



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



ESTADO DE
MÉXICO
¡El poder de servir!

EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



Publicación cuatrimestral del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Año 23, No 67, mayo-agosto de 2025

TECNOCULTURA

ISSN: 1870-7157

Investigación · Ciencia · Tecnología · Cultura



<http://www.portoquinaraero.com/2015/11/relleno-sanitario-de-cancun-al-borde-del-colapso-por-exceso-de-basuras-resol.html>

**Prototipo de
E-nose para la
Detección de
EPOC, Utilizando
Inteligencia
Artificial**

**Modelado para
Generación de
Energía a Partir de
un Relleno Sanitario
en José María
Morelos, Quintana
Roo**

**Prototipo 3D de
una Silla
Telecontrolada por
EEG para Personas
con Discapacidad
Motriz**

**Comparativa de
Diferentes
Técnicas de
Minería de Datos
para la Predicción
de Días con Alta
Contaminación en
el Estado de
México**

**Inteligencia
Artificial para
Controlar Prótesis
en Personas con
Ausencia
Congénita de
Muñeca a Través
de Arduino**





GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO

Mtra. Delfina Gómez Álvarez
Gobernadora Constitucional
del Estado de México

Mtro. Miguel Ángel
Hernández Espejel
Secretario de Educación del
Estado de México

Tecnológico de Estudios
Superiores de Ecatepec

SUBCOMITÉ EDITORIAL:

José Antonio Arcos
Casarrubias
Abel Roldán Alatríste
Juan Carlos Bretón Pozas
Isabel de la Luz Membrillo
Venegas
José Luis Chávez Rojas
Verónica Martínez Martínez
Jesús González Lemus
Esther Acevedo Arcos
Ángel Hernández Estrada
Ángel Mazza Arias
Guadalupe Regina Dorantes Díaz

Corrección de estilo
Rafael Ortiz Hernández

Diseño
Mara Brisa López Vargas

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR Y NORMAL
TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ECATEPEC
UNIDAD DE RELACIONES PÚBLICAS Y DIFUSIÓN



CONSEJO EDITORIAL

Dr. Juan Humberto Sossa Azuela
Dr. Alfonso Totosaus Sánchez
Dr. Martín Salazar Pereyra
Mtro. Fernando Lugo
Dr. Armando Gama Goicochea
Dr. Salvador Contreras Hernández
Mtro. Gustavo Calvillo Gandulfo
Dr. Graciano Calva Calva

COMITÉS TÉCNICOS DE ARBITRAJE

INGENIERÍA INFORMÁTICA

Mtro. Derlis Hernández Lara
Académico de la División de Ingeniería
Informática

Mtro. Emmanuel Tonatiuh Juárez
Velázquez
Académico de la División de Ingeniería
Informática

Mtro. Leonardo Moreno Villalba
Académico de la División de Ingeniería
Informática

INGENIERÍA EN GESTIÓN EMPRESARIAL

Mtra. Claudia Lozano Mora
Académico de la División de Ingeniería
en Gestión Empresarial

Mtra. Ingrid Trinidad Calderón
Académico de la División de Ingeniería
en Gestión Empresarial

Dr. Hugo Nathanael Lara Figueroa
Académico de la División de Ingeniería
en Gestión Empresarial

CONTADOR PÚBLICO

Mtra. Juana Mora López
Académico de la División de Contaduría
Pública

Mtra. Elizabeth Mercedes Garmendia
Guerrero
Académico de la División de Contaduría
Pública

INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

Dr. Abraham Jorge Jiménez Alfaro
Académico de la División de Ingeniería
en Sistemas Computacionales

INGENIERÍA MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL

Mtro. Wenceslao Cuauhtémoc Bonilla
Académico de la División de Ingeniería
Mecánica, Mecatrónica e Industrial

Dra. Belem Arce Vázquez
Académico de la División de Ingeniería
Mecánica, Mecatrónica e Industrial

INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

Dra. Mariana Bárcenas Castañeda
Académico de la División de Ingeniería
Química y Bioquímica

Dra. Isabel de la Luz Membrillo Venegas
Académico de la División de Ingeniería
Química y Bioquímica

Tecnocultura, revista de divulgación del conocimiento científico, tecnológico y humanístico del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Año 23, No. 67, mayo-agosto de 2025. Fecha de publicación: septiembre 2025. Número de autorización del Comité Editorial de la Administración Pública Estatal CE: 205/05/10/12-01. Edita y distribuye la Unidad de Relaciones Públicas y Difusión, domicilio: Av. Tecnológico s/n, Col. Valle de Anáhuac, C.P. 55210, Ecatepec, Estado de México. Teléfono 50 00 23 14. Correo electrónico: urpd@tese.edu.mx.

Número de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública: 04-2023-010917424300-102, ISSN: 1870-7157. Certificados de Título y de Contenido en trámite. Se autoriza la reproducción total o parcial del material publicado en Tecnocultura, siempre y cuando cite la fuente. Los artículos son responsabilidad de los autores.

Revista registrada en el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (Latindex), No. Folio 13782.

Página oficial: <https://tese.edomex.gob.mx/>

E

ditorial

TECNOCULTURA

INFORMACIÓN PARA LOS AUTORES

La Revista **Tecnocultura** es un órgano de difusión del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE); su publicación es cuatrimestral, el objetivo principal es la divulgación del pensamiento y los avances científicos, tecnológicos y humanísticos, ya sea que se generen en las diferentes áreas académicas de la Institución o de origen externo, pero que puedan ser de interés general.

- La información podrá presentarse en forma de artículo, ensayo o reportaje, incluyendo materiales de divulgación. Los trabajos deben ser producto de investigaciones de elevado nivel académico, que contribuyan al conocimiento en la materia y ser inéditos en español. Igualmente, las ponencias o presentaciones deberán adaptarse para su edición escrita. En todos los casos, se buscará que su contenido sea ameno y novedoso.

- El lenguaje debe ser accesible a estudiantes de licenciatura, sin perjuicio de la información científica o académica contenida en el artículo. Cuando sea necesario el uso de tecnicismos, deberá explicarse su significado con la amplitud necesaria. Se recomienda la inclusión de recuadros que aclaren el significado de conceptos de difícil comprensión.

- Los artículos deben tener subtítulos o incisos; un resumen introductorio (*abstract*) en español e inglés, no mayor de diez líneas, que atraiga el interés del lector. En seguida, mencionar las palabras clave del artículo, y su respectiva versión en inglés (*keywords*). Asimismo, al final del artículo incluir una breve conclusión, y la bibliografía o fuentes consultadas.

- Para las citas y referencias bibliográficas que aparezcan en el texto, se utilizará el modelo APA (Asociación de Psicología de Estados Unidos de América), cuyas características se detallan en el documento en PDF anexo, titulado *El Manual de Publicación APA al Alcance de Todos*.

- Para fines de registro, se solicita anexar una hoja que contenga datos curriculares del autor o autores, como nombre completo, grado académico, institución de procedencia, domicilio, teléfono, y dirección electrónica.

Recomendaciones

- Revisar meticulosamente la ortografía, signos de puntuación, sintaxis, redacción, aparato crítico (notas, citas, fuentes, bibliografía, etcétera), y la estructura del trabajo.

- En la bibliografía o fuentes consultadas, deberán incluirse todos los datos para la

identificación de la fuente informativa: apellidos y nombres del(los) autor(es), año, título de la obra, número de edición, país, editorial, tomo o volumen, número de páginas totales, colección, etcétera.

- Evitar o reducir al mínimo los documentos, ilustraciones o fuentes de consulta provenientes de Internet, o en su caso, indicar claramente su origen mediante las respectivas cibergrafías. Si los cuadros, tablas dibujos, fotografías o gráficos en general son de creación propia, también deberá mencionarse al pie de éstos.

- En el caso de las citas textuales, identificar claramente dónde se abren y cierran las comillas.

- Verificar la correcta jerarquización y numeración de capítulos, subcapítulos, incisos, u otras divisiones, mismas que deberán conservar un orden lógico y constante a lo largo del texto. El resumen, introducción, palabras clave, agradecimientos, conclusiones y bibliografía o fuentes, no son numerables para el desarrollo del tema.

- Utilizar un lenguaje claro, preciso, con conceptos, siglas o signos bien explicados. Procurar el uso de sinónimos para no repetir palabras. Evitar las cacofonías (palabras con sonido semejante), solecismos (falta de sintaxis), barbarismos (uso de términos extranjeros, arcaicos y neologismos), muletillas, "queísmos", verbos fáciles (hacer, poner, decir, tener, haber, etcétera), adjetivos, frases hechas, y otros vicios del lenguaje.

- Conservar un estilo constante de redacción.

- Evitar los párrafos largos o con cadenas de ideas demasiado extensas. Es preferible utilizar párrafos cortos, de cinco a siete líneas en promedio.

- Eludir el uso excesivo de atributos tipográficos para destacar palabras, frases o párrafos (como negritas, cursivas, subrayados, mayúsculas, tipografía diferente, etcétera), si no son estrictamente necesarios.

Características de Presentación

- Se recomienda una extensión máxima de 10 cuartillas, incluyendo cuadros, notas y bibliografía. El texto deberá estar elaborado en Office Word 2003 o versiones posteriores, guardando el documento con la extensión .doc. y entregar copia del archivo digital, así como una copia impresa. Los materiales serán evaluados por el Consejo Editorial de la revista.

- El trabajo deberá presentarse en hojas

tamaño carta y por una sola cara, sin tachaduras ni guiones al final de cada línea, ni tampoco división de palabras. El cuerpo del texto deberá estar a una sola columna, con un interlineado de 1.5; la caja de texto será de 28 líneas por cuartilla en promedio y 64 caracteres por línea (es decir, 1790 caracteres por cuartilla). La página deberá poseer márgenes de 2.5 cm en cada lado.

- La tipografía deberá ser Times, Arial, o alguna otra de uso común, con un tamaño de 14 puntos para títulos y subtítulos; 11 a 12 puntos para el texto, y 9 a 10 puntos para las notas o citas.

- Al inicio de los párrafos se debe omitir la sangría, o en su caso, que tenga un máximo de tres espacios. Cada párrafo deberá separarse con un espacio (o *enter*).

- Estructurar el texto con un diseño básico, que permita identificar la conformación y ordenamiento de los elementos que integrarán el texto impreso, pero no emplear atributos automáticos (numeraciones o viñetas), especiales, etiquetas u otros recursos de diseño que no sean estrictamente necesarios.

- Si el archivo del texto es muy extenso o contiene elementos que lo hacen demasiado grande, se recomienda segmentar la obra en capítulos o secciones independientes.

- Las ilustraciones, fotografías gráficos o figuras deberán incluirse dentro del texto impreso y por separado en archivos electrónicos u originales de óptima calidad (imágenes nítidas, uniformes y sin distorsiones), en formato TIFF o JPG con una resolución de 300 ppp, y deberán tener como atributo el estar "delante del texto". Las gráficas, esquemas, figuras, cuadros y similares se deben elaborar en computadora a línea, en Word, Power Point, Corel Draw o similares, sin pantallas.

- Si se utilizan fórmulas matemáticas, signos o símbolos especiales generados con algún programa expreso, cerciorarse de que sean editables y compatibles con Office Word.

Para fines de registro, se solicita anexar una hoja que contenga datos del autor, como nombre, grado académico, institución de procedencia, domicilio, teléfono y dirección electrónica.

Atentamente
Unidad de Relaciones Públicas y
Difusión
del Tecnológico de Estudios
Superiores de Ecatepec
Teléfono: 55 5000 2314
urpd@tese.edu.mx

C

ontenido



7

Prototipo de E-nose para la Detección de EPOC, Utilizando Inteligencia Artificial

Adolfo Meléndez Ramírez
Roberto Cervantes Arias
Mónica Mariel Sánchez Cabrera
Juan Manuel Stein Carrillo



17

Modelado para Generación de Energía a Partir de un Relleno Sanitario en José María Morelos, Quintana Roo

Erandy Yama
José Manuel Carrión
José Luis González Bucio
Omar Yam Gamboa
Josefina Pérez Vargas
Víctor Hugo Delgado
Graciano Calva Calva



27

Prototipo 3D de una Silla Telecontrolada por EEG para Personas con Discapacidad Motriz

Luis Alberto Rodríguez Austria
Armando Martínez Valdés
Gilberto Osorio Roque
Griselda Cortés Barrera



39

Comparativa de Diferentes Técnicas de Minería de Datos para la Predicción de Días con Alta Contaminación en el Estado de México

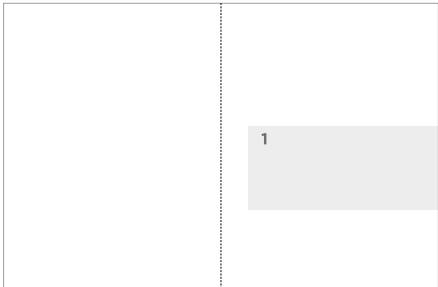
Ana Rosa Velázquez Cordero
Francisco Jacob Ávila Camacho



51

Inteligencia Artificial para Controlar Prótesis en Personas con Ausencia Congénita de Muñeca a Través de Arduino

Luis Ulises Chávez Alfaro
Griselda Cortés Barrera
Edgar Corona Organiche



<https://istockphoto-1459310847-2048x2048>

Prototipo de E-nose para la Detección de EPOC, Utilizando Inteligencia Artificial

Dr. Adolfo Meléndez Ramírez*, Roberto Cervantes Arias**,
Mónica Mariel Sánchez Cabrera**, Mtro. Juan Manuel Stein Carrillo*



Resumen

La presente investigación, expone un prototipo de Aplicación de Nariz Electrónica para el Prediagnóstico de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), que utiliza inteligencia artificial para analizar los gases exhalados. Se ejecutó la investigación en las instalaciones del Hospital de la zona, recolectando muestras de pacientes sanos y con EPOC, probando un sistema que incorpora 11 sensores MQ y una placa Arduino. La metodología incluyó diseño, construcción, programación y pruebas, con un análisis de resultados utilizando una red neuronal. Los resultados preliminares indican concentraciones elevadas de amoníaco, monóxido de carbono y cianuro, en pacientes con dicha enfermedad.

Acerca de los autores

*Académico-Investigador Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec, Centro de Cooperación Academia Industria.

**Estudiante de la Maestría en Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec.

La “Nariz Electrónica”, diseñada para ser de bajo costo y fácil manejo, busca potenciar la identificación precoz de la enfermedad. La aprobación en el ámbito de la salud, facilitó la clasificación de las muestras, tanto en individuos sanos como de aquellos diagnosticados con EPOC. Como resultado, se concluye que ciertos sensores desempeñaron un papel distintivo en la identificación de sustancias relevantes. La aplicación de la inteligencia artificial, tanto en la fase de análisis de datos como en la mejora continua del sistema, constituye un componente integral de la propuesta, fortaleciendo su potencial para el diagnóstico del EPOC.



Contribuciones:

- Desarrollo de una “Nariz Electrónica” con inteligencia artificial para el prediagnóstico eficiente de EPOC.
- Obtención de datos preliminares sobre la presencia de ciertos gases en el aliento de pacientes con EPOC.
- Validación de la aceptación del estudio en el sector hospitalario.

Palabras clave: EPOC, Nariz electrónica, Prediagnóstico.

Abstract

This research presents a prototype Electronic Nose Application for the Prediagnosis of Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD), which uses artificial intelligence to analyze exhaled gases. The research was carried out at the local hospital, collecting samples from healthy individuals and those with COPD, testing a system incorporating 11 MQ sensors and an Arduino board. The methodology included design, construction, programming, and testing, with results analyzed using a neural network. Preliminary results indicate elevated concentrations of ammonia, carbon monoxide, and cyanide in patients with this disease.

The “Electronic Nose,” designed to be low-cost and easy to use, aims to enhance early identification of the disease. Healthcare approval facilitated sample classification, both in healthy individuals and those diagnosed with COPD. As a result, it is concluded that certain sensors played a distinctive role in identifying relevant substances. The application of artificial intelligence, both in the data analysis phase and in the continuous improvement of the system, constitutes an integral component of the proposal, strengthening its potential for COPD diagnosis.

Contributions:

- Development of an “Electronic Nose” with artificial intelligence for efficient COPD pre-diagnosis.
- Obtaining preliminary data on the presence of certain gases in the breath of COPD patients.
- Validation of the study’s acceptance in the hospital sector.



<https://istockphoto-1645674942-2048x2048>

Keywords: COPD, Electronic Nose, Pre-diagnosis.

Introducción

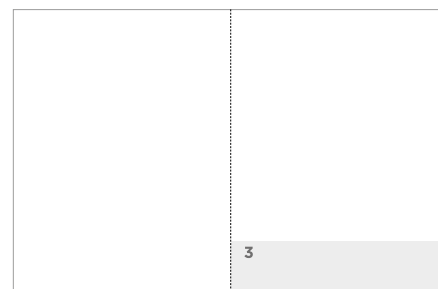
La problemática de las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC), ha alcanzado proporciones alarmantes, como lo evidencian las estadísticas de defunciones registradas en México entre 2013 y 2022, con un total de 18,463 fallecimientos atribuidos a EPOC, de ahí que abordar de manera efectiva esta condición, se vuelve imperativa.

De especial preocupación es el elevado porcentaje (68.0%) de casos “no especificados”, sugiriendo una falta de diagnóstico preciso y temprano. Como respuesta a este desafío, surge la propuesta innovadora de desarrollar un Prototipo de E-nose, un dispositivo basado en inteligencia artificial capaz de realizar un diagnóstico de la EPOC mediante la evaluación de los gases existentes en el aliento de los pacientes. Este enfoque pionero, se traduce en la implementación de una nariz electrónica, es decir, un sistema olfativo artificial diseñado para medir de manera precisa y eficiente los componentes gaseosos exhalados.

El presente estudio, forma parte de una investigación aplicada, que utiliza una metodología novedosa, permitiendo el análisis de muestras recolectadas en pacientes con EPOC en el Hospital General de Ecatepec. La cuantificación de resultados se llevará a cabo, considerando los niveles de EPOC, y se compararon con mediciones realizadas en personas sanas y enfermas de EPOC. Esta iniciativa busca identificar la presencia de la enfermedad en sus etapas iniciales, brindando así la oportunidad de aplicar tratamientos tempranos, un factor crucial para reducir la mortalidad asociada a la EPOC.

Este proyecto trasciende la simple investigación científica, ya que se propone la creación de una nariz electrónica accesible, de bajo costo y ofrece una facilidad de uso evidente, tanto para el operador como para el paciente.

El artículo detalla el proceso de desarrollo del prototipo, destacando su importancia en el contexto de la salud pública y su potencial impacto en la detección temprana de una enfermedad que afecta significativamente a la población. A través de esta innovación, se busca no solo avanzar en el conocimiento científico, sino contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de quienes padecen de EPOC.



<https://istockphoto-1647616078-2048x2048>



Hipótesis:

Se postula que la implementación de un Prototipo de E-nose, diseñado para analizar los componentes gaseosos del aliento, permitirá la detección temprana de la EPOC. Se espera que este enfoque innovador ofrezca una herramienta eficaz, de bajo costo y fácil manejo, contribuyendo así a la reducción de la mortalidad asociada a esta enfermedad.

Objetivos de la Investigación:

- Desarrollo del Prototipo de E-nose:
 - Diseñar y construir un prototipo de nariz electrónica capaz de analizar los gases presentes en el aliento de los pacientes con EPOC, priorizando su accesibilidad y facilidad de uso.
 - Realizar un prototipo de prueba no invasiva con el paciente.
- Optimización y Costo-Efectividad:
 - Refinar el Prototipo de E-nose con base en los resultados obtenidos, buscando optimizar su desempeño y reducir costos para garantizar su accesibilidad en entornos de atención médica.

Desarrollo

El marco teórico de esta investigación, se sustenta en una revisión exhaustiva de conceptos, teorías y artículos relacionados con las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC), la detección temprana de dichas enfermedades, el análisis de gases exhalados y la implementación de inteligencia artificial en el ámbito médico.

Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC):

Se exploran las definiciones y características clínicas de la EPOC, destacando el efecto que tiene en la salud pública y la necesidad urgente de desarrollar herramientas eficaces para su detección temprana.

Tecnologías para el Análisis de Gases Exhalados:

Se examinan las tecnologías existentes utilizadas en el análisis de gases exhalados, desde métodos tradicionales hasta enfoques más innovadores, como la espectrometría de masas y los sensores de gas. Se discuten las limitaciones y ventajas de cada enfoque, proporcionando un contexto para la elección del diseño del Prototipo de E-nose.

Inteligencia Artificial en la Medicina:

Se examina la implementación de la inteligencia artificial en el campo médico, resaltando casos exitosos y tendencias vigentes. Se investiga cómo la incorporación de la inteligencia artificial puede potenciar la eficacia y exactitud en el análisis de datos, particularmente en lo que respecta a la identificación precoz de enfermedades.

Estrategias de Detección Temprana en Salud Pública:

Se exploran estrategias y enfoques utilizados a nivel global para la identificación temprana de enfermedades, con un enfoque particular en su aplicabilidad a la EPOC. Se resaltan los beneficios de la detección temprana en la mejora de los resultados clínicos y la disminución de la carga económica asociada a las enfermedades respiratorias crónicas.

Metodología

La metodología empleada en el desarrollo del Prototipo de E-nose se estructuró en diversas fases, cada una contribuyendo de manera crucial al diseño, construcción y validación del sistema. A continuación, se detallan las fases adicionales incorporadas a la metodología:

1. Análisis de Requerimientos

En esta fase inicial, se llevó a cabo una investigación exhaustiva para identificar y comprender todas las variables dimensionales del proyecto. Se exploraron los requisitos técnicos, científicos y clínicos para garantizar la efectividad y relevancia del Prototipo de E-nose en el prediagnóstico de la EPOC.

2. Elaboración

En la fase de elaboración, se llevó a cabo el diseño detallado del modelo de la E-nose, utilizando el software Autodesk Fusión 360. Durante este proceso, se tuvieron en cuenta aspectos ergonómicos para el caso, asegurando que éste fuera capaz de capturar eficientemente el aliento de los pacientes. Se consideró especialmente importante la adaptación del dispositivo para pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), quienes suelen exhalar cantidades reducidas de aire.

