques.com/como-utilizar-drones-en-proyectos-de-reforestacion/>
- [12] Biopaisaje. (2024). Gestión ambiental innovadora: El poder de los drones y sensores multiespectrales en la restauración ecológica. Recuperado de <https://biopaisaje.eco/gestion-ambiental-innovadora-el-poder-de-los-drones-y-sensores-multiespectrales-en-la-restauracion-ecologica/>





Interfaz Gráfica para Robot de Asistencia y Servicio

Autores: Diego Fernández Maldonado, Jonathan Villanueva Távira

Departamento: Ingeniería Mecatrónica.

Grupo de enfoque (investigación): Innovación de productos.

Escuelas: TecNM/Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.

La Robótica durante muchos años se ha posicionado como un área de interés y asombro para la niños, jóvenes y adultos. Esta disciplina a través de la historia ha generado un sinnúmero de expectativas y relatos plasmados en mitos como: los argonautas, el robot gigante Talos, la tecno-bruja Medea, el hombre artesano Dédalo, así como el portador de fuego Prometeo y Pandora, personifican el concepto de seres autómatas con inteligencia artificial [1].

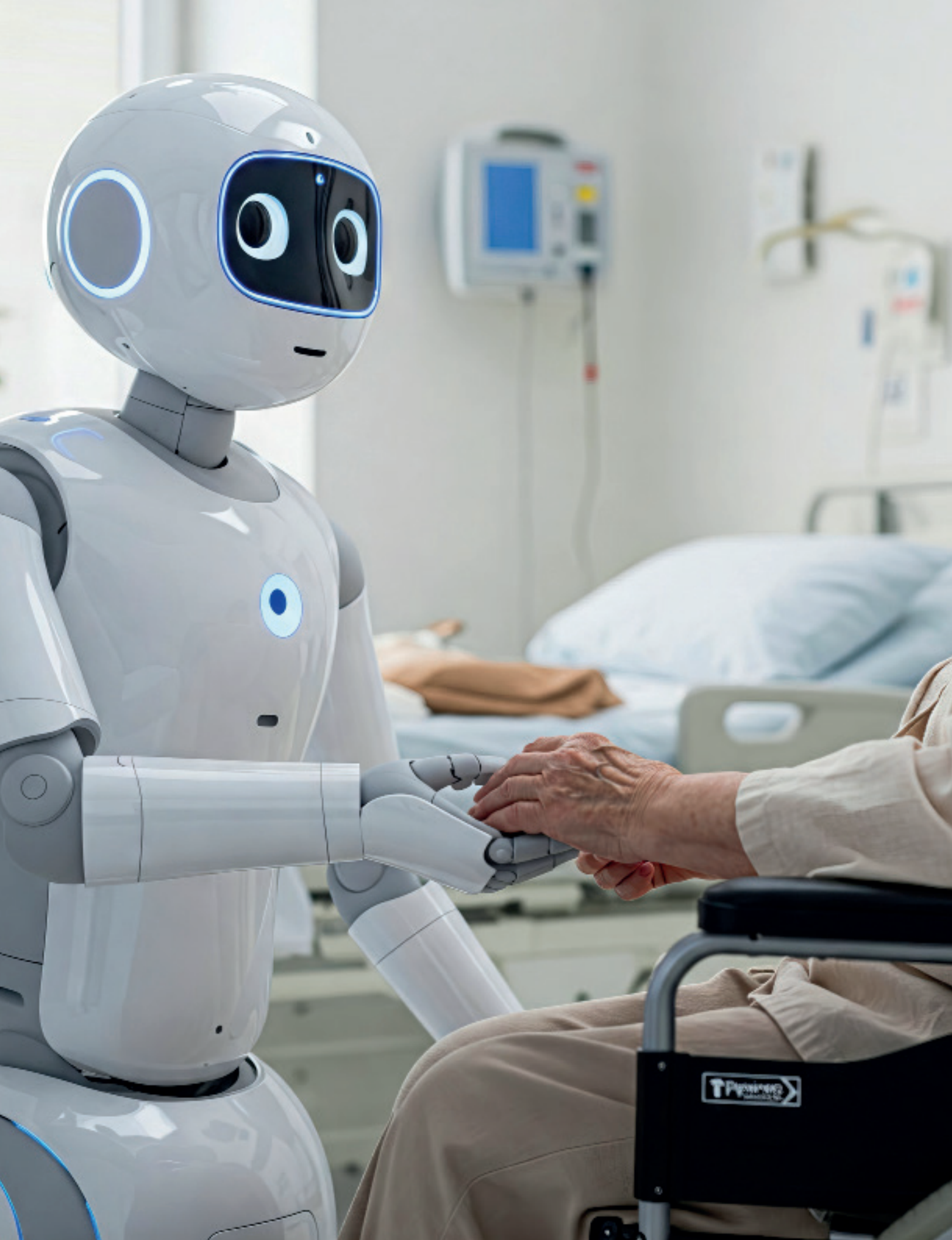
Por otro lado, en la mitología judía se narra la leyenda del gigante llamado Golem, un ser creado mediante arcilla y barro de forma antropomorfa. Golem fue construido con la finalidad de proteger al pueblo judío. Cada día se volvía más fuerte y su creador tenía que darle instrucciones muy precisas, ya que, en algunas ocasiones, le asignaba tareas como recolectar leña y al no precisar la cantidad era susceptible de talar un bosque completo. [2].

