



RICT

Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación

ISSN 2992-7315
Año 2 No. 4 julio-diciembre 2024

Edición Semestral volumen 2, número 4, julio-diciembre 2024

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



DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14194247>

ISSN 2992-7315





DESDE 2023

<https://rictrevista.org>

RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación

Publicación Semestral RICT Vol. 2 No. 4 (2024)



ISSN: 2992-7315

Volumen 2 – No. 4 – 2024

Semestral

ISSN: 2992-7315

Centro de Investigación Multidisciplinaria
Instituto de Innovación y Ciencias Aplicadas

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

Comité Editorial

Leonardo Miguel Moreno Villalba

Editor en jefe

Tecnológico Nacional de México / TESE

lmoreno@tese.edu.mx

Francisco Jacob Ávila Camacho

Editor asociado

Tecnológico Nacional de México / TESE

fjacobavila@tese.edu.mx

Juan Manuel Stein Carrillo

Investigador

Tecnológico Nacional de México / TESE

jmsteinc@tese.edu.mx

RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación, año 2, No. 4, Julio – Diciembre 2024, es una Publicación semestral, indexada y arbitrada a doble ciego editada Leonardo Miguel Moreno Villalba. Av. Valle de Guadiana 59, Col. Valle de Aragón 3ª Sección, Ecatepec de Morelos, Estado de México, C.P. 55280, Tel. (+52) 720 460 0897, <https://rictrevista.org>, rictrevista@gmail.com. Editor responsable: Leonardo Miguel Moreno Villalba. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2023-072413552000-102, ISSN: 2992-7315, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número Leonardo Miguel Moreno Villalba, Av. Valle de Guadiana 59, Col. Valle de Aragón 3ª Sección, Ecatepec de Morelos, Estado de México, C.P. 55280, fecha de última modificación 14 de noviembre de 2024.



DESDE 2023

<https://rictrevista.org>

RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación

Publicación Semestral RICT Vol. 2 No. 4 (2024)



ISSN: 2992-7315

Directorio

Leonardo Miguel Moreno Villalba

Editor en Jefe (Editor-in-Chief)

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

Francisco Jacob Ávila Camacho

Editor Asociado (Associate Editor)

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

Consejo Editorial (Editorial Board)

Dr. Adolfo Melendez Ramírez

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

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

Dr. Genaro Iván Cerón Montes

Universidad Tecnológica de Tecamac

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

Dr. Juan Manuel Stein Carrillo

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

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

Dr. José Alberto Hernández Aguilar

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Dr. Abraham Jorge Jiménez Alfaro

Tecnológico Nacional de México / TES Chimalhuacan

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

M. en ISC. Roberto Carlos Muñoz Celaya

Tecnológico Nacional de México / TES Coacalco

M. en C. Edgar Corona Organiche

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Comité Técnico Revisor (Reviewer Board)

Dra. María Luisa Lozano Camargo

Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México

M. en ISC Samuel Efrén Viñas Álvarez

Tecnológico Nacional de México / I.T. Zitácuaro

Dr. Abraham Jorge Jiménez Alfaro

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dr. Juan Manuel Stein Carrillo

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dra. María de la Luz Delgadillo Torres

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec



DESDE 2023

<https://rictrevista.org>

RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación

Publicación Semestral RICT Vol. 2 No. 4 (2024)



ISSN: 2992-7315

Dra. Claudia Teresa González Ramírez

Tecnológico Nacional de México campus Zitácuaro

M. en C. Edgar Corona Organiche

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dra. Mercedes Flores Flores

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dr. Javier Norberto Gutiérrez Villegas

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dr. Leonardo Miguel Moreno Villalba

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dra. Griselda Cortes Barrera

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dr. Emmanuel Tonatihu Juárez Velázquez

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Contenido

Editorial i

Artículos de Revisión

- 1. El potencial de la optimización de decisiones empresariales con Power BI.**
Andrés Gámez Galindo, Abraham Jorge Jiménez Alfaro, Edgar Corona Organiche 1
- 2. La robótica en el ámbito educativo: Una experiencia en la construcción de un brazo robótico tipo grúa electromagnética.**
Yohan Ramón Godoy Graterol 10
- 3. Informática de materiales en el estudio de propiedades físicas de nanotubos de carbono.**
Luis Enrique Vivanco-Benavides, Cecilia Mercado-Zúñiga, María Teresa Torres-Mancera, María Yesenia Díaz-Cárdenas 17