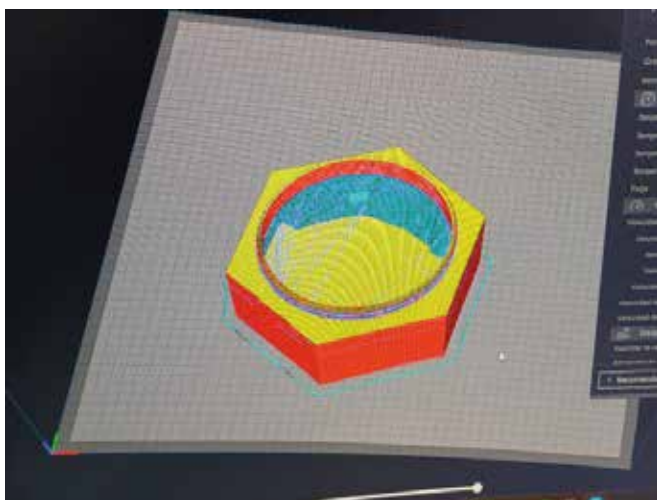


Figura 1

Comienzo de Diseño en el Software Fusion 360.

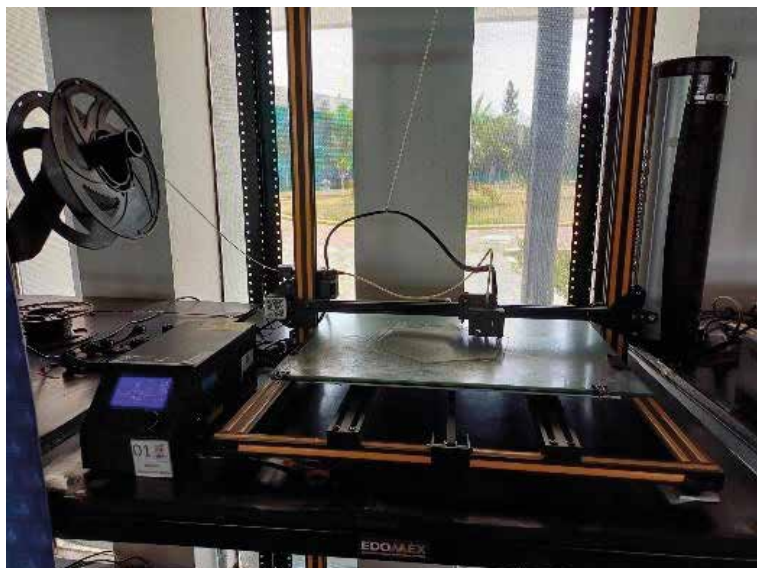
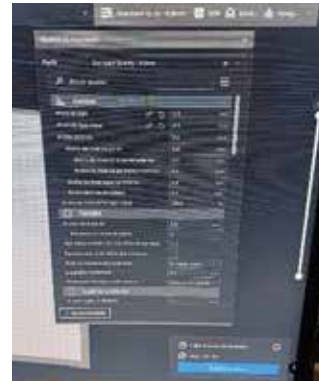
Para materializar el diseño, se empleó una impresora 3D con un volumen específico que permitiera la captación eficaz del aliento, teniendo en cuenta las limitaciones en la exhalación de las personas con EPOC. Este enfoque en la capacidad de captura, se revela crucial para asegurar la precisión de los resultados obtenidos por la E-nose en el monitoreo de la enfermedad.

Figura 2

Término de Diseño en el Software Fusion 360.



Además, se prestó especial atención a la portabilidad del dispositivo. El case fue diseñado considerando la movilidad y las necesidades de los usuarios, particularmente para aquellos con EPOC, quienes pueden requerir un dispositivo fácil de transportar. La impresión 3D facilitó la creación de un case liviano y portable, contribuyendo así a la practicidad y comodidad en el uso diario; la impresión se llevó a cabo con el software Cura. La importancia de esta portabilidad, radica en la capacidad del paciente para llevar consigo la E-nose, facilitando así el monitoreo continuo de su condición respiratoria en diversos entornos.

*Figura 3*

Impresora 3D.

3. Programación

En la etapa crucial de programación, se llevó a cabo la estructuración del pseudocódigo para la calibración de los sensores MQ, constituyendo un logro crucial en el avance de la E-nose. Se dedicó especial atención a elaborar el código del programa destinado al microcontrolador Arduino, asegurando una comunicación eficiente entre los sensores y la unidad de procesamiento central.

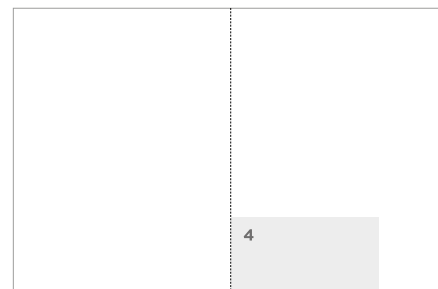
Un aspecto significativo durante la programación, fue que se implementó un proceso de precalentamiento de los sensores MQ durante un tiempo continuo de 24 horas, sin interrupción. Este paso fue esencial para estabilizar y optimizar el rendimiento de los sensores, garantizando mediciones precisas y consistentes a lo largo del tiempo. El precalentamiento prolongado contribuyó a minimizar las variaciones iniciales de los sensores, asegurando así una calibración más precisa y resultados confiables.

Posteriormente, efectuó el proceso de calibración, donde se ajustaron los parámetros de los sensores para mejorar su precisión y sensibilidad. Este paso incluyó la realización de lecturas específicas de cada sensor, especificando la sustancia o compuesto que se buscaba detectar. La programación incorporó algoritmos específicos diseñados para la clasificación de datos, lo que permitió al Prototipo de E-nose distinguir y analizar de manera eficaz los diferentes patrones de gases presentes en el aliento de los pacientes.

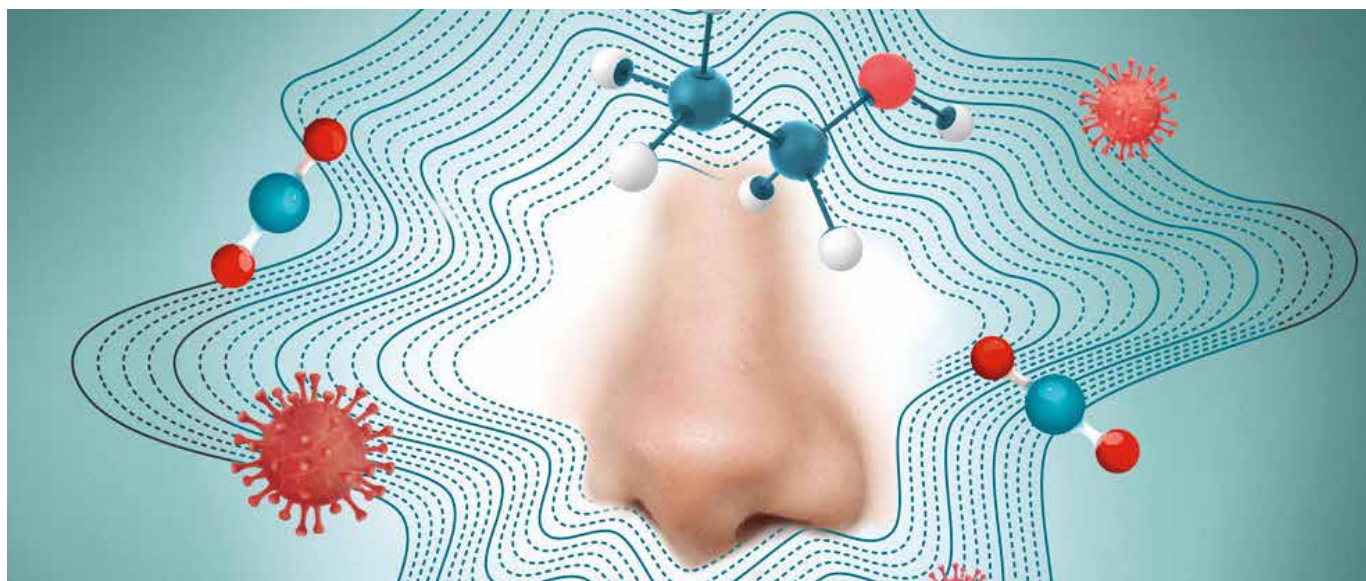
El combinar la programación detallada y la implementación de medidas como el precalentamiento de los sensores, contribuyó significativamente a la fiabilidad y precisión del Prototipo de E-nose en la detección de sustancias específicas relacionadas con la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) u otras condiciones respiratorias.

4. Muestreo y Validación

En la fase de muestreo, se llevaron a cabo pruebas en campo para la validación del prototipo de E-nose. Se estableció una vinculación con una unidad médica, específicamente el Hospital General de Ecatepec, para la recolección de muestras de pacientes con EPOC y de individuos sanos. Este proceso garantizó la representatividad de los datos y la aplicación real del prototipo en un entorno clínico.



<https://www.infobae.com/america/tecno/2022/12/05/crean-una-nariz-electronica-para-identificar-tumores-en-la-prostata/>



5. Almacenamiento de Datos

La información recopilada durante las pruebas y muestreos, se almacenó de manera local y remota. Se implementó un repositorio que permitió la gestión eficiente de los datos, asegurando su accesibilidad para el análisis posterior y facilitando la colaboración con profesionales de la salud.

6. Procesamiento de la Información para el Entrenamiento

Se incorporó una fase adicional para el procesamiento de la información, con el objetivo de mejorar la eficiencia del sistema. Se aplicaron técnicas de procesamiento de datos, utilizando Python para el continuo entrenamiento de la inteligencia artificial, contribuyendo así a la mejora constante del Prototipo de E-nose en la identificación precisa de patrones relacionados con la EPOC. Estas fases adicionales fortalecieron la metodología, proporcionando un enfoque holístico, que abordó desde los requisitos iniciales hasta la implementación práctica y el procesamiento inteligente de datos. Cabe destacar la importancia de la base de datos generada a partir de los valores obtenidos por la lectura de los sensores MQ, la cual fue fundamental para el desarrollo y entrenamiento efectivo del sistema.

Conclusiones

En esta investigación, se presentó la creación de un prototipo innovador de Nariz Electrónica para la fase preliminar del diagnóstico de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), que utiliza inteligencia artificial en el análisis de gases exhalados. La investigación se llevó a cabo en un entorno hospitalario, mediante la recolección de muestras de pacientes sanos y con EPOC, lo cual permitió probar un sistema que incorpora sensores MQ y una placa Arduino. La metodología comprendió el diseño, construcción, programación y pruebas, con un análisis de resultados mediante una red neuronal.

Los resultados preliminares revelan concentraciones elevadas de amoníaco, monóxido de carbono y cianuro en pacientes diagnosticados con EPOC. La

“Nariz Electrónica” se concibió como una solución de bajo costo y fácil manejo, con el propósito de mejorar la identificación temprana de la enfermedad. La aprobación en el ámbito de la salud facilitó la clasificación de las muestras, demostrando la eficacia del sistema, tanto en individuos sanos como en aquellos diagnosticados con EPOC.

Se concluye que ciertos sensores desempeñaron un papel distintivo en la identificación de sustancias relevantes, destacando la importancia de la integración de inteligencia artificial en la etapa de análisis de datos, contribuyendo a la mejora constante del sistema. Esto refuerza el potencial de la propuesta para el prediagnóstico del EPOC.

Entre las contribuciones clave de la investigación, destaca el desarrollo de una “Nariz Electrónica” con inteligencia artificial para el prediagnóstico eficiente de EPOC, la obtención de datos preliminares sobre la presencia de ciertos gases en el aliento de pacientes con EPOC, y la validación de la aceptación del estudio en el sector hospitalario.

Las implicaciones prácticas de esta investigación son significativas, ya que se presenta un enfoque novedoso para la detección temprana de la EPOC, utilizando tecnologías accesibles y validadas en el ámbito médico. Además, la validación en el sector hospitalario subraya la relevancia clínica de la “Nariz Electrónica”. Como sugerencia para investigaciones futuras, se podría profundizar en la optimización del sistema, así como en la expansión del estudio a un grupo más amplio de pacientes, teniendo en cuenta distintos factores que podrían afectar la detección y clasificación de la enfermedad.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro agradecimiento sincero a aquellas personas cuyo apoyo invaluable y guía fueron fundamentales para la culminación exitosa de este proyecto de investigación. Agradecemos al Dr. Adolfo Meléndez Ramírez, por su destacada dirección y asesoramiento experto a lo largo de este trabajo. Su profundo conocimiento y dedicación han sido una fuente inspiradora que ha enriquecido significativamente nuestro entendimiento del tema. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento al Dr. Francisco Jacob Ávila Camacho por su contribución valiosa y sus atinadas sugerencias que han mejorado la calidad y relevancia de nuestro estudio. Su experiencia ha sido esencial para el desarrollo y éxito de este proyecto.

Asimismo, queremos expresar nuestro reconocimiento al Maestro en ADN, Juan Manuel Stein Carrillo, cuya colaboración y asesoramiento técnico han sido esenciales para la implementación efectiva de las tecnologías empleadas en este proyecto. Su dedicación y conocimiento enriquecieron la fase práctica del trabajo.

Estamos profundamente agradecidos por su orientación, paciencia y apoyo constante a lo largo de este viaje científico. Su contribución no solo ha sido fundamental para el desarrollo de este estudio, sino que también ha dejado una marca perdurable en nuestra formación académica y profesional.

También queremos agradecerle a nuestra compañera Wendy Itzayana Vilchis Arriaga, por habernos apoyado en el modelo del prototipo E-nose y aportar sus conocimientos para que el diseño e impresión del prototipo, fuera de la mejor manera posible.

Bibliografía

- Bueno Vera, A., Luis Ortiz, G., & Taquia Gutiérrez, J. (2022). *Influencia de la posición del sensor MQ-6 y el tiempo transcurrido en la detección de concentración de GLP en una fuga doméstica. Ingeniería Industrial*, (43).
- Cajas, K. (Escuela Politécnica Nacional, Quito). *Redes de sensores inalámbricos para IoT, Automatización de redes inalámbricas de sensores*.
- Carbajal Peñaloza, E., Jiménez Alfaro, J., & Rodríguez Maya, E. (2018). "Nariz electrónica: Herramienta para detección de gases empleando redes neuronales artificiales". *Revista Tecnología Digital*, 8(1), 39-47.
- Castiblanco Avendaño, C., & Cañón Alfonso, N. (2019). *Prototipo de bajo costo para monitoreo de calidad en ambientes interiores*. Germina, 1(1).
- Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. (2022). "Sistema de control automático para la detección de fuga de gas natural". 6(3).
- Egas Acosta, C., & Revelo Vizcaino, E. (2022). *Implementación de un sistema para evaluar la cobertura de la red Sigfox en el interior de edificaciones*. Enfoque UTE.
- Flórez-Martínez, A., Vargas-Flórez, J., ..., & Quintana-Fuentes, L. (2021). "Implementación de un sistema de olfato electrónico para la adquisición de volátiles provenientes de almendras de cacao seco operado mediante el uso de una interfaz gráfica en Labview". *Aibi, revista de investigación, administración e ingeniería*, 8(S1).
- González-Quirón, L., Cevallos-Mina, M., ..., & Reyes-Vera, C. (2022). "Implementación de un banco de prueba de redes industriales de tipo Profinet, Profibus mediante un sistema de comunicación ethernet industrial". *Sapientia: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(1).
- Martínez Guashima, O., Paucar Samaniego, J., & Guaranga Broncano, E. (2021). "Diseño e implementación de un dispositivo de alerta temprana utilizando un sistema de comunicaciones inalámbricas y móviles para prevenir accidentes de tránsito". *Conciencia Digital* 4(3.1).
- Nagy, A., Polanco Risquet, A., ..., & Carralero Ibargollen, O. (2020). "Medición simultánea de gases con sensores MQ". *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 41(1).
- Naylamp Mecatronics. Tutorial sensores de gas MQ2, MQ3, MQ7 y MQ135.
- Orellana, D., Riera, D., ..., & Aguirre, G. (2019). "Alcoholímetro Vehicular con Control de Encendido, Gestión de Ayuda por Mensaje, Posicionamiento GPS y Reconocimiento Facial de Conductor". *ÑAWPAY Revista Técnica Tecnológica*.
- Panchi, C., & Egas Acosta, C. (2022). "Diagramas de estados para la conversión del protocolo MQTT-SN a MQTT utilizando UML". *Revista Tecnológica - ESPOL*, 34(3).
- Sánchez Sánchez, S. B. (2021). Prototipo de estudio clínico para la medición de gases en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (Tesis de maestría). Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.
- Veintimilla Andrade, J., Veintimilla Andrade, M., & Aguilar Cambisaca, N. (2023). "Sistema de monitoreo de higiene en baños utilizando tecnologías de la Industria 4.0". *RECIAMUC*, 7(2).
- Vinces Mendieta, M., Lóor Zamora, D., & Cruz Felipe, M. "Análisis de rendimiento en red de sensores inalámbricos con distintas topologías y cantidades de nodos". *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*.

Fotografías

<https://istockphoto-1459310847-2048x2048>

<https://istockphoto-1645674942-2048x2048>

<https://istockphoto-1647616078-2048x2048>

<https://www.infobae.com/america/tecnologia/2022/12/05/crean-una-nariz->

<https://www.gaceta.unam.mx/nariz-electronica-olfatea-males-mediante-el-aliento>

Modelado para Generación de Energía a Partir de un Relleno Sanitario en José María Morelos, Quintana Roo

Dr. Erandy Yam^{a*}, Dr. José Manuel Carrión^a, Dr. José Luis González Bucio^a,
Dr. Omar Yam Gamboa^a, Dra. Josefina Pérez Vargas^b,
Dr. Víctor Hugo Delgado^a, Dr. Graciano Calva Calva^c



Resumen

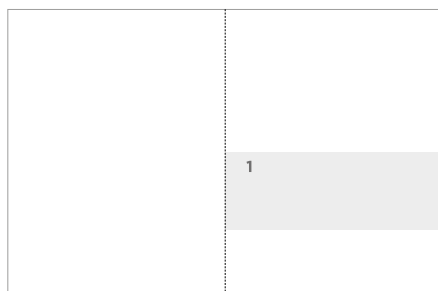
Acerca de los autores

^aUniversidad de Quintana Roo. División de Ciencias e Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Chetumal, Quintana Roo, México.

^bTecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. División de Química e Ingeniería Bioquímica, Ecatepec, Estado de México, México.

^cCentro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Biotecnología y Bioingeniería, Ciudad de México, México.

La generación mundial de residuos urbanos y orgánicos por las actividades antropogénicas, aumenta de manera constante en todo el mundo, demandando acciones pertinentes para mitigar efectos negativos al ambiente y la salud humana. México genera más de 20.4 millones de toneladas de residuos por pérdida y desperdicio de alimento, de los cuales el estado de Quintana Roo contribuye con alrededor de 1,800 toneladas diarias, que depositan en rellenos sanitarios, como el del municipio de José María Morelos, el cual recibe 21.4 toneladas semanales de ese tipo de residuos. Con el objetivo de proponer estrategias que contribuyan a disminuir los efectos negativos del contenido en ese tipo de rellenos sanitarios sobre la comunidad y el



<http://stecamgroup.com/es/residuos-solidos-urbanos-retos-y-tratamiento-a-traves-de-la-valorizacion-energetica>

medio ambiente, en este trabajo se propone aplicar el Modelo Mexicano de generación de biogás 2.0, utilizado como estudio de caso los residuos contenidos en el relleno de José María Morelos. La producción de biogás se ha estimado para un periodo de 10 años producción, considerando una velocidad de degradación muy rápida, y las constantes del modelo para la zona sureste de México, que sería de 778,849 m³ anuales de gas. Esta producción permitiría, según las leyes termodinámicas y la aplicación de un ciclo Rankine, la generación de una potencia neta de 166,450 kW durante el tiempo de funcionamiento, contribuyendo así al beneficio económico y ambiental, a la mitigación del efecto invernadero y al cambio social en el uso que actualmente se le da a los residuos urbanos y orgánicos, aminorando con ello la contaminación del suelo y del manto freático.

Palabras clave: residuos sólidos urbanos, relleno sanitario, biogás, producción de electricidad.

Abstract

The global generation of urban and organic waste from anthropogenic activities is steadily increasing worldwide, requiring appropriate action to mitigate negative effects on the environment and human health. Mexico generates more than 20.4 million tons from food loss and waste, of which the state of Quintana Roo contributes around 1,800 tons daily, which are deposited in landfills, such as the one in the municipality of José María Morelos, which receives 21.4 tons of this type of waste weekly. With the aim of proposing strategies that contribute to reducing the negative effects of the content of this type of landfill on the community and the environment, this study proposes the application of the Mexican Model for biogas generation 2.0, using the waste contained in the José María Morelos landfill as a case study. Biogas production has been estimated for a 10 year production period, considering a very rapid degradation rate and the model constants for southeastern of Mexico, at 778,849 m³ of gas per year. According to the laws of thermodynamics and the application of a Rankine cycle, this production would allow the generation of a net power of 166,450 kW during operating time, thus contributing to economic and environmental benefits, greenhouse gas mitigation, and social change in the current use of urban and organic waste, thereby reducing soil and groundwater pollution.

Keywords: Municipal solid waste, sanitary landfill, biogas, electricity production.

1. Introducción

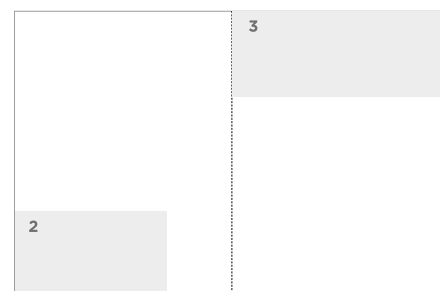
El crecimiento económico, la industrialización y la adopción de modelos económicos que fomentan un consumo creciente de insumos, han originado un impacto significativo en la cantidad y el tipo de residuos generados por





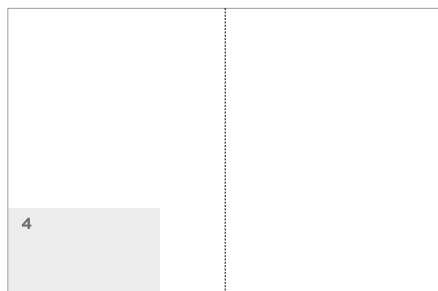
las sociedades a nivel mundial (Kaza *et al.*, 2018). Globalmente, el mundo genera alrededor de 2,010 millones de toneladas de residuos anuales, con proyecciones de producción de 3,400 millones de toneladas para el 2050 (Kaza *et al.*, 2018). De ese volumen, durante la producción, almacenamiento y distribución de alimentos, México produce más de 20.4 millones de toneladas provenientes de la pérdida y desperdicio de alimento (FLW por sus siglas en inglés) y cerca de 31 millones de toneladas sumando otros desechos orgánicos domésticos (Kaza *et al.*, 2018 pp 167). Evidentemente, esos residuos requieren gestiones apropiadas para evitar impactos negativos al ambiente y la salud humana, especialmente los dispuestos en rellenos sanitarios a cielo abierto (Raphela *et al.*, 2024, Gebrekidan *et al.*, 2024). La disposición inadecuada de estos residuos, además de afectar la salud humana y el medio ambiente, también pueden alterar la integridad de los ecosistemas naturales, con impactos devastadores para la biodiversidad (Gebrekidan *et al.*, 2024; INEGI 2025).