Actualmente e inspirados en las leyendas mitológicas, la robótica de asistencia y servicio busca la forma de diseñar y programar máquinas que sirvan de apoyo en diferentes áreas estratégicas de países de primer mundo apoyando en áreas como: la agricultura, la construcción, la medicina, el deporte, el entretenimiento y el hogar por mencionar algunas. Sin embargo, aún existen algunos desafíos tecnológicos que conllevan a realizar investigación en tres líneas principalmente: la visión para la navegación, la destreza para el control y la cognición para la interacción humana [3] (Ver Figura 1).



Figura 1. Desafíos tecnológicos en los Robots de Asistencia y Servicio [3].





En el Tecnológico Nacional de México, Campus Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (Cenidet) en colaboración con el Laboratorio de Internet de las Cosas de la Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos se realiza investigación en la línea de Robots de asistencia y servicio. Motivados e inspirados por la leyenda del Golem, se planteó el desarrollo de un robot cuyo objetivo es asistir a padres de familia y pacientes dentro de un hospital en el área de pediatría, con la finalidad de brindar un mejor servicio e incrementar la calidad de la atención médica (CAM) [4]. La finalidad de impulsar este proyecto trae consigo múltiples ventajas para apoyar en las tareas repetitivas de un hospital, permitiendo aumentar la eficiencia del trabajo dentro del mismo y brindando apoyo al personal de este en tareas como la toma de signos vitales. Es notable destacar, que, para la interacción del público con el robot, se le colocó una pantalla táctil para poder navegar a través de sus diversas opciones. El robot es capaz de hablar mediante distintos comandos de voz programados, así como también realizar la identificación de objetos o personas, gracias a las redes neuronales artificiales implementadas en la Jetson Nano.

Para el diseño y la construcción de este robot, se dividieron las tareas en cuatro etapas que se detallan a continuación: a) Diseño mecánico; b) Sistema Electromecánico; c) Sistema de Visión y la d) Interfaz gráfica. (Ver Figura 2).

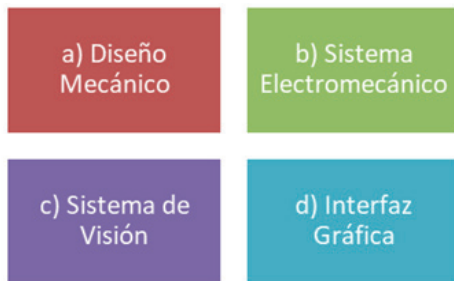


Figura 2. Etapas de la Construcción del Robot de asistencia y Servicio.

Diseño Mecánico. - En lo que respecta al diseño mecánico fue realizado por la empresa colombiana AndyBot y su diseño fue concedido en licencia al Laboratorio de Internet de las Cosas de la Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos, para su uso con propósitos académicos. Fue impreso pieza por pieza mediante una impresora 3D y filamento tipo PLA con una duración de 300 horas para culminar su ensamblado y armado. Al concluir la impresión de las piezas, las mismas fueron pulidas y ensambladas. Una vez, concluido el proceso de ensamble se montó el chasis sobre una superficie de madera para lograr darle estabilidad a la estructura. En la figura 3 se muestra la figura del robot ensamblado, la idea es que también el robot sea una imagen empática hacia los niños y familiares del hospital. De tal forma, que un robot inspirado en un personaje de dibujos animados es una buena opción para lograr una interacción con el público general y con niños y niñas.



Figura 3. Diseño Mecánico del Robot de Asistencia y Servicio.

El robot consta de una base y dos ruedas de direccionamiento diferencial y es impulsado por las mismas sobre una superficie mediante la acción de ruedas montadas en él, se asumen las siguientes hipótesis [5]: a) El robot móvil se mueve sobre una superficie plana horizontal, es decir la energía potencial es constante; b) Los ejes de referencia son perpendiculares al suelo; c) No existen elementos flexibles en la estructura del robot, incluyendo las ruedas; d) El contacto entre cada rueda y el suelo se reduce a un solo punto y f) No existe deslizamiento.

Los robots móviles son capaces de realizar movimientos en espacios ilimitados en comparación con los robots manipuladores y uno de sus principales objetivos es efectuar de forma autónoma movimientos planificados con gran exactitud. La configuración de robot diferencial, y el uso de ruedas es la forma preferida empleada de los robots móviles, debido a que se requiere menos energía, los motores son más baratos, son estables y sirven para la mayoría de los escenarios siempre y cuando las superficies sean planas [6] (Ver Figura 4).



Figura 4. Robot fijado en la base e interactuando.

Sistema Electromecánico. - En lo que concierne al sistema electromecánico este se encuentra conformado por la placa de control Arduino, los motores de corriente directa y la batería del robot. Estos componentes son los que dotan de movimiento al robot y a sus ruedas para el desplazamiento del mismo. Los motores con los que cuenta actualmente el robot tienen las características Gearmotor 37D 70:1 Pololu (ver figura 5).

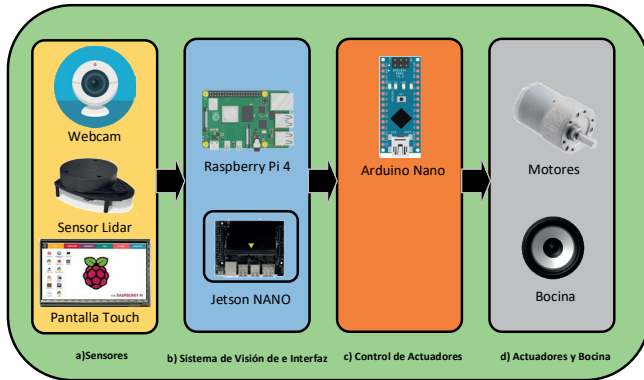


Figura 5. Componentes que interactúan con el sistema electromecánico.