Artículos de Investigación

- 4. Germinación de semillas utilizando campos electromagnéticos.**
Javier Norberto Gutiérrez Villegas, Israel Isaac Gutiérrez Villegas, Víctor Hugo Martínez Flores, Esiquio Martín Gutiérrez Armentas, Marco Antonio Gutiérrez Villegas, Liliana Niño Monroy 24
- 5. Prototipo de seguidor solar automático con red neuronal para maximizar la energía fotovoltaica.**
Rodolfo García Rojas, Adolfo Meléndez Ramírez 30
- 6. Modelado de una silla de ruedas integrada a una plataforma de elevación-giro a un vehículo con neuro control para personas con discapacidad motriz.**
Luis-Alberto Rodríguez-Austria a, Armando Martínez-Valdez b, Gilberto Osorio-Roque c, Griselda Cortés-Barrera d, Edgar Corona-Organiche 36
- 7. Aplicación de la tecnología AMTEC para la gestión de datos del cultivo de arroz en Côte d'Ivoire:**
Laura-Mercedes Arteaga-Rojas, John-Monje, Edgar-Alirio Aguirre 49
- 8. Los Estilos de Aprendizaje de la Programación Neurolingüística de Bandler y Grinder (Visual, Auditivo y Kinestésico), en la asignatura Emplea Frameworks para el Desarrollo de Software en el Nivel Medio Superior**
Javier Norberto Gutiérrez Villegas, Israel Isaac Gutiérrez Villegas, Víctor Hugo Martínez Flores, Esiquio Martín Gutiérrez Armentas, Marco Antonio Gutiérrez Villegas, Liliana Niño Monroy 57
- 9. Redes Neuronales Recurrentes para la detección de noticias falsas cuentas Bot en Twitter**
Sandra Paulina Castillo Cárdenas, Francisco Jacob Ávila Camacho 64

El potencial de la optimización de decisiones empresariales con power bi The potential of optimizing business decisions with power bi

Gámez Galindo Andrés ^a, Dr. Abraham Jorge Jiménez Alfaro ^{id}^a, M.C Edgar Corona Organiche ^{id}^a

^aDivisión de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec, 55210, Ecatepec, Estado de México, México.

Resumen

El siguiente artículo es una investigación sobre la importancia, ventajas y avances de lo que ha logrado lo denominado “Business Intelligence”, dentro de las decisiones empresariales utilizando como herramienta principal el software “Power BI” el cual nos brinda distintas opciones para tratar la información sobre la empresa en cuestión y lograr tener predicciones tanto de los datos como del cliente para que se puedan tomar las decisiones correctas. El proyecto fue realizado para CEPROAL. Las decisiones correctas pueden dar un mejor resultado para las ventas si es que se toman las correctas, es por eso que el “Business Intelligence” es importante para lograr un crecimiento general.

Palabras clave: Business Intelligence, PowerBI, ventajas, predicciones

Abstract

The following article investigates the importance, advantages, and advancements achieved by what is known as “Business Intelligence” (BI) in the context of enterprise decision-making. The primary tool for this purpose is the software Power BI, which offers various options for handling information related to the company. By leveraging Power BI, organizations can make predictions based on both data and customer insights, enabling informed decision-making. The project was made for CEPROAL

Keywords: Business Intelligence, PowerBI, advantages, predictions

1. Introducción

A lo largo de los años el mundo empresarial ha crecido de manera exponencial dado a que el acercamiento al público en general ya es mucho mayor teniendo como publicidad las redes sociales y el internet en general. A pesar de eso también es importante llevar un análisis y visualización de los datos que nos arroja toda la información de la empresa.

El análisis de datos es una tarea que lleva tiempo, ya que se tiene que recopilar la suficiente información para poder tener una visualización completa de la misma, esto se hace principalmente para poder llegar a la perfecta toma de decisiones las cuales son basadas en evidencias y hechos a diferencia de solamente tener una base de suposiciones teniendo una mejor precisión.

Además de que es una forma más fácil y sencilla de identificar tanto oportunidades como riesgos, descubriendo

patrones, oportunidades y tendencias que no están a simple vista, todo esto conduciendo a una mayor eficiencia operativa.

De la mano con esto también se puede tener una mejor comprensión del cliente, se sabe que el cliente siempre tiene la razón por lo que gracias a eso también se puede disponer de la obtención de ideas de estos dadas sus preferencias, su comportamiento y sobre todo sus necesidades, todo esto siendo de ayuda para personalizar ya sea los servicios o productos que estos provean. Todo esto es fundamental para llegar al éxito empresarial dada la información altamente relevante que se puede obtener y que es utilizada para la toma de decisiones estratégica y esto se logra a través de los llamados “Dashboards” (véase Fig. 1) con los cuales se puede lograr un desglose de información que sea de utilidad para dicho análisis.

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

Correo electrónico: 201910690@tese.edu.mx (Gámez Galindo Andrés), ajimenez@tese.edu.mx (Abraham Jorge Jiménez Alfaro), ecoronoa@tese.edu.mx (Edgar Corona Organiche).



Fig.1. Ejemplo de dashboard en Power BI

2. Materiales y Método

Esta investigación fue realizada después de una revisión de artículos relacionados tanto a Business Intelligence como al software en cuestión utilizado para lo mismo el cual es Power Bi desarrollado por Microsoft. La investigación tiene como fin mostrar la relevancia de Power BI en la toma de decisiones empresariales.

Comenzando con explicar que es Business Intelligence.