Según Kaza *et al.*, (2018), cerca del 50% de los residuos generados en México provienen de procesos alimentarios y son depositados en rellenos sanitarios a cielo abierto, por lo que su gestión inadecuada ha ocasionado impactos negativos en la natalidad, mortandad y salud de la población, de manera similar a lo reportado para la comunidad China y Brasileña (Raphela *et al.*, 2024). De esos residuos generados en México, según el Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos (PEPGIR), el estado de Quintana Roo, específicamente, genera alrededor de 1,800 toneladas diarias de residuos sólidos. Es importante destacar que 1,402 toneladas de tales residuos, provienen de los municipios Benito Juárez, Cozumel y Lázaro Cárdenas, y se depositan en tiraderos a cielo abierto o en rellenos sanitarios, que aunque contruidos según la normatividad vigente, han generado los problemas ambientales y de salud arriba mencionados, además de riesgos de



<httpssignificado.comrelleno-sanitario>

<httpsgrupopromesa.mxtagconsecuencias-de-un-mal-manejo-de-residuos>



<https://www.porestos.com/quintana-roo/2021/11/relleno-sanitario-de-cancun-al-borde-del-colapso-por-exceso-de-basura-si-resol.html>

incendios espontáneos (SEMA Quintana Roo, 2009; INEGI, 2025; *Noticaribe*, 2025)). Esto sugiere que, aunque hay un esfuerzo por parte de las autoridades locales para manejar los residuos de manera más responsable y sostenible, en general, éste es un problema importante en la entidad, además de que ha experimentado un aumento en la generación de residuos en años recientes (Sipse, 2024). Según datos reportados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2025), la producción de residuos sólidos urbanos en el estado, de 2022 a 2023, aumentó un 5.3%.

El municipio de José María Morelos, caso de estudio en este trabajo, se ubica al centro poniente del estado de Quintana Roo, abarcando una superficie de 6,739 kilómetros cuadrados, lo que representa el 13.2% del territorio estatal. Dicha extensión lo sitúa en el tercer lugar a nivel estatal. De acuerdo con el INEGI, en el 2010 la localidad contaba con una población de 58,727 habitantes (INEGI, 2025). Este municipio genera residuos sólidos domiciliarios a razón de 0.3645 kilogramos por habitante por día. Al multiplicar esta cantidad por los siete días de la semana y por el número de habitantes (58,727), se obtiene un total de 21,405.99 kilogramos, equivalentes a 21.405 toneladas semanales, que es la cantidad de residuos que se depositan en el relleno sanitario. Al realizar el análisis de la composición de esos residuos sólidos, se encontró que el 47% está compuesto por elementos orgánicos, seguido por plásticos (17%), y el resto por papel y cartón (11%). Además, se encontró que 11% de los residuos, se depositan directamente en el sitio de disposición final, junto con vidrios (6%) y textiles (4%). Es importante destacar que los metales constituyen un 4% de los desechos urbanos y generalmente son comercializados por algunas personas de la localidad (Chan Varguez, 2016).

La comunidad cuenta con un sitio de disposición final, conocido como “basurero a cielo abierto”, ubicado aproximadamente a un kilómetro de la comunidad. Sin embargo, este lugar no cuenta con reglamentos ni control de acceso para las personas. Además, según reportes de la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente de Quintana Roo (SEMA, Quintana Roo, 2009), los residuos en esa zona han llegado al límite del área, lo que ha llevado a los habitantes a optar por quemar esos desechos en las calles o en sus patios, o simplemente abandonarlos a las orillas de los caminos de acceso a la comunidad. En cuanto a la gestión de residuos, se encontró que existen dos microempresas que se dedican a la compra y venta de materiales reciclables, como plásticos derivados

del polietileno de tereftalato (PET), cobre, bronce, aluminio y cartón (Chan Varguez, 2016). Los dueños de estas microempresas se encargan de llegar hasta las comunidades para comprar los materiales. Sin embargo, se destacó que actualmente no se realizan acciones de reciclaje para los residuos orgánicos, lo que podría ser una oportunidad para implementar programas de compostaje, como el propuesto en este trabajo para la producción de biogás.

Es importante mencionar que el Relleno Sanitario de José María Morelos no cumple totalmente con



las especificaciones establecidas en la NOM-083-SEMARNAT-2003, en cuanto a operación y manejo de residuos; aunque la cantidad que llega al sitio se encuentra dentro del rango establecido para los Rellenos Sanitarios tipo “C”; la falta de control de acceso, la compactación y la cobertura de los residuos, son algunos de los problemas que afectan su adecuada operación (SEMA, Quintana Roo, 2009). Por consiguiente, es necesario proponer estrategias que contribuyan a disminuir los efectos negativos del contenido de ese relleno sanitario sobre la comunidad. Por tanto, el objetivo de este trabajo es aplicar el Modelo Mexicano de generación de biogás 2.0, utilizando esos residuos.

2. Parte experimental

Estimación del flujo del biogás.

Para la estimación del flujo de biogás, se usó la fórmula del Modelo Mexicano de Biogás (MMB) versión 2.0, reportado por Aguilar-Virgen *et al.*, (2011). El método aplica una ecuación de degradación de primer orden, que supone que la obtención de biogás llega a su máximo después de un tiempo, antes de la generación de CH₄, y asume que el periodo es de un año, desde la colocación de los residuos y el comienzo de la generación de biogás, por cada unidad de residuos después de un año; la generación disminuye exponencialmente mientras la fracción orgánica de los residuos es consumida (Aguilar-Virgen *et al.*, 2011).

$$Q_{LFG} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i 2 k L_o \left[\frac{M_i}{10} \right] (e^{-kt_{ij}}) (MCF) (F)$$

Donde: Q_{LFG} es el flujo de biogás máximo esperado ($m^3 \text{ año}^{-1}$), i es el incremento en tiempo de un año, n es el año del cálculo -año inicial de

disposición de residuos-, j es el incremento de tiempo en 0.1 años, k es el índice de generación de metano (año^{-1}), L_o es la generación potencial de metano ($m^3 Mg^{-1}$), M_i es la masa de residuos dispuestos en el año i (Mg), t_{ij} es la edad de la sección j de la masa de residuos M_i dispuestas en el año i (años decimales), MCF es el factor de corrección de metano, F es el factor de ajuste por incendios. El valor de k depende de factores como la humedad, la disponibilidad de nutrientes, el pH y la temperatura del relleno sanitario.

En el Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0 se han asignado valores de k para las cuatro categorías de degradación en cada una de las cinco regiones climáticas de México (Aguilar-Virgen *et al.*, 2011).

TABLA 1.
VALORES DEL ÍNDICE DE GENERACIÓN DE METANO (k)

Categoría de Residuo	Sureste	Oeste	Centro/Interior*	Noroeste	Noroeste/Interior Norte
DRR	0.300	0.220	0.160	0.150	0.100
DRMR	0.130	0.100	0.075	0.070	0.050
DRML	0.050	0.040	0.032	0.030	0.020
DRL	0.025	0.020	0.016	0.015	0.010

En este caso, únicamente se tomó la degradación de residuos muy rápida (DRR) del sureste del país.

De la misma forma, para los valores de Lo .

TABLA 2.
VALORES DEL ÍNDICE DE GENERACIÓN POTENCIAL DE METANO (Lo).

Categoría de Residuo	Sureste	Oeste	Centro/Interior*	Noroeste	Noroeste/Interior Norte
DRR	69	69	69	69	69
DRMR	115	126	138	138	149
DRML	214	214	214	214	214
DRL	202	202	202	202	202

El valor de F se supone de 0.5, debido a que el biogás está compuesto, principalmente, por un 50% de CH_4 y un 50% de CO_2 .

TABLA 3.
PARÁMETROS DE DEGRADACIÓN MUY RÁPIDA

Parámetro	Degradación Muy Rápida
k (año ⁻¹)	0.300
Lo (m ³ Mg ⁻¹)	69
MCF	1



El incremento de Mi por la disposición de RSU se calculó utilizando predicciones del incremento de la población estimados por la COESPO y datos de RSU generados en el municipio de José María Morelos, recolectados desde el mismo.

$Mi = (D) Pi$

Donde D es la producción per cápita de RSU y se obtuvo como el cociente de los RSU generados en el municipio (17,000 kg año-1) con base en datos del INEGI, 2014, entre el número total de habitantes (46,637), COESPO 2014, esto es igual a 0.364517443 Kilogramos al día por habitante ($Kg/d \cdot h$). Pi es la población del municipio predicha en el año i .

TABLA 4.
RESULTADOS DE LA CANTIDAD DE RSU DE LOS AÑOS PREDICHOS.

AÑO	D	PI	MI
2027	0.3645	60978	22226.481
2028	0.3645	62135	22648.2075
2029	0.3645	63313	23077.5885
2030	0.3645	64513	23514.9885
2031	0.3645	65735	23960.4075
2032	0.3645	66980	24414.21
2033	0.3645	68248	24876.396
2034	0.3645	69540	25347.33
2035	0.3645	70856	25827.012
2036	0.3645	72196	26315.442
2037	0.3645	73561	26812.9845

Estimación de la generación de energía

Para estimar la energía obtenida por el biogás producido en el relleno sanitario, se realizó una simulación termodinámica, considerando un ciclo Rankine.

TABLA 5.
PARÁMETROS DEL CICLO RANKINE

Parámetro	Unidades	Valor
Temperatura entrada de la turbina	°C	500
Presión entrada de la turbina	kPa	8000
Presión de saturación de salida de la turbina	kPa	20
Eficiencia isoentrópica de la turbina	%	85
Eficiencia isoentrópica de la bomba	%	85

El trabajo específico requerido por la bomba, se determinó mediante la siguiente expresión:

$$w_{bomba} = v(P_H - P_L) \quad (3)$$

Donde w_{bomba} es representado como el trabajo específico de la bomba en $(kJ/kg-1)$, v es el volumen específico del agua (m^3/kg) , P_H y P_L son las

presiones de salida y entrada de la bomba, respectivamente, en kPa .

Por otro lado, la potencia neta entregada por el sistema se obtuvo a partir de:

$$W_{net} = W_{turbina} - W_{bomba} \quad (4)$$

En esta fórmula, la potencia de la turbina, $W_{turbina}$, se calculó con la siguiente ecuación:

$$W_{turbina} = \dot{m}(h_{ent} - h_{sal}) \quad (5)$$

Donde m es el flujo másico de vapor de agua (kg/s), y $h_{entrada}$ y h_{salida} corresponden a las entalpías del vapor a la entrada y salida de la turbina (kJ/kg).

3. Resultados y discusión

En la Figura 1 se presentan los valores estimados de los flujos de biogás para velocidades de degradación muy rápida en un periodo de operación de diez años del relleno.

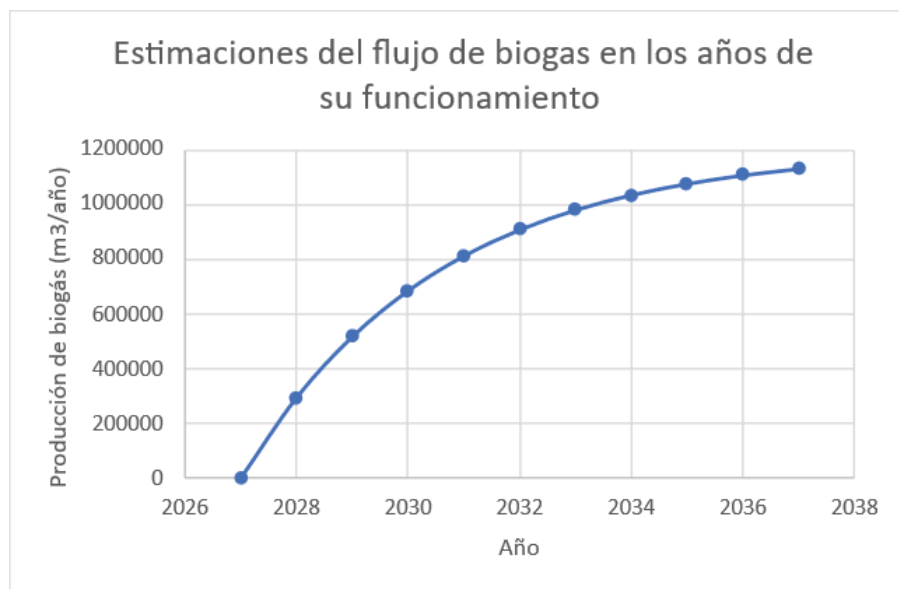


Figura 1

Estimaciones del Flujo de Biogás en el Periodo de Funcionamiento del Relleno.

En ella, se observa una tendencia creciente en la producción de biogás, relacionada con la proyección del incremento poblacional y la disposición de RSU. Los resultados indican que para 2037 la masa anual de RSU alcanzaría 26812.9845 Mg, lo que se traduce en un flujo máximo de biogás de 1'133,260 $m^3 \text{ año}^{-1}$.

Los flujos de biogás proyectados mediante el Modelo Mexicano de Biogás (MMB) sirvieron como base para estimar la capacidad de generación energética, aplicando la simulación termodinámica basada en ciclos Rankine (Hernández-Mena y Gómez-Meyer, 2011). Una de las grandes ventajas de emplear microturbinas en este sistema, es la significativa reducción de emisiones de gases invernadero. En comparación con otras fuentes de energía,

las microturbinas destacan por emitir niveles muy reducidos de NOx y por no requerir sistemas de postcombustión, lo que representa un beneficio ambiental considerable. Como se observa en la Tabla 6, los resultados indican que la potencia máxima alcanzable sería de 0.24 MW en el año 2037, correspondiente a un escenario de degradación muy rápida de los residuos.

TABLA 6.
POTENCIA Y ENERGÍA PRODUCIDA

Año	Potencia neta (MW)	kWh Producidos
2027	0	0
2028	0.06318	553,456.8
2029	0.11087	971,240.472
2030	0.1468	1'286,610.984
2031	0.174	1'524,660.48
2032	0.1945	1'704,363.12
2033	0.21	1'840,011.72
2034	0.2217	1'942,398.6
2035	0.2305	2'019,679.32
2036	0.2372	2'078,029.68
2037	0.2422	2'122,048.68
PROMEDIO	0.16645	1'458,409.078

Conclusiones

El municipio de José María Morelos cuenta con un tiradero a cielo abierto y éste enfrenta una deficiente gestión de residuos debido a la disposición incontrolada, por lo que se vuelve contaminante y genera riesgos ambientales y sanitarios. Los resultados demuestran que la implementación de un relleno sanitario con recuperación de biogás, podría generar hasta 1'133,260 m³ de biogás anuales, bajo un escenario de degradación muy rápida de los residuos sólidos urbanos. Este biogás, aprovechado mediante un ciclo Rankine y microturbinas, permitiría alcanzar una potencia neta de 0.2422 MW en 2037, con una producción eléctrica promedio de 1'603,842 kWh al año.

Bibliografía

- Abunama, T., Othman, F., Younes, M. K. (2018). Predicting sanitary landfill leachate generation in humid regions using ANFIS modeling. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(10), 597. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6966-y>
- Aguilar-Virgen, Q., Taboada-González, P. A., Ojeda-Benítez, S. (2011). Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 15(1), 37-45. <https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen15/modelo.pdf>
- Boyle, W. C. (1977). Energy recovery from sanitary landfills—a review. *Microbial energy conversion*, 119-138. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-021791-8.50019-6>
- Chan Varguez, Y. A. (2016). "Diagnóstico de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Municipio de José María Morelos, Quintana Roo, México," 2016.
- Diario *Imagen Qroo*, Quintana Roo (2024). "Se duplica generación de basura en colonias de José María Morelos". <https://diarioimagenqroo.mx/noticias/?p=552299>
- Dos Santos, I. F. S., Gonçalves, A. T. T., Borges, P. B., Barros, R. M., da Silva Lima, R. (2018). Combined use of biogas from sanitary landfill and wastewater treatment plants for distributed energy generation in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 376-388. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.011>
- Gebrekidan, T. K., Weldemariam, N. G., Hidru, H. D., Gebremedhin, G. G., Weldemariam, A. K. (2024). Impact of improper municipal solid waste management on fostering One Health approach in Ethiopia—challenges and opportunities: a systematic review. *Science in One Health*, 3, 100081. <https://doi.org/10.1016/j.soh.2024.100081>
- Hernández Mena, L. E., J. S. Gómez Meyer, J. S. (2011). Microturbinas: Una Tecnología eficiente para la generación distribuida. *METFLU (Metrología & Fluidos): Ciencia, Tecnología e Innovación. CDT de Gas, [Online]* 5, 36-39. Disponible en: met&flu_No05F.pdf
- INEGI (2025). Residuos Sólidos. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/temas/residuos/>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank Publications. Doi: 10.1596/978-1-4648-1329-0 <https://hdl.handle.net/10986/30317>
- Martínez Morales, I. N. (2021). Análisis de ciclo de vida para el manejo sustentable de residuos sólidos urbanos en el municipio de Xalatlaco. Tesis de Doctorado, Instituto Tecnológico de Toluca, Toluca, Estado de México. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/3754>
- Noor, Z. Z., Yusuf, R. O., Abba, A. H., Hassan, M. A. A., Din, M. F. M. (2013). An overview for energy recovery from municipal solid wastes (MSW) in Malaysia scenario. *Renewable and sustainable energy reviews*, 20, 378-384. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.050>
- Noticaribe (2025). "Advierten riesgos de incendios por basura a orilla de la carretera en José María Morelos". Marzo 26, 2025. <https://noticaribe.com.mx/2025/03/26/advierten-riesgos-de-incendios-por-basura/>
- Pereira Nascimento, D., Menezes, V. L., Carvalho, M., Chacartegui, R. (2019). Energy analysis of products and processes in a sanitary landfill. *IET Renewable Power Generation*, 13(7), 1063-1075. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2018.5777>
- Raphela, T., Manqele, N., Erasmus, M. (2024). The impact of improper waste disposal on human health and the environment: a case of Umgungundlovu District in KwaZulu Natal Province, South Africa. *Frontiers in Sustainability*, 5, 1386047. <https://doi.org/10.3389/frsus.2024.1386047>
- Rojas Martínez, F. J. (2018). *Modelo de generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos en la zona de Texcoco*. Tesis de Maestría, Posgrado en Socioeconomía, Estadística e Informática. Colegio de Posgraduados, Montecillo, Texcoco Estado de México. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/4189>
- SEMA Quintana Roo (2009). Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en el Estado de Quintana Roo. 2009-2011. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/187443/Quintana_Roo.pdf
- Silva, T.R., Barros, R.M., Tiago Filho, G.L., Dos Santos, I.F.S. (2017). Methodology for the determination of optimum power of a Thermal Power Plant (TPP) by biogas from sanitary landfill. *Waste management*, 65, 75-91. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.018>
- The World Bank (2023). What a Waste Global Database. <https://datacatalog.worldbank.org/search/dataset/0039597>

Fotografías

<https://istockphoto-1459310847-2048x2048>

<https://istockphoto-1645674942-2048x2048>

<https://istockphoto-1647616078-2048x2048>

<https://www.infobae.com/america/tecnologia/2022/12/05/crean-una-nariz-electronica-olfatea-males-mediante-el-aliento>

<https://www.gaceta.unam.mx/nariz-electronica-olfatea-males-mediante-el-aliento>

Prototipo 3D de una Silla Telecontrolada por EEG para Personas con Discapacidad Motriz

Luis Alberto Rodríguez Austria*, Armando Martínez Valdés**,
Gilberto Osorio Roque** y Dra. Griselda Cortés Barrera**



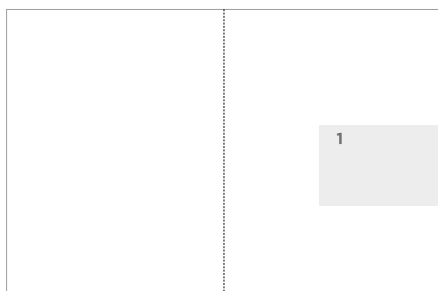
Acerca de los autores

*Tecnológico Nacional de México / TES
Ecatepec

**Tecnológico Nacional de México /
TES Ecatepec, Laboratorio Nacional
CONAHCYT en Inteligencia Artificial y
Ciencia de Datos

Resumen

El presente trabajo describe el diseño de una estructura móvil acoplada al asiento del copiloto de un auto sedán, destinada a ser teleoperada por personas con discapacidad motriz mediante instrucciones neuronales.



Archivo fotográfico del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

El prototipo puede desplegarse secuencialmente desde el interior del vehículo hacia el exterior mediante dos movimientos lineales y uno rotacional, facilitados por guías y rodamientos. En su posición final, la plataforma permite al usuario montar una silla de ruedas plegable. El sistema se controla a través de señales cerebrales captadas por una diadema Emotiv (de 5 ó 14 sensores), lo que permite su operación sin asistencia externa.

Palabras clave: Plataforma móvil, neurociencia cognitiva, EEG, Emotiv, neuro control, BCI.

Abstract

This work presents the design of a mobile structure attached to the front passenger seat of a sedan car, intended to be teleoperated by users with motor disabilities through neural instructions. The prototype can deploy sequentially from its initial position inside the vehicle to the outside using two linear movements and one rotational movement, assisted by linear guides and bearings. In its final position, the platform allows the user to place a foldable wheelchair. The system is controlled through brain signals captured by an Emotiv neuroheadset (with 5 or 14 sensors), enabling automatic platform movement without the need for third-party assistance.