Sistema de Visión. - Este sistema se implementa con la finalidad expandir la aplicación y funciones del robot. Agregando una actividad muy realizada hoy en día en los lugares públicos como la identificación de usuarios que no porten cubrebocas. El sistema funciona mediante una cámara y una tarjeta Jetson Nano que contiene una red neuronal artificial convolucional entrenada para la identificación de las personas que porten el cubrebocas. La finalidad de la detección de personas que no porten el cubre bocas, es emitir un mensaje de voz realizando la invitación a portar el mismo. (Ver figura 6).



Figura 6. Simulación en Webots del recorrido del Robot.

Interfaz Gráfica. - Hoy en día los robots cuentan con una interfaz gráfica de bajo y alto nivel, donde el usuario interactúa con: íconos, menús, ventanas y barras de desplazamiento. La finalidad de la interfaz gráfica es contar con un medio de interacción con el usuario para la lectura de la información procedente del mismo, para ello se desarrolló una interfaz gráfica en Python con el apoyo del software PyQt5 con la finalidad de usar las funciones básicas del robot mediante una pantalla táctil, con el fin de que el usuario pudiera interactuar con las actividades que puede realizar el robot.

En la figura 7, se muestra la pantalla correspondiente a la interfaz gráfica realizada. En dicha figura se cuenta con el menú principal que contiene todas las operaciones básicas que realiza el robot. Otra importante tarea que realiza el robot es la de registrar los signos vitales básicos con el objetivo de llevar un historial de los pacientes que fueron atendidos, así como mostrar de una forma amigable esos datos. Para concluir con la parte de la interfaz gráfica, se

cuenta con una opción para emitir una sirena de emergencia en caso de que se requiera alguna situación específica de peligro como algún niño extraviado, una herida o un incendio.

En una etapa futura se pretende identificar automáticamente estas situaciones y que el robot accione la alarma de forma automática (Ver Figura 8).



Figura 7. Interfaz gráfica principal.



Figura 8. Pantalla para funciones de apoyo.

Trabajos futuros:

Uno de los trabajos a mediano plazo es el trabajar en el tipo de movimiento que deseamos que tenga el robot. En este caso, este prototipo cuenta con una navegación de tipo reactiva que es aquella que emplea sensores, o una línea en el piso para desplazarse como los seguidores de línea, seguir una pared para llegar a una meta o esquivar objetos siguiendo una trayectoria aleatoria. Para este tipo de navegación los robots reaccionan directamente a su entorno [8]. Sin embargo, uno de los enfoques a probar en este prototipo será el de dotar de una navegación de tipo autónoma a nuestro robot. Por lo anterior, este tipo de navegación admite tareas más complejas, pero se requiere que se conozca la posición del robot, así como un mapa del entorno [8].

Conclusiones

Se diseñó e implementó un robot de asistencia y servicio capaz de apoyar en las funciones básicas en hospitales, específicamente en zonas de pediatría. Las funciones a realizar son la toma de signos vitales, así como la función de colaborar en las tareas repetitivas. El robot ha sido

presentado en varios eventos académicos y su funcionalidad ha sido probada en distintos consultorios para poder obtener la retroalimentación correspondiente por parte de los usuarios y médicos. En el mes de marzo de 2023 este proyecto ganó la acreditación para participar en el certamen internacional RoboFest que se realizó en la Universidad Lawrence en el mes de mayo del presente año. (Ver Figura 9). 



Figura 9. Exposición del Proyecto en RoboFest 2023.

Referencias

- [1] Adrienne Mayor (2019), *Dioses y Robots: Mitos, Máquinas y Sueños Tecnológicos en la Antigüedad*, Desperta Ferros Ediciones.
- [2] Isaac Bashevis Singer (1983), *Golem, el coloso de barro*, Editorial Noguer.
- [3] Balaguer, C., Gimenez, A., Jardon, A., Cabas, R., Coreal, R. (2005) Live experimentation of the service robot applications for elderly people care in home environments, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*.
- [4] Islas Cerón RG, Valencia Ortiz AI, Bustos Vázquez E, Ruvalcaba Ledezma JC, Reynoso Vázquez J. Asociación entre calidad de atención y el nivel de saturación del servicio de urgencias de un hospital de Hidalgo, México. *JONNPR*;5(10):1163-78. DOI: 10.19230/jonnpr.377, (2020).
- [5] Pérez Arreguín, Tovar Arriaga, Villaseñor Carrillo, Gorrostieta Hurtado, Pedraza Ortega, Vargas Soto, Ramos Arreguín, Sotomayor Olmedo. Robot Móvil de Tracción Diferencial con Plataforma de Control Modular para Investigación y Desarrollo Ágil de Proyectos, (pp. 78,79). Universidad Autónoma de Querétaro (2011).
- [6] Daniel Eduardo Hernández Sánchez, José Ramón Eguibar Cuenca, Carmen Cortés Sánchez, José Fernando Reyes Cortés.: "Diseño, construcción y modelo dinámico de un robot móvil de tracción diferencial aplicado al seguimiento de trayectorias", *Memorias del XXIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, (2017).
- [7] Juan-Antonio Fernández-Madrigal, José Luis Blanco Claraco, *Simultaneous Localization and Mapping for Mobile Robots: Introduction and Methods*, IGI Global, (2013).
- [8] Peter Corke (2017), *Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms In MATLAB*, Second Edition, Springer Verlag.

- [10] Secretaría de Energía, "Prospectiva del Sector Eléctrico 2018-2032", SENER, México, 2018. [En línea]. Disponible en: https://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PSE_18_32_F.pdf
- [11] Secretaría de Energía, "Sistema de Información Energética | Capacidad instalada por tecnología". <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cveca=IIIA1C04> (consultado el 4 de abril de 2022).
- [12] Asociación Mexicana de la Energía Solar, A.C., "Análisis costo-beneficio de la generación solar distribuida en México." 2018. [En línea]. Disponible en: https://asol-mex.org/estudios/Analisis_Costo_Beneficio_GSD_Mexico_Asolmex_GIZ.pdf
- [13] A. Molina, P. Ponce, J. Miranda, y D. Cortés, *Enabling Systems for Intelligent Manufacturing in Industry 4.0: Sensing, Smart and Sustainable Systems for the Design of S3 Products, Processes, Manufacturing Systems, and Enterprises*. Cham: Springer International Publishing, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-65547-1.

ANEXO

Resumen: El sector industrial consume más del 60% de la electricidad producida en México; de toda la electricidad producida en el país, aproximadamente el 75% proviene de combustibles fósiles, los cuales dañan enormemente al medio ambiente y a la salud del ser humano. Aunque México es considerado una posible potencia mundial en energía solar debido a la gran cantidad de radiación solar que recibe diariamente, menos del 4% de la electricidad producida en el país proviene de este tipo de energía. Asimismo, no se cuenta con un marco que guíe a las empresas interesadas en instalar sistemas fotovoltaicos acerca de los parámetros de sensado, inteligentes, sustentables y sociales necesarios para instalar, operar y disponer de dicho sistema.

Importancia de su divulgación: Se propone un marco que guíe a las pequeñas y medianas empresas sobre los parámetros de sensado, inteligentes, sustentables y sociales necesarios para instalar, operar y disponer de un sistema fotovoltaico en México. Este marco contiene varias opciones (niveles) que se adaptan a las necesidades del usuario con el objetivo de diversificar sus fuentes de energía, reducir la dependencia de combustibles fósiles y generar un ahorro monetario. Este marco puede expandirse a otras aplicaciones, como instalar sistemas de energía solar en comunidades que no están conectadas a la red eléctrica.

Disciplina: Ingeniería y Ciencias.

Área de aplicación: Ingeniería, Ciencias, Energía, Energía Renovable.

Industria: Sector industrial.





Predicción de precios de cebolla por arpilla en la central de abastos de Iztapalapa producida en Morelos mediante un modelo de regresión lineal múltiple

Luis Daniel Jiménez Campos, Eduardo Antonio Martínez Juárez, Ramírez Gil Jair Uriel.

Resumen:

Este estudio aborda la predicción de precios de cebolla por arpilla producida en Morelos mediante la aplicación de un modelo de regresión lineal múltiple. El objetivo principal es predecir el precio de la cebolla por arpilla de 30 kg en la central de abastos de Iztapalapa producida en Morelos utilizando un modelo de regresión lineal múltiple. Para ello se recopilaron y analizaron datos de factores como precios anteriores, y temporada en el estado de Morelos recolectados del SNIIM (sistema nacional de información e integración de mercados), posteriormente estos datos fueron utilizados para entrenar al modelo de regresión lineal múltiple. Esto nos permitirá identificar si la regresión lineal múltiple logra reconocer relaciones significativas entre las variables analizadas y las variaciones en los precios. Como todo modelo de estadística, puede verse limitado por factores externos que pueden variar rápidamente, como problemas en el transporte, nuevas leyes agrícolas o variaciones en los mercados internacionales. De manera general, este estudio busca ofrecer una aproximación inicial que pueda servir como apoyo en la toma de decisiones del sector agrícola regional. Aunque sus resultados serán exploratorios, se espera que el modelo contribuya a que productores y comercializadores cuenten con una herramienta que les permita entender mejor el comportamiento del precio y mejorar su planificación y gestión de cultivos.

Abstract:

This study addresses the prediction of onion prices per sack produced in Morelos through the application of a multiple linear regression model. The main objective is to predict the price of onions per sack at the Iztapalapa wholesale market produced in Morelos using a multiple linear regression model. In order to do this, data on factors such as previous prices, seasons, production, and climate in the state of Morelos were collected and analyzed. This data was then used to train the multiple linear regression model. This will allow us to identify whether multiple linear regression can recognize significant relationships between the analyzed

variables and price variations. Like any statistical model, it may be restricted by external factors that can change quickly, such as transportation problems, new agricultural laws, or fluctuations in international markets. Overall, this study seeks to offer an initial approach that can serve as a support for decision-making in the regional agricultural sector. Although its results will be exploratory, it is hoped that the model will provide producers and marketers with a tool that will allow them to better understand price behavior and improve their crop planning and management.

Introducción

En Morelos, una gran parte de la economía depende en su mayoría de la agricultura. En la zona oriente, municipios como Ayala y Cuautla sobresalen por su producción de cebolla, una cosecha del cual se ayudan muchas familias para obtener sus ingresos. Sin embargo, a pesar de su importancia, los productores siguen teniendo un problema que se repite cada temporada: la subidas y bajadas de precio de la cebolla por arpilla. Estos cambios generan dudas y afectan la estabilidad económica de quienes viven del campo. Por esta razón, estudiar cómo se comporta el precio de la cebolla por arpilla es un tema relevante y necesario para mejorar la toma de decisiones de los agricultores.