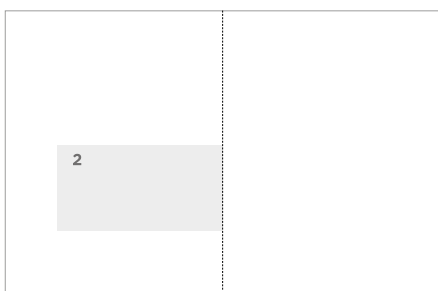
Keywords: Mobile platform, cognitive neuroscience, EEG, Emotiv, neuro control, BCI.



Introducción

El desarrollo de sistemas mecánicos ha avanzado continuamente para asistir en tareas físicas como carga y transporte, priorizando el mejoramiento del desplazamiento, estabilidad, durabilidad y eficiencia. Estas soluciones se diseñan según las necesidades específicas de cada aplicación y las limitaciones de espacio. Uno de los principales usos de las plataformas móviles, es el transporte de personas con discapacidad motriz y cargas pesadas, integrándose en vehículos para facilitar el acceso o elevación, como en camiones, camionetas, unidades médicas y transporte público.

Diversas instituciones académicas y empresas, han desarrollado prototipos funcionales de plataformas móviles para distintos desafíos. Entre ellos destacan plataformas auto balanceadas capaces de transportar hasta 100 kg, diseñadas con criterios estructurales para evitar deformaciones (Cely Gutiérrez, 2015). También existen sistemas elevadores montados en vehículos todoterreno, que usan mecanismos de tijera accionados por cilindros hidráulicos y distribuyen eficientemente las cargas en terrenos blandos (Martínez del Carmen, 2018).



https://www.emotiv.com/products/epoc-x?srsId=AfmBOooYNduU2va1L4-gbIEQDdKEOCH5mDn8voLaYB9SFsmftAPy_e3b

En el ámbito experimental, se han creado plataformas para pruebas mecánicas, como simuladores de impacto que soportan hasta 1,000 kg, útiles para analizar esfuerzos y deformaciones (Molina Cortez, 2018). Actualmente, las señales electroencefalográficas (EEG) y las Interfaces Cerebro-Computadora (BCI) permiten el control asistencial de dispositivos como prótesis, drones y sillas de ruedas para usuarios con limitaciones motrices, mejorando su autonomía (Ihab, 2022; Monge Lay, 2015).

Este trabajo se centra en el diseño y desarrollo de una plataforma móvil ubicada en el asiento del copiloto de un automóvil compacto. La plataforma, controlada mediante una diadema EEG Emotiv Insight inalámbrica de cinco sensores, se despliega mecánicamente para permitir el montaje de una silla de ruedas plegable. Su propósito es brindar a personas con discapacidad motriz la posibilidad de acceder al vehículo de manera autónoma, utilizando control mental y sin requerir asistencia externa.

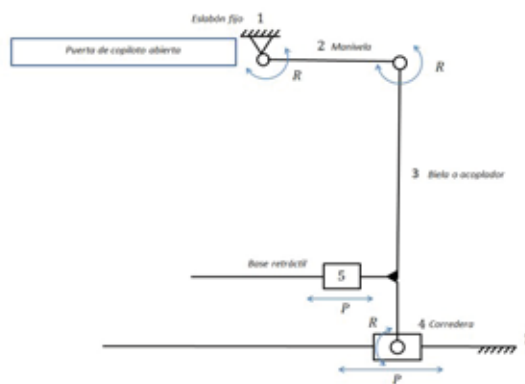


Figura 1a

Mecanismo en posición inicial.

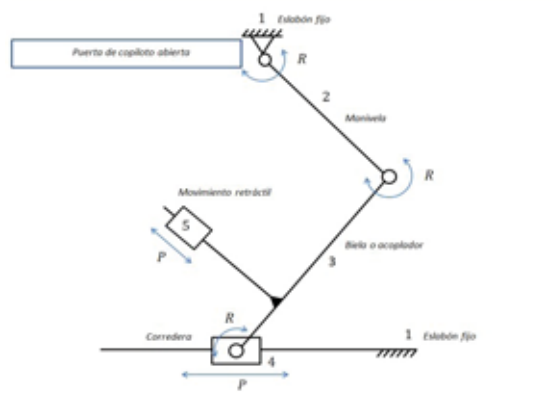


Figura 1b

Mecanismo en movimiento.

Descripción del sistema mecánico de la plataforma móvil

El sistema mecánico incluye una plataforma giratoria retráctil y una silla de ruedas eléctrica, ambos instalados en el lugar del asiento del copiloto de un automóvil compacto. La plataforma, compuesta por un mecanismo de cinco eslabones con dos grados de libertad, actúa como soporte y base móvil para la silla. Su movilidad permite ubicar la silla en una posición óptima para facilitar su salida del vehículo. La silla se monta sobre el eslabón cinco del mecanismo, como se muestra en las Figuras 1a y 1b.

Para el dimensionamiento del mecanismo, se consideró el espacio disponible en un automóvil Seat Ibiza Coupe, dos puertas modelo 2013, cuyas medidas de interés para el dimensionamiento y del mecanismo, se muestran en las Figuras 2a y 2b.

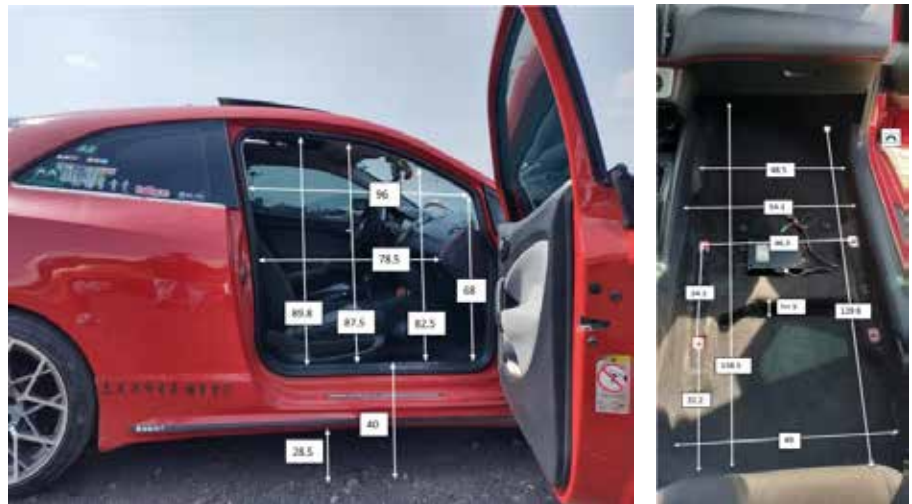
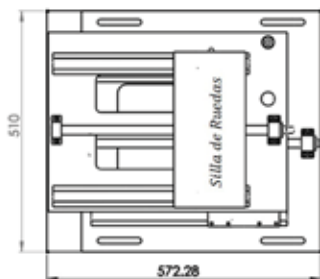
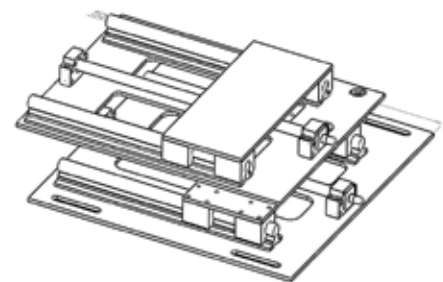


Figura 2a y 2b

Espacio disponible para el dimensionamiento del mecanismo.



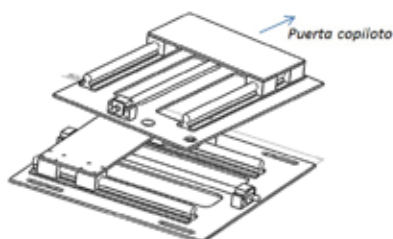
3a



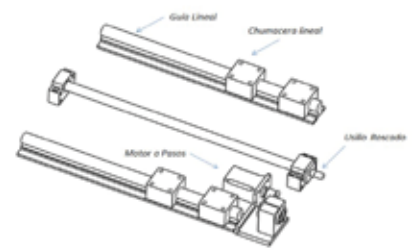
3b

Figura 3a y 3b

Posición inicial y dimensiones del mecanismo.



3c



3d

Figura 3c y 3d

c) Mecanismo en posición para la salida de la silla de ruedas, d) Sistema motriz de la plataforma giratoria retráctil.

Las Figuras 3a y 3b presentan el modelado y dimensiones principales de la base giratoria diseñada según el espacio disponible. El mecanismo se desliza hasta la posición adecuada para la salida de la silla de ruedas (Figura 3c). Para mover cada grado de libertad, se usan dos husillos roscados de 16 mm de diámetro y 1 mm de paso, acoplados a un reductor de banda dentada HTD3M-15 con relación 1:9, impulsados por motores paso a paso bipolar Nema 17, de alto torque (92 Oz.in / 65 N·cm). Las guías lineales SBR20 con chumaceras SBR20UU, aseguran un desplazamiento preciso (Figura 3d).

En las articulaciones de tipo revoluto, se utilizan rodamientos de bolas para permitir el movimiento rotativo que impulsa un husillo sin fin con tuerca de bola de 16 mm de diámetro y 5 mm de paso. Este mecanismo está presente en las articulaciones de los eslabones 4 y 1, así como en las prismáticas entre los eslabones 3 y 5. El motor empleado también es un paso a paso bipolar NEMA 17, de alto par, con 4 hilos y dimensiones de 1.65 x 1.65 x 2.36 pulgadas. La estructura de la base está fabricada con placa de acero 1045 de 3/8" de espesor.

El mecanismo de la silla de ruedas corresponde a la segunda etapa del proyecto e integra una silla autónoma montada sobre una base giratoria retráctil. Su diseño incorpora un asiento y un sistema retráctil independiente, que permite plegar las ruedas para facilitar su acomodo en la cabina del copiloto de un vehículo compacto. Las dimensiones se muestran en las figuras 4a a 4d, y toda la estructura está fabricada en aluminio para minimizar el peso del mecanismo.

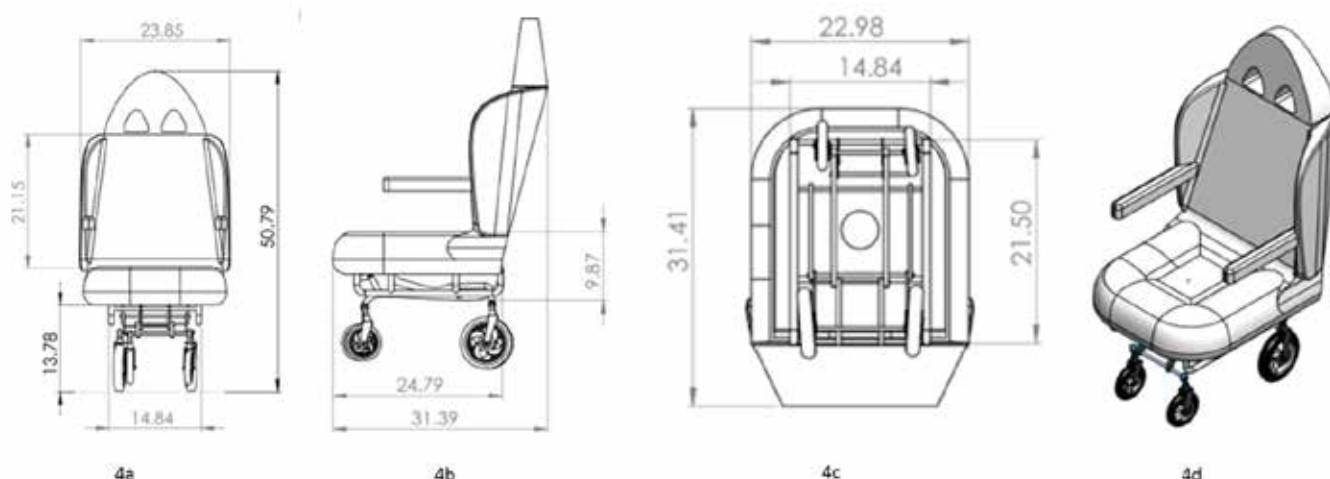


Figura 4a - 4b

Dimensiones de la silla de ruedas.

La base de la silla la compone un mecanismo de ruedas plegables, cumpliendo la función de servir como plataforma de montaje para la placa base de la silla de ruedas. Este diseño garantiza que los eslabones del mecanismo plegable no soporten directamente el peso del usuario, contribuyendo a la distribución de la carga de manera más efectiva. Las dimensiones del mecanismo de ruedas plegables, se muestran en las figuras 5a y 5b. La estructura está construida utilizando tubo de aluminio de aleación 6060 T66, lo que aporta ligereza y resistencia al conjunto, las figuras 5c y 5d muestran con números de identificación, todos los elementos que componen el sistema completo, cuya descripción se muestra a continuación.

El sistema plegable de la silla de ruedas se compone de varios elementos clave. La placa base (1), de aluminio y redondeada al frente, soporta el asiento y al usuario, y aloja los eslabones del mecanismo de plegado. La estructura tubular (2), fabricada en aleación de aluminio 6060 T66, sirve como plataforma de montaje y distribuye el peso eficientemente. Las ruedas delanteras (3), de goma antideslizante y dimensiones 20 cm x 2.5 cm, proporcionan equilibrio junto con las ruedas traseras. Están unidas por un acoplamiento rotatorio (4) de aluminio, que permite su plegado interno.

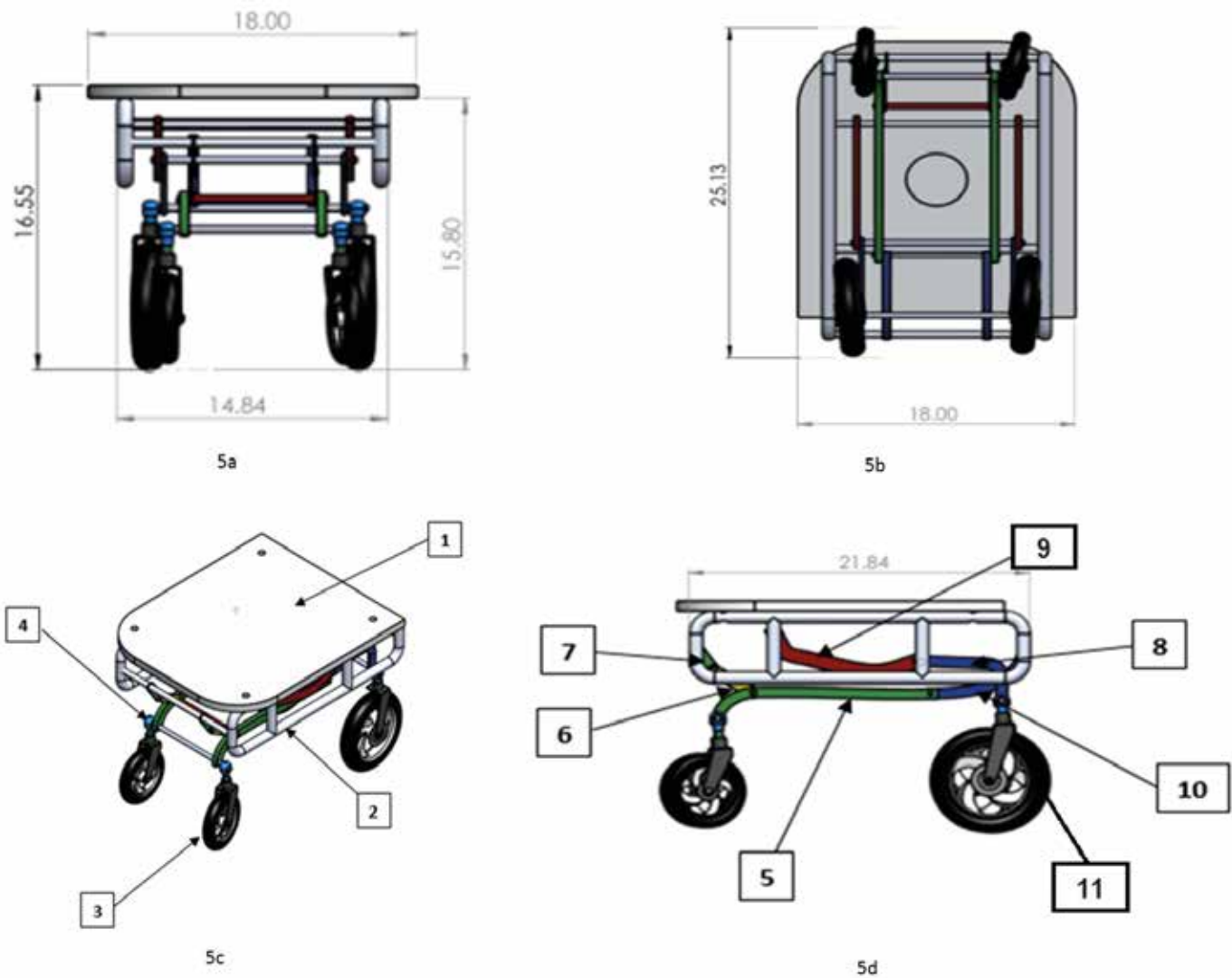


Figura 5a-5d

Dimensiones de la base de la silla plegable a) vista frontal. b) vista inferior, c y d) Componentes de la base de la silla de ruedas.

Los elementos 5 al 10 constituyen el mecanismo plegable, todos de aluminio, y permiten el movimiento lineal para plegar las ruedas motorizadas y delanteras. Las especificaciones completas se detallan en las figuras 6a a 6f. Finalmente, las ruedas motorizadas (11) integran servomotores compactos de 48 VCD capaces de desplazar el peso total del usuario y del sistema, permitiendo el movimiento autónomo de la silla.

Construcción de interfaz Cerebro-Computador

Actualmente, la arquitectura de los sistemas BCI se emplea ampliamente para neurocontrolar dispositivos como sillas de ruedas, drones o prótesis. Estos sistemas utilizan EEG, un método no invasivo, de bajo costo, portátil y compatible, que mide la actividad eléctrica del cerebro mediante electrodos en el cuero cabelludo, permitiendo traducir señales fisiológicas en comandos de movimiento para controlar dispositivos con la mente (Ihab, 2022).

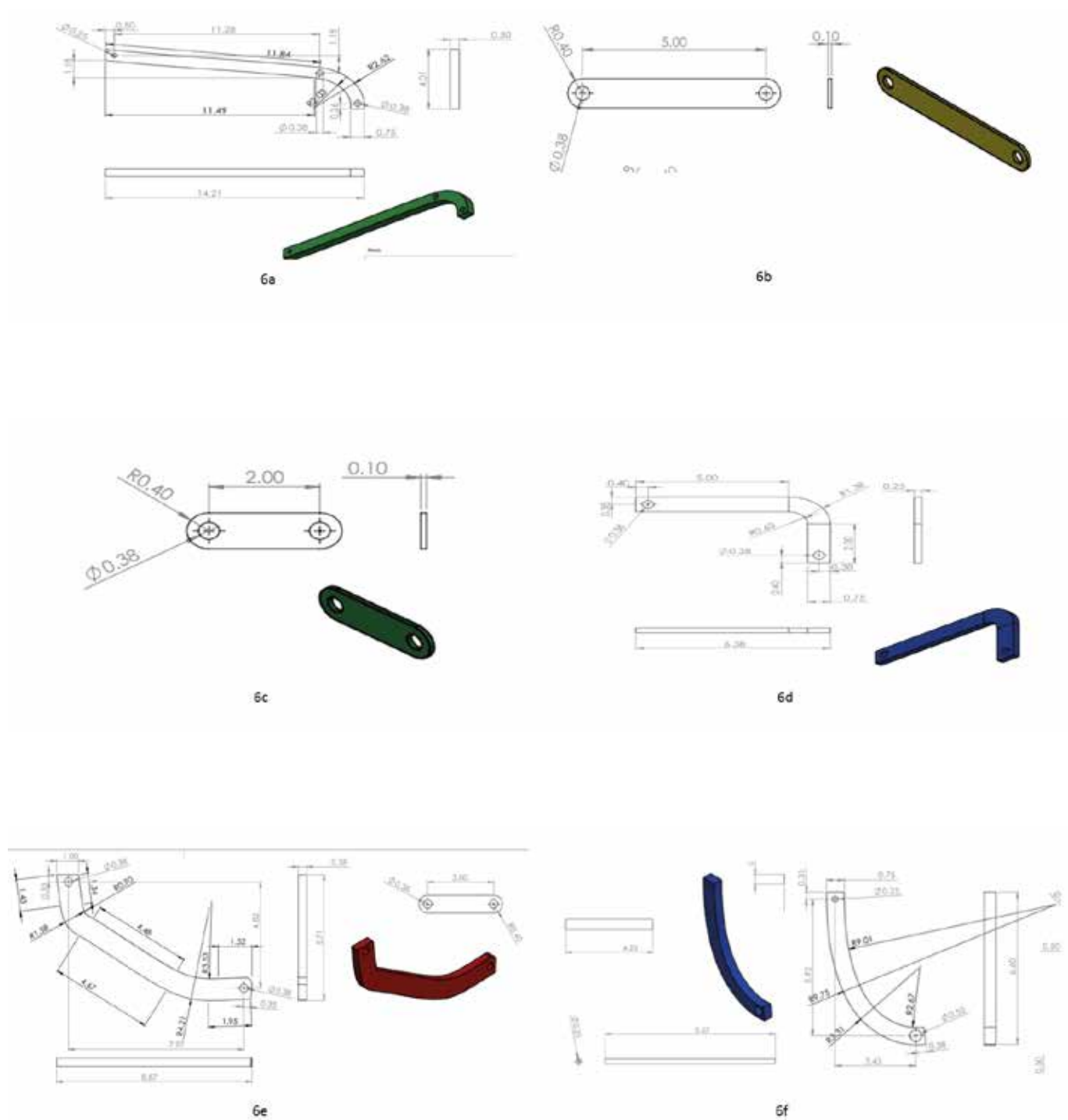


Figura 6a-6f

Eslabones que componen el sistema plegable de la base de la silla de ruedas.



Figura 7a-5c

- a) Ubicación de los sensores bajo un sistema internacional 10-20;
 b) Diadema Emotiv Insight de 5 electrodos; c) Diadema Emotiv EPOC X de 14 electrodos.

Sistema de neurocontrol de la plataforma móvil. Se utilizó una diadema Emotiv con cinco y catorce canales para la captura y medición de señales EEG, con sensores distribuidos según el sistema internacional 10-20 (Figura 7a). Este dispositivo permite la lectura de señales en el rango de microvoltios (QV) (Acharya *et al*, 2019). Los ritmos EEG registrados, se clasifican por frecuencia en alfa (α), beta (β), delta (δ), theta (θ) y gamma (Ihab, 2022).

A continuación se resumen los pasos para instalar el software, conectar, configurar y calibrar los sensores de la diadema EEG:

1. Para configurar, calibrar y utilizar la diadema, será necesario descargar e instalar Emotiv Launcher, en la siguiente dirección <https://www.emotiv.com/get-started/>
 - a. Antes de utilizarlo será necesario que tenga carga el 100%.
 - b. Armar la diadema e hidratar los sensores utilizando agua salina (líquido para lentes de contacto), esto facilitará la conexión.
 - c. Conectar USB para comunicar el equipo con la diadema a través de Bluetooth.

Figura 8a-8c

- a) Consideraciones para colocar y ajustar diadema; b) Iniciar sesión; c) Conexión por Bluetooth.



Para la integración y comunicación de la diadema EEG con un prototipo robótico que responda a instrucciones neuronales, se construyó un circuito utilizando una placa Arduino UNO, un módulo Bluetooth HC-06, un chasis con rueda loca, dos ruedas, dos motores reductores TT de doble eje, un controlador de motores L298N, un interruptor ON/OFF, un portapilas con cuatro baterías AA para alimentar el Arduino y una pila de 9V para el controlador y los motores. (Figura 10).

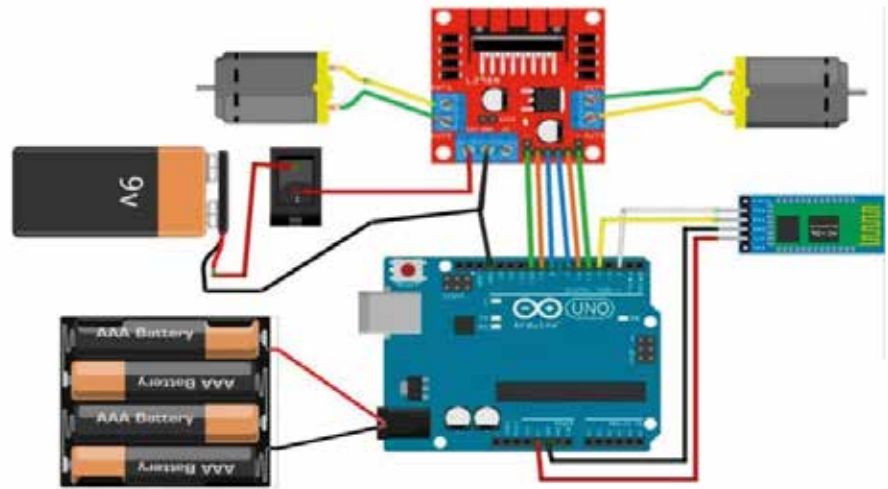


Figura 10

Esquema y prototipo para
neurocontrolar con la Diadema
EEG.

Resultados y Conclusiones

Se logró la construcción de la plataforma robótica en 3D al 60% de su tamaño real (Figura 11a). Las pruebas se realizaron utilizando dos diademas de EMOTIV de 5 y 14 electrodos. Para lograr el entrenamiento y funcionamiento de las cuatro acciones neuronales cognitivas (avanzar, retroceder, izquierda, derecha), es necesario que el usuario tenga una muy buena concentración y atención en las acciones a realizar, ya que en caso contrario, no se lograrán las peticiones deseadas (Figura 11b).

Desafortunadamente, el tiempo de entrenamiento requiere de total concentración y realizar dicho proceso en diferentes etapas, ya que el promedio de tiempo dependerá de las habilidades cognitivas de cada usuario, pues nos percatamos que algunos usuarios se concentran más en espacios cerrados, otros interactuando con otras personas y algunos más haciendo algunas actividades diferentes a la concentración.



Figura 11a-11b

a) Plataforma robótica en impresión 3D neuro controlada con la Diadema EMOTIV EPOC X; b) entrenamiento del cubo y acciones de operación neuronal

Agradecimientos

Esta investigación y desarrollo fue soportado gracias al trabajo colaborativo del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec; del Centro de Investigación de Computación, del Instituto Politécnico Nacional; de instituciones pertenecientes LNC-IACD, mismas que agradecen al COMECYT por el respaldo económico otorgado a través de la convocatoria de redes de colaboración en el 2023, para la ejecución del proyecto. Asimismo, los autores expresan total gratitud a los investigadores y estudiantes por las contribuciones otorgadas.

Bibliografía

- Cely Gutiérrez, J. S. (2015). *Diseño y simulación de una plataforma móvil auto-balanceada para el transporte de una persona promedio* [Tesis de ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada]. Archivo digital. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13810>
- Ihab Abdulrahman Satam. (2023). "A comprehensive study of EEG-based control of artificial arms Vojnotehnicki glasnik". *Military Technical Courier*, vol. 71, no. 1, pp. 9-41, University of Defence.
- Martínez del Carmen, F. (2018). *Diseño de un sistema elevador para vehículos* [Tesis de ingeniería, Universidad Politécnica de Catalunya]. Archivo digital. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14338/Mem%C3%B2ria_PFC2.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Molina Cortez, J. A. (2018). *Diseño de una plataforma móvil y un sistema de desaceleración para pruebas de seguridad pasiva* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Archivo digital. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/25484>
- Monge Lay, S., & Aracena Pizarro, D. (2015). "Control de movimiento robótico con detección cognitiva y facial mediante Emotiv EEG". *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 23(4), 496-504. ISSN: 0718-3291. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77242864002>

Fotografías

Archivo fotográfico del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

https://www.emotiv.com/products/epoc-x?srsId=AfmBOooYNduU2va1L4-gbIEQDdKEOCH5mDn8voLaYB9SFsmftAPy_e3b

Comparativa de Diferentes Técnicas de Minería de Datos para la Predicción de Días con Alta Contaminación en el Estado de México

Lic. Ana Rosa Velázquez Cordero*
Dr. Francisco Jacob Ávila Camacho*

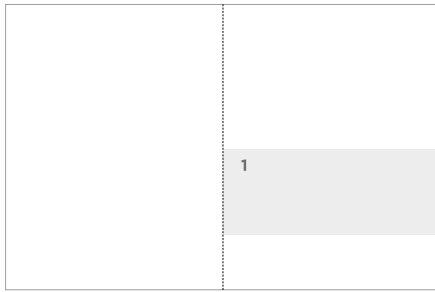


Resumen

Cuando la contaminación del aire supera los niveles máximos permitidos por la Norma Oficial Mexicana en el área metropolitana de la Ciudad de México, constituye un riesgo al medio ambiente y a la salud de la población, dado que puede ocasionarle problemas de tipo respiratorio y cardiovascular. Ante esa situación, se busca diseñar un sistema que alerte de manera anticipada a sus habitantes, gobierno e industrias, sobre los índices gases y partículas contaminantes, utilizando para ello, diferentes técnicas de minería de datos, que permitan comparar la información para predecir los días con mayor contaminantes en el aire, y al final, contar con la mejor técnica para reducir ese riesgo.

Acerca de los autores

*Académico-Investigador del TECNM / Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec



pexels-alexeydemidov-9560086

En este trabajo, se incluye una breve historia de la medición de la calidad del aire, los tipos de contaminantes aéreos y cómo se producen; al final, se indica el estado en que se encuentra esta investigación.

Palabras clave: Calidad del Aire, Norma Oficial Mexicana, Predicción, Pronóstico, Minería de Datos.

Abstract

When air pollution exceeds the maximum levels permitted by the Mexican Official Standard in the metropolitan area of Mexico City, it poses a risk to the environment and the health of the population, as it can cause respiratory and cardiovascular problems. Given this situation, the goal is to design a system that provides early warning to residents, the government, and industries about the levels of polluting gases and particles. This system uses various data mining techniques to compare information to predict the days with the highest levels of air pollution and, ultimately, identify the best technique to reduce this risk.

This paper includes a brief history of air quality measurement, the types of air pollutants, and how they are produced; the current status of this research is outlined at the end.

Keywords: Air quality, Official Mexican Standard, Prediction, Forecast, Data Mining.

Introducción

Desde 1986, en la Ciudad de México, por primera vez se utilizó la palabra IMECA, siglas que significan Índice Metropolitano de la Calidad del Aire, el cual es utilizado para medir la calidad del aire, debido a que en ese año (González, 2018) se registran niveles de contaminación elevados con un valor mayor a 491 IMECA, en gran medida por el aumento de la población, la actividad de las industrias, la falta de control de emisiones en los vehículos y la baja calidad de los combustibles.



Antes del concepto IMECA, se utilizaba el concepto de IMEXCA, que de acuerdo con el doctor David Aguilar Pulido (2018), se utilizaba en 1977 y que se refería al Índice Mexicano de la Calidad del Aire, basado en las normas del aire de los Estados Unidos, debido a que en nuestro país no se tenía ningún criterio para realizar las mediciones de la calidad del aire.

La exposición constante a la mala calidad del aire, puede desencadenar enfermedades (Velasco & Retama, 2019) como Alzheimer y Diabetes Tipo 2, incluso incentivar cuadros de ansiedad, depresión, enfermedades respiratorias y cardiovasculares. A continuación, se enlistan los principales efectos que se originan por la mala calidad del aire.

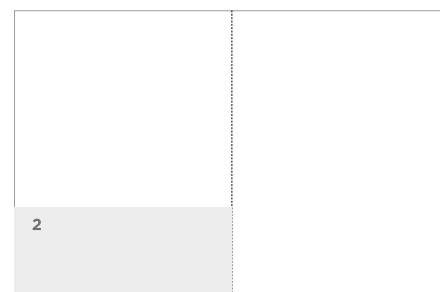
TABLA 1.
EFECTOS GENERADOS POR UNA MALA CALIDAD DEL AIRE DE ACUERDO CON (VELASCO & RETAMA, 2019)

Tipo de Rubro	Efectos Nocivos
Efectos en la salud	• Incrementos en casos de Asma. • Desarrollo de cáncer. • Disminución en la expectativa de vida de las personas. • Efectos más severos en personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares.
Impacto en el crecimiento económico y desarrollo social	• Muertes prematuras. • Disminución en la productividad laboral.
Transporte	• Activación de las fases de contingencia ambiental “Hoy no circula”. • Restricción de la circulación para autos de uso personal, de transporte público y de carga.
Actividades al aire libre	• Suspensión parcial o definitiva de actividades al aire libre.
Sector empresarial	• Reducción de actividades en industrias manufactureras, refinerías y aquellas que generen combustión.

Dentro de los principales tipos de contaminantes que se encuentran en el aire, se encuentran los siguientes:

- Ozono (O₃)
- Partículas Suspendidas (PM)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Dióxido de Nitrógeno (NO₂)
- Dióxido de Azufre (SO₂)

A continuación, se enlistan los tipos de contaminantes del aire, con sus límites máximos permitidos, y cómo se clasifica cada índice para medir la calidad del aire de acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales



<https://adnoticias.mx/mala-calidad-del-aire-amp>

(SEMANART), la cual elaboró la Norma Oficial Mexicana 172 (*Gaceta Oficial de la Ciudad de México*, 2018):

TABLA 2.
VALORES MÁXIMOS DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS PERMITIDOS POR LA NOM 172
(NORMA OFICIAL MEXICANA, DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2021).

Partículas Suspendidas (PM 10)		
Calidad del aire	Nivel Riesgo	Valor
Buena	Bajo	0 = 40
Aceptable	Moderado	>41 y 75
Mala	Alto	>76 y 214
Muy Mala	Muy Alto	>215 y 354
Extremadamente Mala	Extremadamente Alto	>355

TABLA 3.
VALORES MÁXIMOS OZONO PERMITIDOS POR LA NOM 172
(NORMA OFICIAL MEXICANA, DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2021).

Ozono (O3)		
Calidad del aire	Nivel Riesgo	Valor
Buena	Bajo	70
Aceptable	Moderado	>71 y 95
Mala	Alto	>96 y 154
Muy Mala	Muy Alto	>155 y 204
Extremadamente Mala	Extremadamente Alto	>205



TABLA 4.
VALORES MÁXIMOS DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO PERMITIDOS POR LA NOM-023
(NORMA OFICIAL MEXICANA, DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN).

Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)		
Calidad del aire	Nivel Riesgo	Valor
Buena	Bajo	0 = 105
Aceptable	Moderado	>106 y 210
Mala	Alto	>211 y 430
Muy Mala	Muy Alto	>431 y 649
Extremadamente Mala	Extremadamente Alto	>650

TABLA 5.
VALORES MÁXIMOS DE DIÓXIDO DE AZUFRE PERMITIDOS POR LA NOM-022
(NORMA OFICIAL MEXICANA, DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN).

Dióxido de Azufre (SO ₂)		
Calidad del aire	Nivel Riesgo	Valor
Buena	Bajo	0 = 25
Aceptable	Moderado	>26 = 110
Mala	Alto	>111 = 207
Muy Mala	Muy Alto	>208 y 304
Extremadamente Mala	Extremadamente Alto	>305

TABLA 6.
VALORES MÁXIMOS DE MONÓXIDO DE CARBONO PERMITIDOS POR LA NOM-021
(NORMA OFICIAL MEXICANA, DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN).

Monóxido de Carbono (CO)		
Calidad del aire	Nivel Riesgo	Valor
Buena	Bajo	0 = 5.5
Aceptable	Moderado	>5.6 = 11.0
Mala	Alto	>11.1 = 13.0
Muy Mala	Muy Alto	>13.1 y 15.4
Extremadamente Mala	Extremadamente Alto	>15.5

Actualmente, en la Ciudad de México se cuenta con 28 estaciones de monitoreo de la calidad del aire y el Estado de México con 16, donde cada hora se realiza el registro por tipo de contaminación y su valor correspondiente, los cuales se mandan al Sistema de Monitoreo Atmosférico, que a su vez se envían a la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) quien se encarga

de leer, interpretar y comunicar a la población a través de la página <http://www.aire.cdmx.gob.mx> (Gobierno de la Ciudad de México, 2023) .

De acuerdo con la revisión realizada en dicha página, cada hora las estaciones de monitoreo envían información a la CAME (Comisión Ambiental Megalópolis) por cada contaminante del aire y ésta, a su vez, toma los datos y los remite a la página para que se publiquen. En caso de detectar que se superan los niveles máximos permitidos, que son 150 IMECAS, se activa la fase de contingencia ambiental para el día siguiente.



El Licenciado Camacho González (2018), indica que la contaminación del aire es uno de los problemas ambientales que más preocupa a las grandes ciudades, debido al uso indiscriminado del automóvil, el aumento de fábricas y la poca educación en temas ambientales.

Minería de Datos

La minería de datos (Valero Orea & Vargas, 2018) es el proceso de descubrir conocimientos interesantes, como patrones, asociaciones, cambios, anomalías y estructuras significativas a partir de grandes cantidades de datos almacenados en bases de datos, data warehouses o cualquier otro medio de almacenamiento de información. La aplicación de algoritmos de minería de datos requiere de actividades previas destinadas a preparar los datos de manera homogénea. Esta primera etapa es conocida como ETL (Extract, Transform and Load), un proceso completo de

aplicación de técnicas de minería, también llamado proceso de descubrimiento del conocimiento en bases de datos.

Como parte de la técnica a utilizar para realizar un comparativo de las diferentes técnicas de minería para la predicción de datos, se tiene:

Redes Neuronales

Una red neuronal consiste en una serie de neuronas conectadas, su comportamiento depende del modelo neuronal a que sean sometidas (Yang, 2019). El primer modelo matemático de neuronas artificiales, fue propuesto en 1943 por MacCulloch y Pitts, consistente en que a una neurona que recibe señales de entrada, se le aplica una función de activación y arroja una salida como resultado.

De acuerdo con el autor Christos (Christos & Dimitrios, 1996), las redes neuronales artificiales son las técnicas más usadas, con las que se busca imitar el comportamiento y la arquitectura de las neuronas naturales, a fin de que una computadora tenga la capacidad de aprender de un problema real.

Árboles de decisión

De acuerdo con Britos (BRITOS, 2005) los árboles de decisión se categorizan como aprendizaje basado en similitudes, los árboles de decisión son de los

algoritmos más sencillos y fáciles de implementar y a su vez de los más poderosos. Este algoritmo, genera un árbol de decisión de forma recursiva al considerar el criterio de la mayor proporción de ganancia de información, es decir, elige al atributo que mejor clasifica a los datos.

Los árboles de decisión son un método de clasificación supervisada, ya que, si tiene una variante o clase dependiente, el objetivo del clasificador va a ser averiguar dicha clase para casos nuevos (Sierra, 2006).

Árboles de Regresión

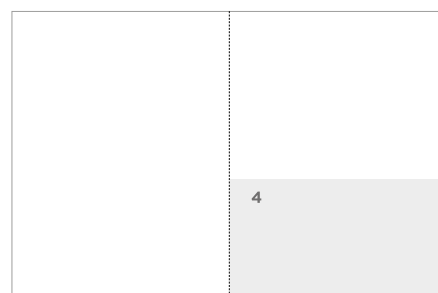
De acuerdo con el Dr. Jorge Bacallao, (2014), los árboles de regresión se emplean para asignar sujetos a las clases de una variable dependiente a partir de sus mediciones en uno o más predictores. Modernamente, los árboles de regresión constituyen forman parte de los recursos instrumentales básicos de la llamada “minería de datos”. Producen cortaduras en los regresores para predecir o explicar variables dependientes discretas, usualmente binarias, por la interpretación inmediata de sus resultados y por su condición “no paramétrica”.

Planteamiento del problema

Actualmente no se cuenta con un modelo de predicción que permita conocer el comportamiento de los elementos que conforman la alta contaminación del aire, lo que deja en incertidumbre a la población, sector industrial y el gobierno sobre cuándo se activará la fase contingencia. Por ello, sería importante contar con predicciones para los próximos días, a fin de alertar a la población y que tome las medidas preventivas necesarias, además de establecer acciones para evitar que se alcancen los niveles máximos.



istockphoto-1163820385-2048x2048



<http://sadnoticias.mxecatepec-entre-las-ciudades-mas-contaminadas-del-mundo-supera-a-pekiny-dehliamp>



Como parte de la problemática antes expuesta, surgen las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿De qué manera las diferentes técnicas de predicción de minería de datos pueden ayudar a predecir los niveles de contaminantes después de 24 horas?
2. ¿El tomar los valores de monitoreo de los municipios del Estado de México durante un año, permitirá predecir cuáles serán los próximos días de alta contaminación?

El objetivo general de este artículo, es comparar las diferentes técnicas de minería de datos, que ayuden a la población, gobierno y empresas, a tomar las medidas necesarias con suficiente antelación, tomando como referencia tres estaciones meteorológicas dentro del municipio de Ecatepec.

Los objetivos específicos, son:

1. Seleccionar las estaciones meteorológicas clave en el municipio de Ecatepec, para realizar la recolección de datos históricos de monitoreo de al menos 1 año.
2. Describir las variables independientes que se utilizarán en el modelo, con base en los elementos contaminantes que afectan la calidad del aire para evaluar la correlación entre ellas y la variable dependiente.
3. Realizar un análisis estadístico de los datos históricos, incorporando las variables adicionales descritas en el objetivo anterior, para entender su influencia en la calidad del aire.
4. Analizar los distintos modelos de predicción, así como las diversas técnicas de minería de datos basadas en aprendizaje, para seleccionar el más adecuado para la estimación futura de la calidad del aire.
 - a. Seleccionar el modelo de predicción de la calidad del aire que tenga el menor grado de error, para realizar pruebas y comprobaciones con los datos históricos y actuales.
 - b. Evaluar el modelo para presentar los resultados de la investigación.

El diseño de un modelo de la calidad del aire utilizando datos de tres estaciones meteorológicas del municipio de Ecatepec, permitirá realizar la predicción de los días con una mayor contaminación en el Estado de México.

Desarrollo

Como primer paso para el análisis del comportamiento de los niveles de contaminantes en el aire, se tomarán un municipio del Estado de México que cuente con más de una estación meteorológica, por ello se utilizará el municipio de Ecatepec de Morelos, el cual cuenta con tres estaciones meteorológicas las cuales son:

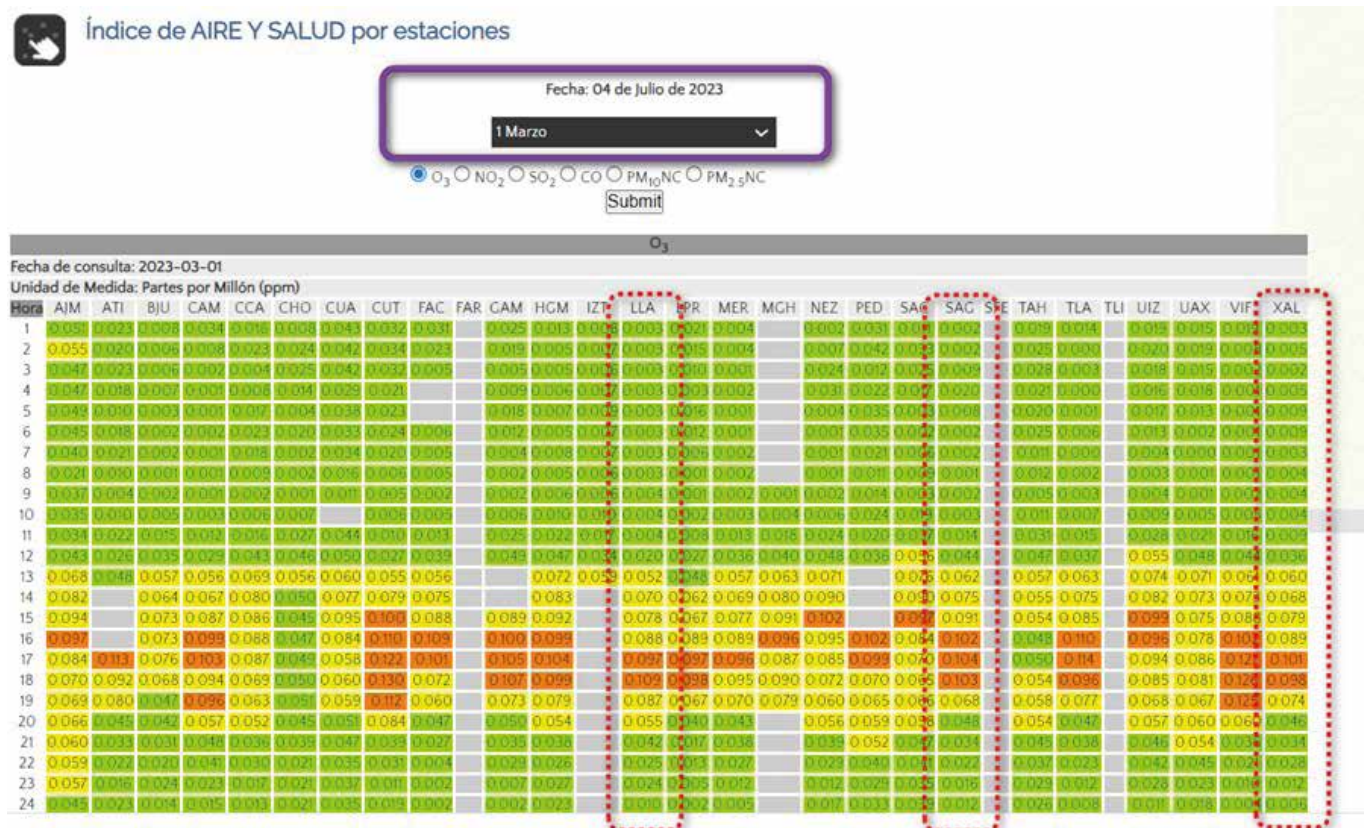
- Xalostoc
- San Agustín
- Los Laureles

Los datos para utilizar estas tres estaciones meteorológicas, se tomarán de la página del aire <https://www.aire.cdmx.gob.mx/aire> correspondientes al año 2023 de acuerdo con las siguientes variables:

- Fecha
- Hora
- Temperatura
- Humedad
- Dirección del Viento
- SO₂
- NO₂
- CO
- O₃
- PM 10

Figura 1

Valores de medición del contaminante O₃ por estación meteorológica.