A pesar de que el precio de la cebolla por arpilla es un factor clave para los productores, aún no existe un modelo que use varias variables a la vez como temporada, clima, producci y precios anteriores para anticipar su precio por arpilla en la zona de Iztapalapa. Muchos agricultores toman decisiones basándose únicamente en su experiencia o en información informal, lo que los deja vulnerables ante cambios repentinos del mercado. Esa falta de conocimiento está precisamente en la ausencia de una herramienta que convierta los datos disponibles en información útil y accesible para los productores. Por ello, es importante investigar alternativas replicables con los datos locales.

Este trabajo busca aportar, por un lado, una aproximación para predecir el precio de una medida específica para un cultivo como lo es la arpillita de 30 kg en una región concreta como lo es Iztapalapa, un tema poco explorado. Por otro lado, busca evidenciar que la regresión lineal múltiple es una herramienta accesible y comprensible para analizar mercados agrícolas sin necesidad de tecnologías costosas o complejas. Además, el estudio busca abrir camino para que más productores y técnicos agrícolas consideren el uso de datos y modelos para apoyar su actividad diaria, mejorar su toma de decisiones y reducir la incertidumbre económica. El objetivo de este estudio es analizar qué variables influyen en el precio de la cebolla por arpillita en la central de abasto de Iztapalapa producida en Morelos y construir un modelo de regresión lineal múltiple capaz de predecir su comportamiento a un lapso estimado de hasta 30 días a partir de variables históricas, climáticas y de producción. En otras palabras, se busca responder si es posible anticipar el precio con diferentes tipos de información y qué variables tienen mayor impacto dentro del modelo. La intención es demostrar que, usando datos accesibles y técnicas estadísticas, se puede crear una herramienta útil para el sector agrícola regional.

Palabras clave: Regresión lineal múltiple, Predicción de precios, Cebolla, Morelos, Factores, Agrícola.

Trabajos relacionados

Existen diversos estudios que han abordado la predicción de precios de productos agrícolas desde diferentes enfoques. Estas investigaciones permiten comprender cómo distintos métodos, desde modelos estadísticos tradicionales hasta técnicas más recientes, han intentado mejorar la precisión de las predicciones. Estos trabajos resultan relevantes para este estudio, ya que ofrecen ideas, métodos y resultados que ayudan a entender el comportamiento de los mercados agrícolas y sirven como referencia para el uso de la regresión lineal múltiple.

Un trabajo que nos resultó de ayuda para entender mejor como se comportan las variables relacionadas al precio de algún producto es el estudio titulado “An integrated framework for multi-commodity agricultural price forecasting and anomaly detection using attention-boosted models”, el cual propone un método para la predicción de precios de varios productos y la detección de comportamientos inusuales utilizando modelos impulsados por mecanismos de atención. El artículo explica que la predicción de precios agrícolas es compleja debido a factores que cambian rápidamente, como el clima, la logística y la economía. En un inicio se emplearon métodos como ARIMA, pero estos mostraron poca eficiencia frente a la inestabilidad de los precios. Después se usaron modelos de machine learning y redes neuronales, que mejoraron el análisis, aunque todavía tenían dificultades para detectar relaciones de largo plazo. Este estudio es útil para investigaciones basadas en modelos de regresión, ya que demuestra que contar con datos adecuados y correctos mejora la precisión de las predicciones, lo cual también se puede aplicar al análisis del precio de productos agrícolas como la cebolla.

Otro trabajo relacionado es el estudio realizado por Huitrón Tierrablanca (2021), titulado “Predicción de precios de productos agrícolas mediante Redes Neuronales Recurrentes tipo Elman”. En esta investigación se usaron redes neuronales recurrentes para predecir precios agrícolas en México, comparándolas con el modelo tradicional SARI-MA. El autor utilizó datos históricos del SNIIM y construyó un modelo basado en precios semanales capaces de aprender patrones temporales. Los resultados mostraron que estas redes captan mejor los comportamientos no lineales que suelen tener los precios agrícolas, ofreciendo predicciones más confiables que los métodos clásicos.

De la misma manera, Quevedo García, Murcia Rodríguez y Ochoa Reyes realizaron el estudio “Modelos de regresión para predecir la cosecha con variables asociadas a la calidad del fruto, el tiempo de defoliación y la altitud del durazno Jarillo”, donde aplicaron modelos de regresión para estimar el rendimiento agrícola utilizando datos organizados y relacionados con el cultivo. Los resultados mostraron que los modelos estadísticos pueden lograr alta precisión cuando se cuenta con datos correctos, lo que demuestra su utilidad para la planificación agrícola.

En general, estas investigaciones muestran que los modelos de series temporales y los modelos avanzados como redes neuronales han sido ampliamente usados para analizar patrones y tendencias del mercado agrícola. Sin embargo, también presentan limitaciones cuando los precios dependen de varios factores externos como el clima, la demanda, problemas de transporte o cambios en los mercados. Ante esto, se vuelve importante usar métodos que incluyan varias variables, como la regresión lineal múltiple, especialmente cuando se busca mejorar la precisión en la predicción de precios agrícolas. A diferencia de algunos estudios que se enfocan solo en el comportamiento temporal o en métodos más complejos, nuestro trabajo aporta la ventaja de analizar varias variables al mismo tiempo (precios históricos y temporadas), lo cual permite comprender mejor los factores influyen directamente en el precio de la cebolla y puede ofrecer predicciones más claras y fáciles de interpretar para su uso en la toma de decisiones agrícolas.