Una vez recabados estos datos de la página del aire, se almacenarán en un archivo en Excel y se separarán por cada estación meteorológica. Dentro de cada archivo, se agregaron cinco columnas adicionales, las cuales servirán para determinar el nivel de índice de la calidad del aire de cada uno de los contaminantes, quedando de la siguiente forma:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Fecha	Hor	Temperatu	Humedad	Direccion Vient	SO2	NO2	CO	O3	PM1	Calidad SO	Calidad NO	Calidad CO	Calidad O	Calidad PM
13/01/2023	1	nan	nan	nan	nan	7	0.1	0	nan	Sin dato	Buena	Buena	Sin dato	Sin dato
13/01/2023	2	nan	nan	nan	nan	7	0.1	0	nan	Sin dato	Buena	Buena	Sin dato	Sin dato
13/01/2023	3	nan	nan	nan	nan	7	0.08	0	nan	Sin dato	Buena	Buena	Sin dato	Sin dato
13/01/2023	4	nan	nan	nan	nan	6	0.08	0	nan	Sin dato	Buena	Buena	Sin dato	Sin dato
13/01/2023	5	nan	nan	nan	nan	15	0.13	nan	nan	Sin dato	Buena	Buena	Extremada	Sin dato
13/01/2023	6	nan	nan	nan	nan	25	0.32	nan	nan	Sin dato	Buena	Buena	Extremada	Sin dato
13/01/2023	7	nan	nan	nan	1	38	0.68	nan	nan	Buena	Buena	Buena	Extremada	Sin dato
13/01/2023	8	nan	nan	nan	1	38	0.76	nan	nan	Buena	Buena	Buena	Extremada	Sin dato
13/01/2023	9	nan	nan	nan	1	35	0.94	nan	nan	Buena	Buena	Buena	Extremada	Sin dato
13/01/2023	10	nan	nan	nan	1	30	0.56	nan	nan	Buena	Buena	Buena	Extremada	Sin dato
13/01/2023	11	nan	nan	nan	1	35	0.66	nan	nan	Buena	Buena	Buena	Extremada	Sin dato
13/01/2023	12	nan	nan	nan	1	33	0.59	nan	nan	Buena	Buena	Buena	Extremada	Sin dato
13/01/2023	13	nan	nan	nan	1	24	0.41	nan	nan	Buena	Buena	Buena	Extremada	Sin dato
13/01/2023	14	nan	nan	nan	1	16	0.26	nan	nan	Buena	Buena	Buena	Extremada	Sin dato
13/01/2023	15	nan	nan	nan	1	18	0.28	nan	nan	Buena	Buena	Buena	Extremada	Sin dato
13/01/2023	16	nan	nan	nan	1	21	0.32	nan	nan	Buena	Buena	Buena	Extremada	Sin dato
13/01/2023	17	nan	nan	nan	2	24	0.32	nan	nan	Buena	Buena	Buena	Extremada	Sin dato
13/01/2023	18	nan	nan	nan	2	25	0.29	nan	nan	Buena	Buena	Buena	Extremada	Sin dato
13/01/2023	19	nan	nan	nan	1	25	0.32	nan	nan	Buena	Buena	Buena	Extremada	Sin dato

Figura 2 Al analizar el archivo, se detecta que se tienen datos vacíos, por lo que se procede a la limpieza y depuración del archivo por cada una de las estaciones meteorológicas.

Datos recabados de las estaciones meteorológicas.

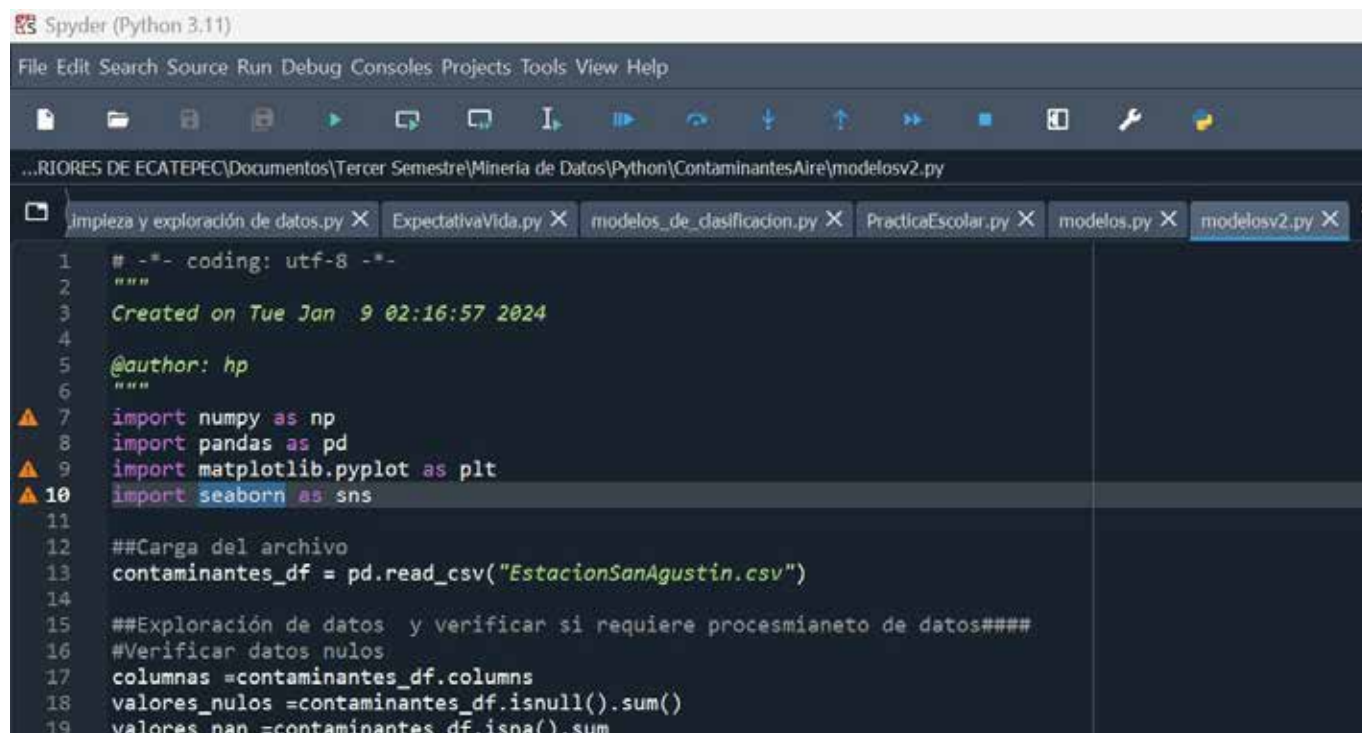
Una vez depurado el archivo, se iniciará la comparación de las diferentes técnicas de minería de datos para predecir los días con una mayor contaminación; para ello, se requerirá instalar el programa de Spyder (Python 3.1.1), con el cual se podrá realizar la comparación de las técnicas de predicción:

- Árboles de Decisión.
- Árboles de Regresión.
- Regresión Lineal.
- Redes Neuronales.

Para utilizar este tipo de técnicas, se deben cargar las librerías que permitan utilizar las siguientes modalidades de algoritmos en Python:

- Numpy
- Pandas
- Matplotlib
- Seaborn

Una vez ingresadas las librerías, se carga el archivo por estación meteorológica y se analiza el comportamiento de cada uno de los tipos de contaminantes.



```

1  # -*- coding: utf-8 -*-
2  """
3  Created on Tue Jan  9 02:16:57 2024
4
5  @author: hp
6  """
7  import numpy as np
8  import pandas as pd
9  import matplotlib.pyplot as plt
10 import seaborn as sns
11
12 ##Carga del archivo
13 contaminantes_df = pd.read_csv("EstacionSanAgustin.csv")
14
15 ##Exploración de datos y verificar si requiere procesamiento de datos####
16 #Verificar datos nulos
17 columnas =contaminantes_df.columns
18 valores_nulos =contaminantes_df.isnull().sum()
19 valores_nan =contaminantes_df.isna().sum
  
```

Actualmente, se continúa analizando en Spyder el comportamiento de cada uno de los contaminantes, con la finalidad de determinar cuáles son las variables necesarias que se deberán incluir en cada una de las técnicas y así lograr identificar el mejor modelo que permita realizar la predicción de los días con mayor contaminación.

Figura 3

Carga en Spyder del archivo de la estación San Agustín.

Conclusiones

La minería de datos es una técnica que se aplica en muchas áreas de las ciencias, en este caso, el objetivo fue identificar variables meteorológicas predominantes, que permitan pronosticar las condiciones del aire y la concentración de contaminantes, mediante la identificación de patrones repetitivos dentro de un gran volumen de datos y el análisis de la información, utilizando algoritmos que simplifiquen la información.

La aplicación de una adecuada técnica de minería de datos en el monitoreo de la calidad del aire, permitirá predecir de manera adecuada el comportamiento de los niveles de contaminación, y alertar anticipadamente a la población a fin de que tome las medidas pertinentes.

Hoy día se continúa analizando el comportamiento de cada uno de los contaminantes del aire con la finalidad de poder determinar su relación, junto con las variables dependientes como es la temperatura, humedad y dirección del viento, que pueden influir en el comportamiento de cada contaminante y con ello determinar cuáles son las variables que se ingresarán en las técnicas de minería propuestas para esta investigación.

Bibliografía

1. Aguilar Pulido, D. (2018). *Niveles de Contaminantes Ambientales y casos de Infarto del Miocardio en la zona norte de la Ciudad de México*. México: UNAM.
2. Bacallao, J. (2014). *Árboles de regresión y otras opciones metodológicas aplicadas a la predicción del rendimiento académico*. SciELO.
3. Britos, P. (2005). *Minería de Datos*. Argentina: Nueva Librería.
4. Camacho González, P. (2018). *Sistema de Redes neuronales para la predicción de ozono en la CDMX*. México: UNAM.
5. Christos, S., & Dimitrios, S. (1996). *Stergiou*.
6. Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (2018). *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*.
7. Gobierno de la Ciudad de México. (23 de Marzo de 2023). *Calidad del Aire*. Obtenido de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php>
8. Gobierno de la Ciudad de México. (2023). *Calidad del Aire*. México.
9. González, P. (2018). Sistemas de Redes Neuronales para la predicción de Ozono en la CDMX y el área Metropolitana.
10. Norma Oficial Mexicana. (2021). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de SEGOB: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php
11. Norma Oficial Mexicana. (2021). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de SEGOB: <https://www.dof.gob.mx>
12. Norma Oficial Mexicana. (s.f.). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de SEGOB: <https://www.dof.gob.mx>
13. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Ecosistema urbano y salud de los habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México. Editorial Acuario, México, D.F. 2002.
14. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 20 de agosto de 2014.
15. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014, Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 19 de agosto de 2014.
16. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010, Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al dióxido de azufre (SO2). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO2) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. Publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 8 de septiembre de 2010.
17. Sierra, B. (2006). *Aprendizaje Automático: Conceptos básicos avanzados*. Prentice Hall.
18. Valero Orea, S., & Vargas, A. (2018). *Minería de datos: predicción de la deserción escolar*. Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros.
19. Velasco, E., & Retama, A. (2019). "La contaminación del aire: un problema de salud pública". *ResearchGate*.
20. Yang. (2019). 8 - Neural networks and deep learning. *Academic Press*, 139.

Fotografías

pexels-alexeydemidov-9560086

<https://adsadnoticias.mx/mala-calidad-del-aire>

istockphoto-1163820385-2048x2048

<https://adsadnoticias.mx/catepec-entre-las-ciudades-mas-contaminadas-del-mundo-supera-a-pekiny-dehli>

Inteligencia Artificial para Controlar Prótesis en Personas con Ausencia Congénita de Muñeca a Través de Arduino

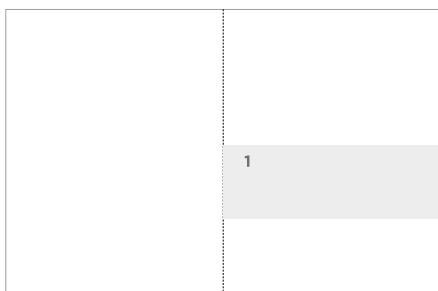
Ing. Luis Ulises Chávez Alfaro*, M. en C. Griselda Cortés Barrera**,
M. en C. Edgar Corona Organiche**



Acerca de los autores

*Académico del Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec.

** Académico-Investigador Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec, Laboratorio Nacional CONAHCYT en Inteligencia Artificial y Ciencia de Datos.



<https://www.pulzo.com/tecnologia/protesis-inteligentes-futuro-tecnologia-asistiva-con-ia-PP4153812A>

Resumen

En México, el número de personas que presentan una amputación de un miembro, supera los 780 mil pacientes, de acuerdo con el último censo del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Se han diseñado diferentes tipos de prótesis para el cuerpo humano, y tienen la finalidad de reemplazar de forma artificial un miembro o extremidad, ya sea por una malformación congénita o a causa de un daño por un accidente. Los miembros que con más frecuencia se pierden por accidentes, son las piernas, pero también en gran medida los brazos, dedos y la totalidad de las manos. Las manos, son los miembros más usados por el ser humano para interactuar con su entorno y manipular todo tipo de herramientas. En México, una prótesis automatizada puede devolver la movilidad de la mano, pero a un costo elevado,

El presente trabajo expone una revisión del uso de la inteligencia artificial para controlar manos robóticas, como los diferentes diseños que se han desarrollado; considerando las tecnologías, materiales y mecanismos utilizados, con base en una comparativa de lo hallado en la literatura.

Para ello, se utiliza una metodología documental con la finalidad de establecer el estado del arte en el empleo de la inteligencia artificial para el control de prótesis robóticas de mano. La revisión permite ver los alcances y límites del desarrollo de las investigaciones en este campo, permitiendo definir la problemática que hasta el momento se presentan y abrir una posibilidad de mejora en el desarrollo.

Palabras clave: Malformación congénita, Amputación, Miembro.

Abstract

In Mexico, the number of people with a limb amputation exceeds 780 thousand patients, according to the last census of the National Institute of Statistics, Geography and Informatics (INEGI). In Mexico, an automated prosthesis is offered at a high cost, restoring the mobility of the hand. Different types of prostheses have been designed for the human body, with the purpose of artificially replacing a limb or extremity lost due to the congenital absence of the wrist, either accidentally or due to a congenital malformation. The limbs most frequently lost due to accidents are the legs, but also to a large extent the arms, fingers and the whole of the hands. The hands are one of the most used limbs by humans to interact with their environment and manipulate all kinds of tools.

This paper presents a review of the use of artificial intelligence to control robotic hands, such as the different designs that have been developed, considering the technologies, materials and mechanisms used, based on a comparison of what has been found in the literature.

For this purpose, a documentary methodology is used in order to establish the state of the art in the use of



artificial intelligence for the control of robotic hand prosthesis. The review allows us to see the scope and limits of the development of research in this field, allowing us to define the problems that up to now have been encountered in this field.

Keywords: Congenital malformation, Amputation, Limb.

I. Introducción

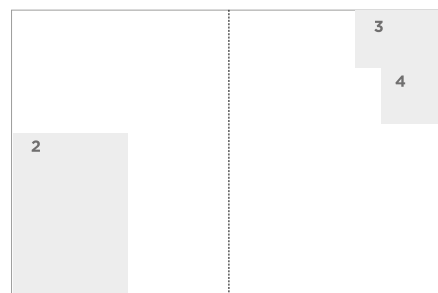
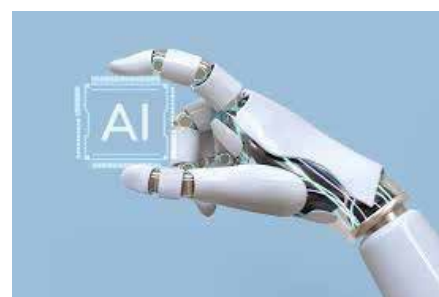
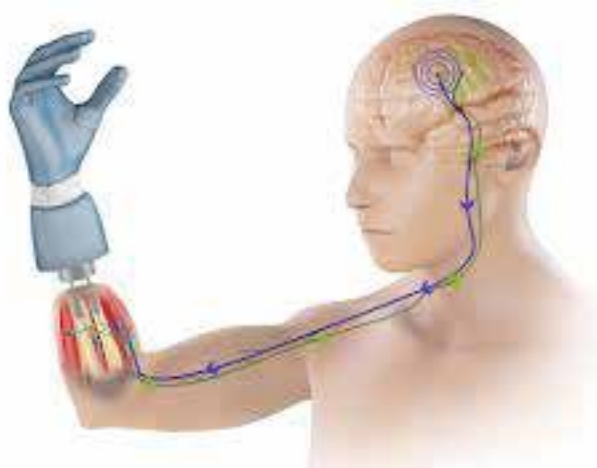
La Universidad Autónoma de México (UNAM), en el artículo “Reseña histórica de las prótesis” (UNAM, 2021), señala que una prótesis es un elemento desarrollado con el fin de mejorar o reemplazar una función, una parte o un miembro completo del cuerpo humano afectado. Por lo tanto, una prótesis para el paciente y en particular para el amputado, también colabora en el desarrollo psicológico del mismo, creando una percepción de totalidad al recobrar la movilidad.

En dicho trabajo señala que en México, el índice de malformaciones congénitas que requieren de protézización, es más bajo que con respecto a las amputaciones ya sean congénitas o por traumatismos, y que su complejidad a la hora de protézizar, también hace que se requiera de más experiencia. (Centroortopedicotecnologico, 2021). En el 2017, Healthy Children (HC) estimó que mundialmente entre el 1% y el 2% de los bebés que nacen con defectos congénitos, un 10% nacen con malformaciones de la mano, ya que es uno de los defectos de nacimiento más comunes de las extremidades superiores, presentándose en 1 de cada 2,000 nacimientos vivos.

De acuerdo al portal de información de enfermedades raras y medicamentos huérfanos, Orpha.net (Section on Plastic Surgery, 2017), el resultado es un defecto transversal tipo amputación, con ausencia del antebrazo, muñeca y mano. Con cierta frecuencia, se observa una amputación por debajo del codo, estando por lo general la parte distal bien recubierta de tejido blando, con nudillos o nódulos rudimentarios en el extremo de la misma. (ORPHANET, 2021).

Según el artículo de la revista de la Universidad Autónoma de México (UNAM), la primera prótesis de miembro superior registrada data del año 2000 a. C., fue encontrada en una momia egipcia; la prótesis estaba sujeta al antebrazo por medio de un cartucho adaptado al mismo. Con el manejo del hierro, el hombre pudo construir manos más resistentes y que pudieran ser empleadas para portar objetos pesados, tal es el caso del general romano *Marcus Sergius*, que durante la Segunda Guerra Púnica (218-202 a. C.) fabricó una mano de hierro para él, con la cual portaba su espada, siendo la primera mano de hierro registrada.

En la búsqueda de mejoras, en el año de 1400 se fabricó la mano de *alt-Ruppin* construida también en hierro, constaba de un pulgar rígido en oposición y dedos flexibles, los cuales eran flexionados pasivamente, éstos se podían fijar mediante un mecanismo de trinquete y además contaba con una muñeca movable. (Revista Digital UNAM, 2021). De acuerdo con la Academia Nacional de Medicina de México (ANMM), en nuestro país se efectúan aproximadamente 75 amputaciones diarias, es decir, esta condición afecta a más de 25 mil



<https://protesis-bionica-3>

<https://albertonews.com/internacionales/acoplan-una-revolucionaria-mano-bionica-con-inteligencia-artificial-a-los-huesos-musculos-y-nervios-de-una-mujer>

<https://biotechmagazineandnews.com/manos-artificiales-con-ia-y-sensores-bionicos>



personas al año, ya que sufren la escisión de alguna de sus extremidades. (*Revista Global UNAM*, 2022).

La fabricación de nuevas prótesis, ha significado nuevas propuestas enfocadas a la disminución de costos, mejor accesibilidad y personalización de diseños. Sin embargo, conforme al artículo “Prótesis Biónica para amputación de mano”, de la Revista *SciELO*, no existen estudios que evalúen el impacto en la funcionalidad específica para miembros superiores de los pacientes. (Zuniga, 2020).

Recabando antecedentes cronológicos en el artículo publicado en la revista de la Universidad Nacional de Colombia, denominado “Análisis de Señales EMG Superficiales y su Aplicación en Control de Prótesis de Mano”, en 1948 el médico alemán Hans Reiter fue capaz de discriminar seis clases de movimientos, con un éxito de 99%. Desafortunadamente, estos resultados solo se lograban después de muchas horas de entrenamiento.