Metodología:

1. Obtención y preparación de datos La serie de datos históricos utilizada en este estudio corresponde a los precios de cebolla por arpillita producida en Morelos y comercializada en la Central de Abasto de Iztapalapa. Estos datos fueron obtenidos del Servicio Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM), que registra precios diarios y que se suben a la plataforma mensualmente por presentación, temporada y origen. Finalmente, los datos de producción anual por municipio fueron obtenidos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Los datos fueron sometidos a un proceso de limpieza que incluyó la eliminación de valores atípicos, estandarización de formatos de fecha y unidad de medida, y normalización de variables numéricas. La salida de esta fase es un conjunto de datos estructurado y listo para el análisis estadístico.



2. Análisis exploratorio y selección de variables

Se aplicaron estadísticas descriptivas para identificar tendencias generales en los precios y la temporada, considerando promedios, medianas, máximos y mínimos por temporada. Además, se generaron visualizaciones de series temporales para detectar patrones cíclicos y posibles relaciones entre variables.

Después, se calcularon correlaciones entre las variables independientes y el precio por arpilla con el fin de seleccionar aquellas que mostraran mayor impacto. Esta fase permitió identificar variables relevantes como el precio rezagado, temporada y el volumen de producción anual.

3. Construcción del modelo predictivo

El modelo seleccionado para este estudio fue la regresión lineal múltiple, debido a su capacidad para analizar la relación entre múltiples variables independientes y una variable dependiente continua, como el precio. Se aplicó un proceso de división de datos en conjuntos de entrenamiento (80%) y prueba (20%) para evaluar la capacidad predictiva del modelo.

4. Validación del modelo y métricas de desempeño

Para medir el desempeño del modelo se utilizaron métricas aceptadas en modelos de predicción:

- Error Absoluto Medio (MAE)
- Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)
- Coeficiente de Determinación (R^2)

Estas métricas permiten determinar qué tan cerca estaban las predicciones del modelo respecto a los valores reales. Además, se evaluó la estabilidad del modelo mediante validación cruzada para asegurar que no existiera sobreajuste.

5. Generación de predicciones

Una vez validado el modelo, se utilizaron los valores más recientes de clima, producción y precios para generar predicciones del precio de la cebolla por arpilla de 30 kg. Estas predicciones se proyectaron en un horizonte cercano de hasta 30 días, con el fin de explorar el posible comportamiento futuro del mercado.

La salida final de esta fase consiste en un conjunto de predicciones acompañado de visualizaciones que facilitan su interpretación por parte de productores y técnicos agrícolas.

Resultado y análisis:

El análisis realizado permitió evaluar el comportamiento del precio frecuente de la cebolla por arpilla de 30 kg producida en Morelos y comercializada en la Central de Abasto de Iztapalapa, utilizando un modelo de regresión lineal múltiple. A partir de los datos recopilados del SNIIM y del SIAP, se procesaron variables relacionadas con el precio histórico, la temporada y la presentación del producto. La base final utilizada para el modelo incluyó transformaciones como la separación de la fecha en día, mes y año, normalización de valores numéricos y eliminación de registros atípicos que podían distorsionar el entrenamiento del modelo.

Los resultados obtenidos muestran que la regresión lineal múltiple logró explicar aproximadamente el 96% de la variación del precio frecuente. Este valor del coeficiente de determinación (R^2) indica que el modelo posee una capacidad predictiva sólida y que la mayoría de los factores que influyen en el precio se encuentran bien representados en las variables incluidas.

El error de predicción promedio del modelo, medido mediante el Error Absoluto Medio (MAE), fue de aproximadamente 11.46 unidades de precio, lo que indica que, en promedio, el modelo se desvía muy poco respecto al valor real. En mercados agrícolas, en los que la variabilidad puede ser alta entre semanas o incluso días, un error de este tamaño se considera razonablemente bajo. El RMSE, métrica que enfatiza errores grandes, mostró valores coherentes y controlados, lo cual sugiere que el modelo no presenta fallos significativos frente a fluctuaciones fuertes en los precios.

Además, se evaluaron los coeficientes más significativos, entre los cuales destacan variables como el precio mínimo y máximo por día, el mercado de destino, el tipo de presentación, la temporada y variables temporales derivadas como el mes del año. La identificación de 15 coeficientes relevantes aseguró que el modelo captara adecuadamente los factores con mayor peso estadístico en la formación del precio.

Comparación con la teoría y estudios previos

Los resultados obtenidos coinciden con lo señalado en investigaciones previas sobre predicción agrícola.

También se observa que la regresión lineal múltiple tiene limitaciones conceptuales. Teóricamente, este modelo asume relaciones lineales entre variables, algo que no siempre ocurre en mercados donde intervienen factores externos como bloqueos carreteros, demanda internacional, costos de transporte o variaciones climáticas abruptas. Aunque el modelo mostró un rendimiento alto, estas limitaciones deben considerarse, especialmente si se busca desarrollar predicciones a plazos más largos o en condiciones altamente volátiles.

Comparando con investigaciones que usan modelos más complejos, como redes neuronales o modelos ARIMA, la regresión lineal múltiple suele mostrar menor sensibilidad a variaciones abruptas, pero ofrece mayor interpretabilidad. Esta característica es especialmente útil para el contexto del agricultor o técnico agrícola, quienes necesitan entender por qué el precio sube o baja, no solo recibir una predicción. En ese sentido, el presente trabajo aporta claridad metodológica y evidencia de que un modelo estadístico accesible puede generar resultados confiables sin recurrir a técnicas demasiado complejas.

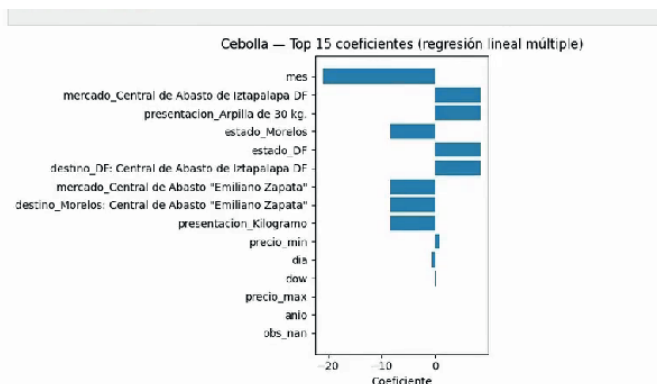
Interpretación de los hallazgos

El análisis confirma que el precio de la cebolla por arpilla está influido principalmente por factores estacionales, el

precio histórico y características del mercado de destino. El hecho de que los meses tengan un peso estadístico importante coincide con el comportamiento agrícola documentado: la cebolla presenta ciclos marcados de disponibilidad y demanda. En Morelos, la producción suele concentrarse en temporadas específicas del año, y esto repercute directamente en los precios observados en Iztapalapa.

La significancia del precio mínimo y máximo como predictores refleja la dinámica del mercado mayorista: cuando estos valores presentan variaciones amplias, el precio frecuente tiende a moverse en la misma dirección. Esto era previsible según la teoría de precios agrícolas, en la que la volatilidad interna del mercado es un indicador directo de inestabilidad del precio promedio.

Asimismo, el hallazgo de que el modelo predice con mayor precisión en periodos de estabilidad y ligeramente peor cuando existen cambios bruscos coincide con lo reportado en estudios previos. Los modelos lineales, al basarse en relaciones constantes, suelen tener mayor dificultad para adaptarse a crisis temporales o shocks externos, lo que explica que aunque el rendimiento global sea alto, algunos valores individuales puedan presentar desviaciones más marcadas.



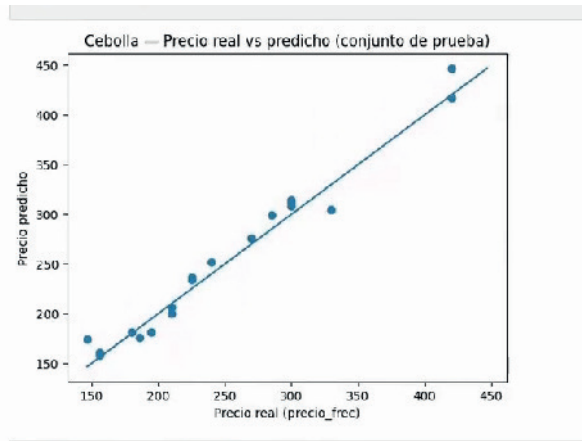
La gráfica muestra los 15 coeficientes más importantes del modelo de regresión lineal múltiple utilizado para predecir el precio frecuente de la cebolla por arpilla de 30 kg. Cada barra indica la fuerza y dirección de la influencia de una variable sobre el precio:

- Barras positivas → la variable aumenta el precio.
- Barras negativas → la variable disminuye el precio.
- Barras más largas → mayor impacto en la predicción.

1. El mes es la variable con mayor impacto

La barra correspondiente a “mes” es la más larga y negativa, lo que indica que el periodo del año influye fuertemente en el precio. Esto coincide con el comportamiento estacional de la cebolla:

ciertos meses presentan abundancia y precios más bajos, mientras que otros reflejan escasez y precios altos.



En esta gráfica se muestra la comparación entre los precios reales de la cebolla por arpilla y los precios predichos por el modelo de regresión lineal múltiple utilizando únicamente el conjunto de prueba (es decir, datos que el modelo no había visto antes). Cada punto azul representa una observación correspondiente a un día o registro dentro de dicho conjunto.

La línea diagonal representa la relación ideal donde precio real = precio predicho. Cuando los puntos se encuentran cerca de esta línea, significa que el modelo está realizando predicciones precisas. En este caso, casi todos los puntos se ubican muy próximos a la diagonal, lo cual indica que el modelo tiene un ajuste adecuado y una capacidad alta para estimar el precio de la cebolla por arpilla de 30 kg. ⁸

Conclusiones

El presente estudio tuvo como objetivo predecir el precio de la cebolla por arpilla de 30 kg producida en Morelos y comercializada en la Central de Abasto de Iztapalapa mediante un modelo de regresión lineal múltiple. Los resultados muestran que el modelo logra explicar aproximadamente el 96% de la variación del precio, lo que confirma que las variables seleccionadas como el precio histórico, la temporada, la presentación y el mercado destino influyen de manera significativa en el comportamiento del precio frecuente.