Para 1993, Hudgins *et al.*, propuso una solución a partir de un solo electrodo bipolar y con extracción de características temporales y clasificación de movimientos mediante una Red Neuronal ANN de dos capas. A pesar de sus logros, el error de discriminación aún superaba el 10%. Pero a inicios del 2002, Ferguson S. y Dunlop G., concluyeron que la misma combinación de técnicas, tanto de extracción de características como de clasificación de patrones no tiene el mismo desempeño para todos los pacientes, por lo que el dispositivo deberá adaptarse para cada paciente, presentando dificultades como la que obtuvo Gustavo A. Betancourt en 2004, recalando un error de aproximación obtenido tras la descomposición y reconstrucción de una señal.

En el año 2005, Carreño I. y Vuskovic M., señalaron que la problemática en determinado momento es la extracción de características con base en el cálculo de los tres primeros momentos a partir de tres secuencias de transformadas wavelet; en el mismo año, Wang X. y Cui J., obtuvieron resultados en los cuales se demostró que no hay diferencia significativa en la precisión de clasificación (A. Romo, 2007).

Con base en las problemáticas descritas anteriormente, el objetivo de este artículo es presentar una revisión sobre el uso de la inteligencia artificial para controlar manos robóticas, así como los diferentes diseños que se han desarrollado, considerando las tecnologías, materiales y mecanismos utilizados, y con base en una comparativa de lo encontrado en la literatura.

II. Trabajos Relacionados

En el siglo XVI, Ambroise Paré, creó una prótesis mecánica de brazo artificial móvil hecha de cuero, los dedos podían abrirse o cerrarse presionando o fraccionando. Además, constaba de una palanca, por medio de la cual, el

brazo podía realizar la flexión o extensión a nivel de codo; fue realizada para un desarticulado de codo, innovándose en 1948, por Reiter R., al implementar un control por medio de señales electromiográficas (EMG), una técnica de señales más sencilla de implementar, por su facilidad en la recolección sin intromisión directa sobre el organismo del usuario, remoción de electrodos y equipo para efectos de mantenimiento y/o calibración, y su reutilización de una persona a otra.

Hudgins A., (1993) propuso por primera vez una estrategia de control de dispositivos artificiales, utilizando el estado transiente de las señales de EMG, logrando cuatro movimientos diferentes: extensión del codo, flexión de muñeca, y rotación humeral radial/lateral, a partir de un solo electrodo bipolar y con extracción de características temporales y clasificación de movimientos propuestos mediante una RNA de dos capas.

Englehart *et al.*, (1999), utiliza la transformada Wavelet en la representación de tiempo frecuencia de la señal, correspondiente a cuatro patrones de movimientos del codo y antebrazo, extrayendo características espectrales con Short Time Fourier Transform, Dead Weight Tonnage, Wavelet Packets Transform y comparándolas con las características del dominio temporal.

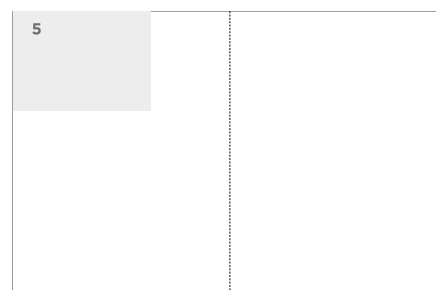
Ferguson S. y Dunlop G. (2022), implementaron un sistema para identificar cuatro tipos de agarre complejos (esférico, cilíndrico, de pinza y lateral) utilizando señales EMG; en la clasificación, probaron métodos estadísticos de Distancias Euclídea, Mahalanobis y Redes Neuronales.

Betancourt *et al.*, (2004) presenta una metodología para el reconocimiento de patrones de movimiento a partir de señales EMG, utilizando: análisis temporal, modelo autorregresivo, Fast Fourier Transform, Short Time Fourier Transform y wavelets; construyendo un conjunto híbrido de características y mediante una red neuronal en configuración “backpropagation” para probar la clasificación de dichos patrones.

Kilby *et al.*, (2004) comparó el desempeño de diferentes familias wavelets en el análisis de señales EMG, mediante las transformadas Dead Weight Tonnage y World Padel Tour, con base en el error de aproximación obtenido tras la descomposición y reconstrucción de una señal, las familias wavelets: Daubechies, Symmlet y Coiflet, son las más adecuadas para el análisis de este tipo de señales, conforme estos resultados.

Darío, P. (2004) publicó el trabajo titulado “Un enfoque integrado para el diseño y desarrollo de un sistema de agarre y manipulación en robótica” que, a diferencia del proyecto de Betancourt *et al.*, se conforma de un prototipo de mano biomecatrónica compuesta por tres dedos (dos dedos que simulan los dedos índice y medio y un dedo que simula el pulgar) de tal forma que en el proceso de agarre pudieran desarrollarse dos fases: Fase 1, de posición, ubicación y adaptación del elemento a sujetar por parte de la mano robótica. Fase 2, de agarre del objeto.

Carreño I. y Vuskovic M. (2005), proponen un método de extracción de características basado en el cálculo de los tres primeros momentos, a partir de tres secuencias de transformadas wavelets; el método se aplicó en la clasificación de patrones de las señales EMG de aprehensión o agarre (cilíndrico, esférico, lateral y de precisión), mostrando significativamente ser mejor que el método basado en la transformada Thompson de tiempo corto, Small Tactical Terminal de tres ventanas. En la clasificación, se utilizó



<https://www.elperiodico.com/sociedad/2014/02/06/mano-bionica-amputado-sentido-tacto-3076972>

la distancia Mahalanobis basada en clasificadores Adaptive Resonant Theory based algorithm for supervised incremental learning and classification.

En el artículo “Prótesis Mecatrónica para Personas Amputadas entre Codo y Muñeca” publicado en la revista *Redalyc*, Sarmiento Vela (2009) resalta que dentro de los tipos de agarre que puede realizar la mano, se encuentran la prensión palmar, esférica y lateral. El sistema utilizado para la adquisición de señales mioeléctricas tiene alta flexibilidad, debido al uso de señales mioeléctricas de diferentes músculos para la activación de la prótesis mecatrónica.

Jacqueline Dote (2020) realizó un estudio sobre la “Funcionalidad de prótesis de mano impresa en 3D en adolescentes con amputación congénita parcial de mano” y concluye que el porcentaje de cambio para funcionalidad de mano fue de -11% y -4% para la extremidad no afectada y de -9% y -2% para la afectada. El porcentaje de cambio para la percepción de funcionalidad del “miembro superior” fue de -62%.

Asimismo, Wang X. y Cui J. (2021), usaron en el 2021 la combinación de Dead Weight Tonnage y Artificial Neural Network en señales EMG, para la identificación y clasificación de ocho patrones diferentes de movimiento con una alta tasa de comparación, siendo más práctico y funcional.

En otros estudios, Muñoz Moner (2021) diseñó, construyó y realizó la adaptación de prótesis inteligentes con piel artificial sensible en miembro superior muñeca-mano e inferior tobillo-pie, para una niña con malformaciones congénitas; estos prototipos son obtenidos por clonación artificial, los cuales son equipados con un sistema de adquisición de datos que toma las señales de la extremidad superior e inferior sana durante su movimiento y luego son replicadas con un entrenamiento por aprendizaje con técnicas de IA e imitadas por clonación artificial en la prótesis.

Perdomo Fernández (2022) presentó un método para calcular un indicador que permite la evaluación del desempeño de técnicas de control en el agarre de poder, utilizando un conjunto de métricas para obtener datos cuantitativos relacionadas con la calidad del agarre de poder y con el desempeño del objetivo de control para gobernar la prótesis y afirma que las estrategias híbridas alcanzan un error de posición inferior al 10%, cambiando de control de posición a fuerza.

Rangel Huerta (2023) desarrolló un sistema de control de movimientos de una mano robótica usando comandos de voz para poder guiar y tomar objetos domésticos; las herramientas implementadas son: coeficientes centrales de frecuencia de mel para extraer las características la voz de forma natural, se entrena el modelo ANFIS para mezclar el aprendizaje de la RN difusas. Las salidas generadas se utilizaron para determinar los ángulos de rotación de los servomotores del prototipo.

III. Materiales y Métodos

El objetivo es realizar una revisión sistemática en la aplicación de técnicas o algoritmos de IA para prótesis en personas con ausencia congénita de muñeca.

El presente artículo, describe el *review* del proyecto y busca exponer los métodos y eficacia mediante una prótesis de muñeca con IA, como ayuda aumentativa para personas con ausencia congénita de muñeca. Partiendo de



este principio, se define la investigación a partir de la siguiente pregunta: ¿una persona con ausencia congénita de muñeca, es capaz de aprender a realizar los movimientos de la mano de forma más eficiente y eficaz, utilizando una prótesis que toma señales mioeléctricas de los nervios del antebrazo?

A) Formulación de Preguntas de Investigación

Para establecer las preguntas de investigación, se analizó una indagación exploratoria que consistió en analizar artículos para identificar los problemas que se presentan en prótesis para personas con ausencia congénita de muñeca, las soluciones propuestas por los autores y algunas palabras clave.

B) Preguntas del Mapeo Sistemático

- ¿Cuántos artículos se publicaron en los últimos cinco años en el área de IA aplicada en prótesis para personas con ausencia congénita de muñeca?
- ¿En qué publicaciones se han encontrado estudios relacionados con el tema?
- ¿Quiénes son los autores más relevantes y activos en esta área?

C) Preguntas de la Revisión Sistemática

- ¿Cuáles son las técnicas de IA o algoritmos significativos para la prótesis de personas con ausencia congénita de muñeca?
- ¿Cuáles son las variables que se tomaron en cuenta para la prótesis de personas con ausencia congénita de muñeca, en los resultados?
- ¿Qué herramientas de software se han aplicado para prótesis de personas con ausencia congénita de muñeca en los estudios?

	6

<https://www.linkedin.com/pulse/bioingenier%C3%ADa-inteligencia-artificial-ia-para-crear-de-lopez-molina-xoche>

B) Herramientas

La IA consta de una serie de herramientas, que incluyen: aprendizaje automático (Miranda, 2021) por procesamiento y comprensión del lenguaje natural (Carlos C., 2015), reconocimiento de patrones y visión artificial (Sarmiento Vela, 2018).

Existen herramientas de IA en el sector salud o soluciones de salud basadas en IA, como: Merative (anteriormente IBM Watson Health), conjunto de herramientas digitales que ayudan a facilitar la investigación médica mediante la IA, la analítica de datos y la computación en la nube.

- Tecnologías de Comunicación Inalámbrica

Son aquellas que transmiten datos sin usar ningún cableado, en su lugar, usan distintos tipos de comunicación de distancia limitada. En la actualidad existen diversos sistemas de recopilación de datos mioeléctricos, muchos de los cuales basan la transferencia de datos en la comunicación por Bluetooth (Yudayly Stable Rodriguez, 2023), aplicada en prótesis de mano inalámbrica (Barreto Sánchez, 2018).

- Bluetooth

Es una tecnología de radiofrecuencia que transmite información, intercambiándola en forma de paquetes en una frecuencia establecida (Yudayly Stable Rodriguez, 2023). Esta tecnología se aplica en prótesis de mano virtual movida por señales (Karin Correa Arana, 2016).

- Señales Electromiográficas (EMG)

Las técnicas de electromiografía se usan para recopilar las señales eléctricas en los músculos, que son enviadas desde las neuronas motoras con el fin de moverlos. Para su medición, se usan electrodos, los cuales registran la velocidad y amplitud de las señales.

Si bien existen técnicas invasivas para realizar mediciones, la electromiografía no invasiva logra recolectar datos usando electrodos de superficie (Yudayly Stable Rodriguez, 2023); es empleada en el análisis de señales EMG superficiales y aplicada en control de prótesis de mano (Harold A. Romo, 2007).



- Frecuencia de Muestreo

Las señales EMG contienen información relevante en el rango de 50-150 Hz; sin embargo, se han analizado diversas frecuencias de muestreo. A su vez, se establece que al usar un filtro paso alto con límite de 120 Hz, se pueden eliminar los ruidos de la línea eléctrica, entre otros (Yudayly Stable Rodriguez, 2023), aplicando esta herramienta en el desarrollo de una prótesis para el desarticulado de muñeca controlada por señales de electromiografía (Rodríguez-García, 2017).

- Técnicas Inteligencia Artificial

La IA es capaz de tomar decisiones sustentadas en el registro de datos para clasificar las intenciones de los usuarios. Las técnicas de Machine Learning (ML) y Deep Learning (DL), pueden ser empleadas para la clasificación de los datos. Si bien el DL es un tipo de ML y usa técnicas distintas para alcanzar los objetivos de clasificación, el aprendizaje automático o Machine Learning, rama de la IA, es capaz de reconocer patrones en los datos para formular predicciones o clasificaciones, usando teorías de matemática y estadística (Yudayly Stable Rodriguez, 2023).

- Aprendizaje Supervisado

Este tipo de aprendizaje automático se basa en optimizar el modelo, basándose en la experiencia de clasificación de datos etiquetados, puede ser de tipo categórico o continuo (Yudayly Stable Rodriguez, 2023), esta herramienta se utiliza para el control de una mano biónica basado en redes neuronales y técnicas de reconocimiento de gestos mediante múltiples sensores EMG (Pascual Acón, 2021).

- Aprendizaje no Supervisado

Este tipo de aprendizaje automático, se encarga de encontrar patrones desconocidos en los datos proporcionados, es decir, trabaja con datos sin etiqueta (Yudayly Stable Rodriguez, 2023) aplicados en reconocimiento de gestos en redes neuronales para prótesis de mano mediante sensores EMG (Pérez Cebolla, 2022).

- Aprendizaje Profundo o Deep Learning

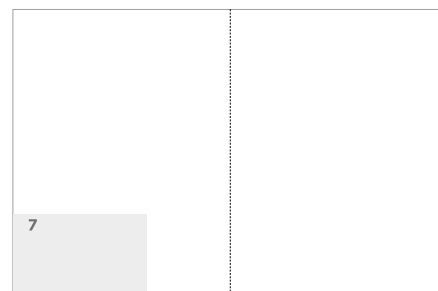
Es un tipo de ML que usa redes neuronales, las cuales emulan las funcionalidades del cerebro humano para cumplir con los objetivos de clasificación. Este tipo de aprendizaje ha probado ser muy efectivo para la clasificación de imágenes y con el manejo de texto. Sin embargo, puede ser empleado en distintas áreas de investigación (Yudayly Stable Rodriguez, 2023), esta herramienta es utilizada en la ingeniería biomédica con redes neuronales (Sarmiento-Ramos, 2020).

- Normalización

Para los modelos de IA, la normalización es una etapa necesaria, de esta manera, los datos se encontrarán en un mismo rango y el modelo no tenderá a darle más importancia a unos que a otros (Yudayly Stable Rodriguez, 2023); dicha herramienta permitió el diseño conceptual de una prótesis de mano con memoria (Arenas Moles, 2018).

- Entrenamiento del Modelo

Para el entrenamiento del modelo, se utilizó Tensor Flow, la cual cuenta con múltiples herramientas y funciones para realizar tareas de aprendizaje automático. En el 2023, Yudayly Stable Rodriguez empleó una red neuronal de cinco capas de abandono intermedias, con proporción del 20% para evitar el sobreentrenamiento. Andrade Zeas (2021) utilizó el entrenamiento para diseñar y construir una mano robótica para la enseñanza del alfabeto dactilológico universal para personas sordomudas.



<https://lovtechnology.com/electronica-en-sistemas-de-control-de-protesis-bionicas>



C) Criterios de Inclusión y Exclusión

En la búsqueda de artículos de investigación, se seleccionaron aquellos que cumplieran los criterios de inclusión y se descartaron los que no cubrieran al menos uno de los criterios de exclusión.

Criterios de inclusión

- Artículos provenientes de librerías digitales y fuentes indexadas

- Artículos que contengan estudios de herramientas de IA para resultados de análisis comparativos de

los algoritmos, para prótesis de personas con ausencia congénita de muñeca.

- Artículos que contengan el área de IA o aspectos relacionados.
- Artículos que hayan sido publicados en revistas científicas y conferencias.
- Artículos que se hayan publicado en idioma inglés y español.

Criterios de exclusión

- Artículos duplicados.
- Artículos donde el contenido sea mínimo, porque se buscan estudios de contenido más completo.
- Capítulos de libros y resúmenes.
- Artículos cuyo título no tenga relación con el objeto de estudio.
- Artículos que no pertenecen al área de prótesis para personas con ausencia congénita de muñeca.

D). Definición de Fuentes Bibliográficas a Utilizar

Para que la selección de artículos sea de calidad y con rigor, las búsquedas de artículos se realizaron con base en datos científicos, en función a su relevancia y acceso. Por ello, las bases de datos seleccionadas se detallan a continuación:

SciELO, Redalyc, Revista Global UNAM, Tecné, Repository Episteme Didaxis, NCBI, UTP: TED.

E) Preguntas de Calidad

Para evaluar la calidad de los artículos, se establecieron las siguientes preguntas:

¿El autor realiza un análisis comparativo entre diversas técnicas de IA para prótesis de personas con ausencia congénita de muñeca?

¿En los estudios se menciona alguna herramienta de software utilizada para prótesis de personas con ausencia congénita de muñeca?

¿En los estudios utilizan conjuntos de datos para prótesis de personas con ausencia congénita de muñeca?

Para finalizar, con el propósito de definir qué artículos serán seleccionados o rechazados, se determinaron los siguientes parámetros de puntuación: Si la respuesta es Sí, su puntuación será de 1.0. Si la respuesta es Parcialmente, su puntuación será de 0.5. Si la respuesta es No, su puntuación será de 0.0.

F). Cadenas de Búsqueda

Para la creación de las cadenas de búsqueda, se consideraron sinónimos de palabras clave, con la finalidad de potenciar la búsqueda. Se tomaron en cuenta artículos de revistas y conferencias. La cadena, se definió de la siguiente manera:

- SciELO

1.- Inteligencia Artificial en Prótesis de Muñeca.

Prototipo de mano robótica controlado mediante señales electromiográficas con un dispositivo comercial (Arias Montiel, 2021).

Funcionalidad de prótesis de mano impresa en 3D en adolescentes con amputación congénita parcial de mano: una serie de casos (Cubillos, 2020).

2.- Prótesis

Protocolo para el análisis funcional de prótesis para pacientes con amputación parcial de pie. (Hernández Castillo, M. Álvarez Camacho, F.M. Sánchez Arévalo, 2013).

Prótesis removible en el paciente geriátrico (Ayuso Montero R., Martori López E., Brufau de Barberá M. y Ribera Uribe M., 2015).

La influencia de factores sistémicos en el uso de las prótesis totales (Marco Antônio Compagnoni, 2009).

3.- Inteligencia Artificial

Inteligencia artificial en la relación médico-paciente: Algunas cuestiones y propuestas de mejora (Francisca Ramón Fernández, 2021).

La inteligencia artificial y la robótica: sus dilemas sociales, éticos y jurídicos (Adriana Margarita Porcelli, 2021).

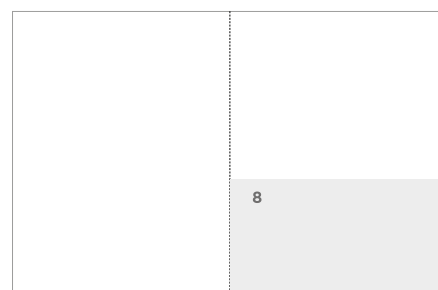
Inteligencia artificial en medicina: presente y futuro (Raúl Carrillo, 2022).

4.- Ausencia Congénita de Muñeca

Revisión de la descripción y tratamiento de las anomalías congénitas más frecuentes de la mano (Andrés A. Dogliotti, 2017).

Caracterización de las anomalías congénitas del miembro superior en una institución prestadora de servicios de salud de Ibagué, Tolima, Colombia (Alfonso J. Rodríguez Morales, 2013).

Ectrodactilia; presentación de un caso (Luis Jesús Valderrama Zaldívar, 2013).



http://www.elconfidencial.com/tecnologia/2015-08-18/un-nino-frances-sin-mano-recibe-una-protesis-hecha-con-una-impresora-3d_974537



La pérdida de la cinestesia. Impacto de las amputaciones en la adolescencia (Ernesto Germán Pérez, 2018).

Funcionalidad de prótesis de mano impresa en 3D en adolescentes con amputación congénita parcial de mano: Una serie de casos (Jorge Zuniga, 2020).

- Redalyc

1.- Inteligencia Artificial en Prótesis de Muñeca

Diseño de una prótesis de mano para uso en teclados con interfaz EMG (Karla Pavlova Avilés Mendoza, 2021).

Análisis de Señales EMG Superficiales y su Aplicación en Control de Prótesis de Mano (A. Romo, 2007).

2.- Prótesis

Diseño y construcción de una prótesis para amputación transfemoral pediátrica, con un sistema de desplazamiento vertical, validado por análisis por elementos finitos (Cely B, M. M. Mendoza, E. Arellana R., 2011).

3.- Inteligencia Artificial

Desafíos en el uso de la Inteligencia Artificial para el sector salud (Yudayly Stable Rodriguez, 2023).

4.- Ausencia Congénita de Muñeca

El paciente amputado: complicaciones en su proceso de rehabilitación (Fernando Serrano MD, 2009).

- Revista Global UNAM

1.- Inteligencia Artificial en Prótesis de Muñeca

Control cinemático y de fuerza de una mano robótica para el agarre estable (Pascual Acón, 2021).

Reseña histórica de las prótesis (UNAM, 2022).

2.- Prótesis

Robótica y Prótesis Inteligentes (UNAM, 2021).

3.- Inteligencia Artificial

El papel de la inteligencia artificial en la Industria (Juan Humberto Sozza, 2017).

- Repositorio Redalyc

1.- Inteligencia Artificial en Prótesis de Muñeca

Prótesis mecatrónica para personas amputadas entre codo y muñeca (Jacqueline Dote, 2020).

Control cinemático y de fuerza de una mano robótica para el agarre estable (Pérez Cebolla, 2022).

El uso de la inteligencia artificial y el big data en el mejoramiento de la calidad de vida de las personas con amputaciones de sus extremidades (Sara María González Bastidas, 2021).

2.- Prótesis

Prototipo de mano robótica controlada mediante el procesamiento de señales cerebrales utilizando redes neuronales recurrentes (Marvin González, 2020).

El uso de la inteligencia artificial y el big data en el mejoramiento de la calidad de vida de las personas con amputaciones de sus extremidades (Sara María Bastidas, 2021).

3.- Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina y la introducción, antecedentes a la IA y robótica (V.J. Quesada Varela, 2020).

Inteligencia Artificial para el diseño de prótesis biomédicas (Fátima Somovilla, 2020).

IV. Resultados

Los resultados para la selección de estudios, se detallan en los siguientes pasos:

Se procedió a realizar la ejecución de las cadenas de búsqueda en un total de 66 artículos.

Se identificaron y eliminaron 32 artículos que no estaban relacionados.

Se analizaron 34 artículos, de los cuales se leyeron los resúmenes, palabras clave y conclusiones, quedando un total de 30.

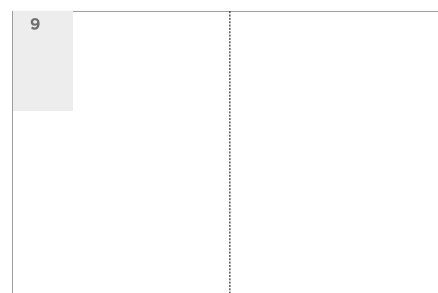
Por último, se aplicaron las preguntas de calidad, quedando como resultado 30 artículos seleccionados, de los cuales se extrajo la información necesaria para responder a las siguientes preguntas de investigación:

A) ¿Cuáles son las técnicas de inteligencia artificial o algoritmos significativos para la prótesis de personas con ausencia congénita de muñeca?

Técnicas o algoritmos de inteligencia artificial para la prótesis de personas con ausencia congénita de muñeca.

B) ¿Qué herramientas de software se han aplicado en los estudios para la prótesis de personas con ausencia congénita de muñeca?

Entre las tecnologías identificadas, se mencionan las siguientes: Java, Python, Weka, y Matlab; sin embargo, 50% los artículos seleccionados no mencionan las tecnologías aplicadas, y de los que sí lo indicaron, el 3% en Java, 3% Python, 5% para Python, 70% Matlab y finalmente un 10% para Weka.



https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2008-01-23/implantan-una-mano-bionica-a-una-nina-de-12-anos-de-barcelona_306063

TABLA 1.
TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

1.- TÉCNICA	2.- NO. ARTÍCULOS	3.- PORCENTAJE
Machine Learning (ML)	15	50%
Deep Learning (DL)	5	20%
Artificial Neuronal Network (ANN).	10	30%

Conclusión

Para futuras investigaciones, se propone abordar aspectos relacionados con el diseño, funcionalidad y adherencia en la prótesis. Los datos fueron tabulados en Microsoft Excel, y se realizó un análisis descriptivo de los datos por cada participante.

Esta investigación puede ayudar a continuar con el desarrollo de prótesis con mejor tecnología, como lo es la Inteligencia Artificial, y con ayuda de estos márgenes de error en los artículos investigados, poder resolverlos y proponer una solución para mejorar la prótesis de muñeca para personas que han sufrido de la pérdida de su extremidad.

El objetivo es perfeccionar el aspecto del material, los movimientos y la tecnología, para ayudar a mejorar la vida de estas personas, devolviéndoles la movilidad de sus manos.

Bibliografía

- [1] A. Romo, H. (2007). Análisis de Señales EMG Superficiales y su Aplicación en Control de Prótesis de Mano. *Revista de la Universidad del Cauca*, 10.
- [2] Arias Montiel, M. (2021). *Prototipo de mano robótica controlado mediante señales electromiográficas con un dispositivo comercial*. Obtenido de SciELO: <https://www.SciELO.org.mx/pdf/cys/v25n2/2007-9737-cys-25-02-307.pdf>
- [3] Dorador González, J. M. (18 de Enero de 2004). *Revista Digital Universitaria*. Obtenido de Revista UNAM SSN: 1067-6079: https://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/art01_enero.pdf
- [4] Fernando Serrano MD. (2009). *El paciente amputado: complicaciones en proceso de rehabilitación*. México: Redalyc.
- [5] Firebase Inc. (15 de enero de 2021). *Firestore realtime database*. Obtenido de <https://firebase.google.com/docs/database?hl=es>
- [6] Raúl Carrillo. (2022). *Inteligencia artificial en medicina: presente y futuro*. México: SciELO.
- [7] Rodríguez-García, M. (2017). Desarrollo de una Prótesis para Desarticulado de Muñeca Controlada por Señales de Electromiografía. *SciELO*, 20.
- [8] Ábila Megía, Ó. (2021). *Computación en la nube*. Depto. de Ingeniería Eléctrica. UAM-I.

Fotografías

<https://www.pulzo.com/tecnologia/protesis-inteligentes-futuro-tecnologia-asistiva-con-ia-PP4153812A>

<https://albertonews.com/internacionales/acoplan-una-revolucionaria-mano-bionica-con-inteligencia-artificial-a-los-huesos-musculos-y-nervios-de-una-mujer>

<https://biotechmagazineandnews.com/manos-artificiales-con-ia-y-sensores-bionicos>

<https://www.elperiodico.com/associedad/20140206mano-bionica-amputado-sentido-tacto-3076972>

<https://es.linkedin.com/pulse/bioingenier%C3%ADa-inteligencia-artificial-ia-para-crear-de-lopez-molina-xoche>

<https://lovtechnology.com/electronica-en-sistemas-de-control-de-protesis-bionicas>

https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2008-01-23/implantan-una-mano-bionica-a-una-nina-de-12-anos-de-barcelona_306063

- [9] Adriana Margarita Porcelli. (2021). *La inteligencia artificial y la robótica: sus dilemas sociales, éticos y jurídicos*. México: SciELO.
- [10] Alfonso J. Rodríguez Morales. (2013). *Caracterización de las anomalías congénitas del miembro superior en una institución prestadora de servicios de salud de Ibagué, Tolima, Colombia*. México: SciELO.
- [11] Andrade (2019). *Desinfectantes y antisépticos*. México: SRT.
- [12] Andrade Zeas, D. M. (2021). Diseño de una mano robótica para personas sordomudas. *Redalyc*, 195.
- [13] Andrés A. Dogliotti. (2017). *Revisión de la descripción y tratamiento de las anomalías congénitas más frecuentes de la mano*. México: SciELO.
- [14] Apaza Condori, D. (2010). *Microcontroladores PIC*. San Francisco: UASF.
- [15] Arenas Moles, J. (2018). Diseño conceptual de una prótesis de mano con memoria. *UNAM*, 129.
- [16] Armijos Llerena, J. L. (2000). *Condicionamiento de Sensores de Ultrasonido para Aplicaciones de Robótica Móvil*. Quito.
- [17] Asini, N. (2021). *Sensor de temperatura Im35*. Recuperado el 8 de Diciembre de 2021, de [http://www.electronicapty.com/sensor-de-temperatura-lm35-detail?tmpl=component&format=pdf.auto1,a.\(4567\).edfrg.67uuj6tg,6\(4\),66](http://www.electronicapty.com/sensor-de-temperatura-lm35-detail?tmpl=component&format=pdf.auto1,a.(4567).edfrg.67uuj6tg,6(4),66).
- [18] Ayuso Montero R., Martori López E., Brufau de Barberá M. y Ribera Uribe M. (2015). *Prótesis removible en el paciente geriátrico*. México: SciELO.
- [19] Barreto Sánchez, F. D. (2018). Sistema de conexión inalámbrico entre un brazalete Myo y una prótesis de miembro superior por medio de Bluetooth de baja energía. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 65.
- [20] Barzanallana Asenso, R. (2015). *Desarrollo de aplicaciones web*. UMU.
- [21] Bazán, P. (2017). *Aplicaciones, servicios y procesos distribuidos*. Buenos Aires: Edulp.
- [22] Betancourt et al. (2004). *Reconocimiento de patrones de movimiento a partir de señales EMG*. México: Redalyc.
- [23] Boada Oriolis, M., & Gómez Gutiérrez, J. A. (2019). *El gran libro de angular*. México: Alfaomega.
- [24] Candum. (2020). *Evaluación de una tecnología de desinfectante en aerosol electrostático para la descontaminación rápida de equipos portátiles y grandes áreas abiertas en la era del SARS-CoV-2*. México: ISSUU.
- [25] Carlos C. (2015). Procesamiento y comprensión del lenguaje natural en prótesis de mano. *Instituto Tecnológico Superior de Motúl*, 10.
- [26] Carrera, J. M. (2019). *El temporizador 555*. Universidad Técnica Federico Santa María.
- [27] Cely B. M. M. Mendoza, E. Arellana R. (2011). *Diseño y construcción de una*. México: Redalyc. Obtenido de: <https://www.centroortopedicocotecnologico.com/malformaciones-congenitas-cs-2-es>
- [28] Cimo, F. (2015). *Bootstrap Programing Coockbook*. Web Code Geeks.
- [29] Cornejo, J., Vargas, M., & Cornejo-Aguilar, J. A. (Diciembre de 2020). *Aplicaciones innovadoras de la robótica y biomédica en la salud pública durante la pandemia del Covid-19*. Obtenido de SciELO.
- [30] Crespo, M., Pendino, C., & Reldán, G. (2002). *Componentes electrónicos*. Universidad Nacional de Rosario.
- [31] Cubillos, R. (2020). Funcionalidad de prótesis de mano impresa en 3D en adolescentes con amputación congénita parcial de mano: Una serie de casos. *SciELO*, 7.
- [32] Darío, P. (2004). *Un enfoque integrado para el diseño y desarrollo*. México: Redalyc.
- [33] De la Peña Valencia, B. G., & Castillo Rodríguez, F. D. (2009). *Elementos de electrónica*. México: FES-Cuautitlán.
- [34] Dote, J. (Junio de 2020). *Funcionalidad de prótesis de mano impresa en 3D en adolescentes con amputación congénita parcial de mano: Una serie de casos*. Obtenido de SciELO: https://www.SciELO.cl/SciELO.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062020000300410
- [35] Eguíluz Pérez, J. (2009). *Introducción a CSS*. AutoEdición.
- [36] Englehart et al. (1999). *Transformada de Wavelet en prótesis de mano*. México: Redalyc.
- [37] Ernesto Germán Pérez. (2018). *La pérdida de la cinestesia. Impacto de las amputaciones en la adolescencia*. México: SciELO.
- [38] Fátima Somovilla (2020). *Inteligencia Artificial para el diseño de prótesis biomédicas*. México: Redalyc.
- [39] Ferguson S. y Dunlop G. (2022). *Sistema para identificar cuatro tipos de agarre en prótesis de mano*. México: Redalyc.
- [40] Francisca Ramón Fernández. (2021). *Inteligencia artificial en la relación médico-paciente: Algunas cuestiones y propuestas de mejora*. México: SciELO.
- [41] Funcionalidad de prótesis de mano impresa en 3D en adolescentes con amputación congénita parcial de mano: Una serie de casos. (2020). *Jorge Zuniga*. México: SciELO.
- [42] Gómez, Paola Milena. (2010). *Una mirada a las Prótesis Oculares*. México: Redalyc.
- [43] Gutiérrez, L., Maigualida, M., & Piña, J. (Junio de 2008). *Tecnología GSM*. Obtenido de Universidad Yacambu: http://www.geocities.ws/johanna_pina28/fase2/t3.html
- [44] Hamel Fonseca, J. (2011). Celdas, pilas y baterías de ionlitio una alternativa para.....?? *Journal Boliviano de Ciencias*, 40-47.
- [45] Harold A. Romo. (2007). *Análisis de Señales EMG Superficiales y su*. México: Redalyc, 11.
- [46] Hernández Castillo, M. Álvarez Camacho, F.M. Sánchez Arévalo. (2013). *Protocolo para el análisis funcional de prótesis para pacientes con amputación parcial de pie*. México: SciELO.
- [47] Hernández Menéndez, A., Alaffita Hernández, F., & Olivares Galván, J. (2018). Análisis y diseño de la automatización del. *Identidad Energética*, 1.
- [48] Hernandez Quintero, N. L., & Florez Fuentes, A. S. (2014). Computación en la nube. 46-51.
- [49] Hess, D. R., Myers, T., & Rau, J. L. (2005). *Una guía de dispositivos de aerosoterapia*. Asociación Americana de Cuidados Respiratorios.
- [50] Huerta, E., Manguiterra, A., & Noguerra, G. (2005). *GPS posicionamiento satelital*. Rosario: UNR Editora.
- [51] Instituto, n. d. (2019). *Cloud computing. Una guía de aproximación para el empresario*, 5-31.
- [52] Jacqueline Dote. (2020). *Prótesis mecatrónica para personas amputadas entre codo y muñeca*. México: Redalyc.
- [53] John Alejandro Castro Correa. (2019). *Tesis Geolocalización de Vehículos Arduino*. México: Redalyc.
- [54] Joaquín León Molina. (2022). *Desinfectantes antisépticos frente al coronavirus; síntesis de evidencias y recomendaciones*. México: NIH.
- [55] Jorge Zuniga. (2020). *Funcionalidad de prótesis de mano impresa en 3D en adolescentes con amputación congénita parcial de mano: Una serie de casos*. México: SciELO.
- [56] Joyanes Aguilar, L. (2019). *Inteligencia de Negocios y Analítica de Datos*. Alfaomega.

- [57] Juan Humberto Sozza. (2017). *El papel de la inteligencia artificial en la Industria*. México: UNAM.
- [58] Karin Correa Arana. (2016). *Prótesis de mano virtual movida por señales encefalográficas*. SciELO, 12.
- [59] Karla Pavlova Avilés Mendoza. (2021). *Diseño e implementación de una prótesis robótica con señales EMG*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- [60] Khawas, C. (2018). Application of Firebase in Android App Development-A Study. *International Journal of Computer Applications*, 0975 – 8887.
- [61] Kilby et al. (2004). *Error de aproximación obtenido tras la descomposición y reconstrucción de una señal para prótesis de mano*. México: Redalyc.
- [62] Leantec. (2021). *Datasheet HC-SR04*. Recuperado el 8 de diciembre de 2021, de <https://leantec.es/wp-content/uploads/2019/06/Leantec.ES-HC-SR04.pdf>
- [63] Llamosas Falcón, L. S. (2020). Secuelas a Largo Plazo de Covid-19. *Revista Española de Salud Pública*.
- [64] Luis Jesús Valderrama Zaldivar. (2013). *Ectrodactilia; presentación de un caso*. México: SciELO.
- [65] Luján Mora, S. (2002). *Programación de aplicaciones web*. España: Club Universitario.
- [66] Maguiña. (2021). *Estilos de vida en tiempos de pandemia*. México: Ágora.
- [67] MapBox inc. (16 de 1 de 2022). *Documentación MapBox GL*. Obtenido de <https://docs.mapbox.com/mapbox-gl-js/guides/>
- [68] Marco Antonio Compagnoni. (2009). *La influencia de factores sistémicos en el uso de las prótesis totales*. México: SciELO.
- [69] Marvin González. (2020). *Prototipo de mano robótica controlada mediante el procesamiento*. México: Redalyc.
- [70] Méndez Aranda, J. R. (1999). *Estudio y evaluación del Modelo Cliente/Servidor en la migración de redes y aplicaciones en las empresas, dentro del marco definido por el concepto Middleware*. Monterrey.
- [71] Miranda, B. (2021). Desarrollo de algoritmo de reconocimiento de movimientos de la mano basado en aprendizaje automático. *Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación*, 80.
- [72] Miyara, F. (2004). *Electrónica III conversores D/A y A/D*. Argentina: Universidad Nacional de Rosario.
- [73] Morales Caluña, E. R., & Altamirano Capelo, F. X. (2016). *Computación en la nube*. Ecuador: ESPOCH.
- [74] Murthy. (2021). *Sistema desinfectante de transporte*. México: UV.
- [75] Nicola, F. E. (2016). *Redes celulares*. Universidad Nacional de Rosario.
- [76] Orphanet. (2021). Obtenido de Portal de información de enfermedades raras y medicamentos huérfanos: https://www.orpha.net/consor/cgi-bin/OC_Exp.php?Ing=ES&Expert=294979
- [77] Paredes Colmenar, M. D., & Millanes Santos, J. (2020). *Aplicaciones web*. Madrid: Síntesis.
- [78] Pascual Acón, A. (2021). Control de una Mano Biónica basado en Redes Neuronales y técnicas de reconocimiento de gestos mediante múltiples sensores EMG., 8.
- [79] Perdomo Fernández, P. A. (2022). Método para evaluación de una estrategia de control realimentado en la funcionalidad de agarre de poder con una prótesis de mano robótica. *Redalyc*, 10.
- [80] Pérez Cebolla, F. (2022). *Control de una Mano Biónica Basado en Redes Neuronales No Supervisadas*. Redalyc, 8.
- [81] Pérez Tirado, Á. (2010). *Manual de laboratorio de electrónica básica*. Colombia: Universidad del Atlántico.
- [82] Pozo Ruz, A., Ribeiro, A., García Alegre, M. C., García, L., Guinea, D., & Sandoval, F. (Madrid). *Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Descripción, Análisis de Errores, Aplicaciones y Futuro*. 54-59.
- [83] Prat Viñas, L. (1999). *Circuitos y dispositivos electrónicos*. Ediciones UPC.
- [84] Rangel Huerta, A. (2023). Sistema de Control de Movimientos de una Mano Robótica usando Comandos de Voz. *SOMIN*, 6.
- [85] Universidad Nacional Autónoma de México (2022). 75 amputaciones diarias en México. *Revista Global UNAM*, 5.
- [86] Reyes, J. (2017). *Técnicas de Programación para Internet*.
- [87] Sara María González Bastidas. (2021). *El uso de la inteligencia artificial y el big data en el mejoramiento de la calidad de vida de las personas con amputaciones de sus extremidades*. México: Redalyc.
- [88] Sarmiento Vela, L. (2018). *Prótesis mecatrónica para personas con reconocimiento de patrones y visión artificial*. Redalyc, 20.
- [89] Sarmiento-Ramos, J. L. (2020). *Aplicaciones de las redes neuronales y el deep learning a la ingeniería biomédica*. Redalyc, 20.
- [90] Section on Plastic Surgery. (5 de septiembre de 2017). *Healthy Children*. Obtenido de American Academy of Pediatrics: <https://www.healthychildren.org/Spanish/health-issues/conditions/Cleft-Craniofacial/Paginas/children-with-congenital-hand-anomalies-malformations.aspx>
- [91] Serrano Sánchez, C. (2020). *TypeScript, Curso práctico*. Ra-MA.
- [92] SIMcom. (2013). *SIM800L Hardware Design 1*.
- [93] Sundar. (2021). *Robot Rociador Desinfectante de Covid 19*. México: UVG.
- [94] Terazona, A., & Jefferson, C. (Diciembre de 2020). La tecnología como aliado para contrarrestar la pandemia del Covid-19. Obtenido de SciELO.
- [95] Torrente Artero, Ó. (2013). *Arduino curso práctico de formación*. Ciudad de México: Alfaomega.
- [96] Ubada, B. (2009). *Sistemas Embebidos*. España: DIIC.
- [97] U-blox. (2021). *Neo 6 u-blox 6 gps modules data sheet*. Recuperado el 6 de Diciembre de 2021.
- [98] UNAM. (2021). *Revista UNAM*. Obtenido de Revista Digital Universitaria: <https://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/art01-1b.htm>
- [99] UNAM. (2022). *Reseña histórica de las prótesis*. México: Vol. 6.
- [100] UNLP. (2016). *Electricidad*. Universidad Nacional de la Plata.
- [101] V.J. Quesada Varela. (2020). *La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina I: introducción antecedentes a la IA y robótica*. México: Redalyc.
- [102] Velarzo Pardo, M. R., Honores, T. J., Gómez Moreno, A. S., & Vines Sánchez, L. (2018). Comparación de tendencias tecnológicas en aplicaciones WEB. *Glosas de Innovación aplicadas a la Pyme*, 28-49.
- [103] Vignaga, A., & Perovich, D. (2019). Arquitecturas y tecnologías para el desarrollo de aplicaciones web. *Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Instituto de*, 51.
- [104] Wang X. y Cui J. (2021). *Inteligencia Artificial Neuronas en Señales EMG para Prótesis de Mano*. México: Redalyc.
- [105] Yudayly Stable Rodriguez. (2023). *Desafíos en el uso de la Inteligencia Artificial para el sector salud*. México: Redalyc.
- [106] Zelaya Reyes, C. J. (2020). *Nuevas Tendencias en Desarrollo Web*.
- [107] Zuniga, J. (2020). *Funcionalidad de prótesis de mano impresa en 3D en adolescentes con amputación congénita parcial de mano: Una serie de casos*. SciELO, 7.



Sociedad Mexicana
de Termodinámica
A.C.

Tecnológico de Estudios
Superiores de Ecatepec
(TESE)



XXXVI CONGRESO NACIONAL DE TERMODINÁMICA

Del 29 de septiembre al 3 de octubre del 2025

| CURSO PRECONGRESO | MESAS REDONDAS | PRESENTACIONES ORALES |
| PRESENTACIONES EN CARTEL | CONCURSO DE TESIS |

FECHAS IMPORTANTES



COSTOS		
	ANTES DEL 11 DE AGOSTO	DESPUÉS DEL 11 DE AGOSTO
Estudiantes	\$ 500	\$ 600
Profesionistas	\$ 1000	\$ 1200



Tópicos

TERMOQUÍMICA Y CALORIMETRÍA
FENÓMENOS DE SUPERFICIE Y DE TRANSPORTE
TERMODINÁMICA ESTADÍSTICA
TERMODINÁMICA DE PROCESOS
SUSTENTABILIDAD Y MEDIO AMBIENTE
EQUILIBRIO QUÍMICO Y DE FASES
TERMODINÁMICA DE SOLUCIONES
TERMODINÁMICA DE TIEMPOS FINITOS
APLICACIONES EN DIFERENTES ÁREAS
EDUCACIÓN EN TERMODINÁMICA



INFORMES

soc.mex.de.termodinamica@gmail.com
<https://sites.google.com/u/o/d/1rsNMUKivzmfqP6QX>
H64bK1eWFR_8fnJA/p/1Hy5HMC3Bmv93dwzQsK2JdX
MhXfoE5814/preview?authuser=0



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLOGÍA
NACIONAL DE MÉXICO



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



ESTADO DE
MÉXICO
El poder es amor

EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN





#ElPoderDeLaEducación



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLOGÍA
NACIONAL DE MÉXICO



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



ESTADO DE
MÉXICO
¡El poder de servir!

EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