El desempeño obtenido a través de métricas como MAE y RMSE indica que el modelo mantiene errores de predicción relativamente bajos, lo cual demuestra que, aun tratándose de un cultivo sensible a la estacionalidad y a condiciones externas, la regresión lineal múltiple es capaz de capturar de forma efectiva las tendencias y fluctuaciones principales del mercado. Esto respalda la idea de que los modelos estadísticos accesibles pueden ser herramientas útiles para analizar mercados agrícolas sin necesidad de implementar tecnologías complejas o costosas.

Los hallazgos también reflejan que gran parte de la variación del precio puede explicarse con información disponible públicamente, lo cual representa una oportunidad para que productores, técnicos agrícolas y organizaciones locales comiencen a integrar prácticas basadas en datos en su toma

de decisiones. Si bien el modelo presenta limitaciones ante eventos externos impredecibles, su utilidad práctica para la planeación y el manejo del cultivo es evidente.

En conjunto, los resultados permiten concluir que el uso de regresión lineal múltiple es una opción viable y funcional para generar predicciones a corto plazo del precio de la cebolla por arpilla. Además, este trabajo sienta las bases para futuras investigaciones que busquen ampliar la escala temporal, integrar nuevas variables o comparar el desempeño con modelos más complejos.

Referencias

1. Agricultural Product Price Forecasting Methods: A Review <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/9/1671>
2. Predicting Agricultural Commodities Prices with Machine Learning: A Review of Current Research <https://arxiv.org/abs/2310.18646>
3. Various optimized machine learning techniques to predict agricultural commodity prices Los trabajos publicados en esta revista están bajo la licencia Creative Commons Atribución – No comercial Título del manuscrito 1 <https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-024-09679-x>
4. Exploring current trends in agricultural commodities forecasting methods through text mining: Developments in statistical and artificial intelligence methods <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024165991?>
5. Food price inflation and policy responses in Latin America: an assessment of the causes and impacts on local food value chain <https://studies.hu/food-price-inflation-and-policy-responses-in-latin-america-an-assessment-of-the-causes-and-impacts-on-local-food-value-chain/>
6. Surveillance of agricultural price and trade policy in Latin America during major policy reforms (English) <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/877621468753259514/surveillance-of-agricultural-price-and-trade-policy-in-latin-america-during-major-policy-reforms?>
7. An integrated framework for multi-commodity agricultural price forecasting and anomaly detection using attention-boosted models <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154325003928?>
8. Producción agrícola y precios de mercado en México https://www.researchgate.net/publication/368629776_Agricultural_production_and_market_prices_in_Mexico
9. Precios de la sequía y agrícolas en México <https://www.researchsquare.com/article/rs-5827924/v1?m>
10. Seguimiento y evaluación de la política agrícola 2025 https://www.oecd.org/en/publications/agricultural-policy-monitoring-and-evaluation-2025_a80ac398-en/full-report/mexico_d3da8d9f.html
11. Huitrón Tierrablanca, P. (2022). Predicción de precios de productos agrícolas mediante redes neuronales recurrentes (Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro). Repositorio Institucional UAQ. <https://ring.uaq.mx/handle/123456789/8369>
12. Martínez-Damián, M. Á., & Brambila-Paz, J. J. (2023). Modelación de predictores de precio nominal vs real aplicados a maíz, trigo y cebada en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2), 2933. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.2933>
13. Luna, O. C. (2020). Modelo de predicción de precios de productos agropecuarios como base para proyectos de desarrollo rural en Colombia (Tesis de maestría, Universidad Jorge Tadeo Lozano). Universidad Jorge Tadeo Lozano. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstreams/76feeac7-ccd4-48c6-a4e8-8c6793b4fc4c/download>
14. Chaparro Arias, C. A., Ruiz Torres, J. C., & Fonseca Cifuentes, G. P. (2024). Pronóstico para la producción de cebolla de rama a partir de un modelo VAR. Los trabajos publicados en esta revista están bajo la licencia Creative Commons Atribución – No comercial Título del manuscrito 1 *Acta Agronómica*, 73(1), 82–93. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122024000100082
15. Vinay, H. T., Pavithra, V., Jagadeesh, M. S., Avinash, G., & Nayak, G. H. (2024). A comparative analysis of time series models for onion price forecasting: Insights for agricultural economics. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(5), 146-154. <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i52365> journaljeai.com
16. Suresha, H. P., Uppaladinni, M., & Tiwari, K. K. (2021). Indian commodity market price comparative study of forecasting methods – A case study on onion, potato and tomato. *Asian Journal of Research in Computer Science*, 12(4), 147- 159. <https://doi.org/10.9734/ajrcos/2021/v12i430300> journalajrcos.com
17. Jeong, M., Lee, Y. J., & Choe, Y. (2017). Forecasting agricultural commodity price: The case of onion. *Journal of Research in Humanities and Social Science*, 5(6), 78-81. (*Quest Journals*) questjournals.org
18. Banco de México. (s. f.). Relación entre temperatura y precios de hortalizas: impactos de choques térmicos [Documento de investigación]. Banxico. Banco de México

19. López-Urquidez, G. A., Cordero-Armenta, J. C., Martínez-Campos, Á. R., Edeza-Urías, J. A., Tirado-Ramírez, M. A., & López-Orona, C. A. (2021). Efecto de la oscilación térmica en la calidad y rendimiento de cebolla blanca en el Valle de Culiacán, Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 671–684. SciELO México
20. Chen, Z., Goh, H. S., Sin, K. L., Lim, K., Chung, N. K., & Liew, X. Y. (2021). Automated agriculture commodity price prediction system with machine learning techniques. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2106.12747>