Se trata de un conjunto de metodologías y estrategias con las cuales se puede transformar la información en basto conocimiento para la mejora de la toma de decisiones dentro de una empresa haciendo referencia al uso de los datos de los consumidores a los cuales acceden las organizaciones para que puedan ser procesados y sirvan para la toma de decisiones (véase Fig. 2).

Esto implica un conocimiento bastante profundo sobre el funcionamiento de una empresa para poder tener predicciones sobre el futuro, entender el “Cómo” y el “Por qué” de la información. Esto para adaptar las distintas acciones que se llevan acabo dentro de la empresa y con ello poder tener una gran mejoría tanto en la rentabilidad como en la productividad.



Fig. 2. Proceso del Business Intelligence

En el contexto empresarial actual, los sistemas de Business Intelligence (BI) han adquirido un papel estratégico fundamental. Estas herramientas no solo proporcionan información valiosa, sino que también se han convertido en una ventaja competitiva para las organizaciones. El BI se basa en dos tipos de soluciones: aquellas relacionadas con la extracción, transformación y carga de datos, y las enfocadas en la inteligencia analítica.

En primer lugar, el proceso de BI implica la recopilación de datos desde diversas fuentes, seguido de su depuración y carga en una base de datos centralizada. Una vez almacenados, estos datos se utilizan para generar informes y

visualizaciones gráficas que permiten a los tomadores de decisiones comprender mejor el estado de la empresa y detectar patrones o tendencias. Además, se crea un cuadro de mando integral que facilita la presentación de informes y la toma de decisiones informada.

El BI no solo se limita a grandes corporaciones; las pymes también pueden beneficiarse de estas herramientas. Al implementar soluciones de BI, las empresas pueden optimizar sus operaciones, identificar oportunidades de crecimiento y mitigar riesgos. En resumen, el Business Intelligence se ha convertido en un recurso esencial para cualquier organización que busque mantenerse competitiva en un entorno empresarial dinámico y en constante evolución.

En la era del Big Data, la importancia de los volúmenes de datos sigue creciendo. Sin embargo, procesar esta información de diversas fuentes es fundamental. Aquí es donde entra en juego la Informática Decisional, permitiendo que los datos cuenten una historia y generen análisis para la toma de decisiones.

Inicialmente, el Business Intelligence (BI) se divide en cuatro partes:

- Fuentes de datos
- ETL (Extract – Transform – Load)
- Data Warehouse
- Reporting

Fuentes de datos:

Las fuentes de datos son recursos que suministran información para su análisis en el contexto del Business Intelligence. Estas fuentes pueden variar desde sistemas internos de gestión, como ERP, CRM y SGA, hasta plataformas de comercio electrónico, bases de datos externas y archivos estructurados o no estructurados (véase Fig.3). En resumen, son los puntos de origen de los datos que alimentan el proceso analítico.

Estas fuentes son esenciales para comprender el panorama completo de una organización, ya que proporcionan datos crudos que luego se transforman en información valiosa. Sin ellas, el BI carecería de sustento y no podría generar conocimientos significativos.

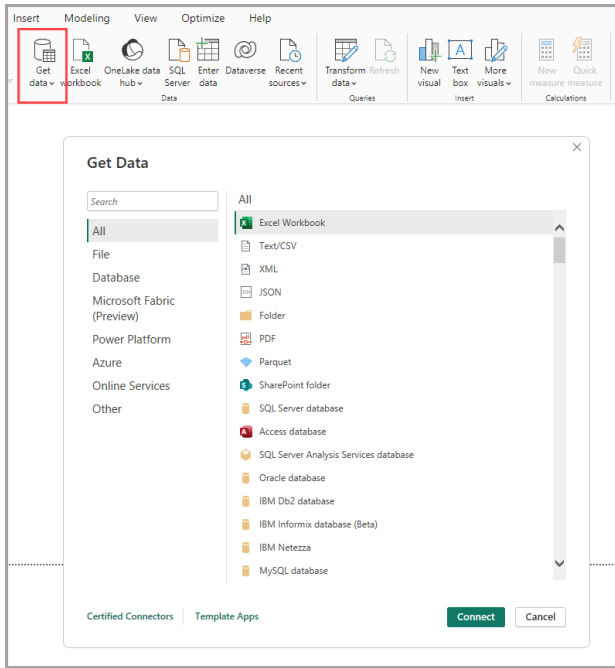


Fig. 3. Fuentes de Datos

ETL (Extract – Transform – Load):

ETL es un proceso fundamental en el mundo del Business Intelligence. Consiste en extraer datos de diversas fuentes, transformarlos para que sean coherentes y limpiarlos de posibles inconsistencias. Luego, estos datos procesados se cargan en un data warehouse, un data lake u otro sistema de destino (véase Fig.4). Las tuberías de datos ETL son como los conductos que canalizan la información hacia donde se necesita, permitiendo análisis más profundos y aprendizaje automático.

La fase de transformación es crucial, ya que aquí se aplican reglas de negocio, se normalizan los datos y se crean estructuras coherentes. Sin ETL, los datos serían caóticos y difíciles de interpretar.

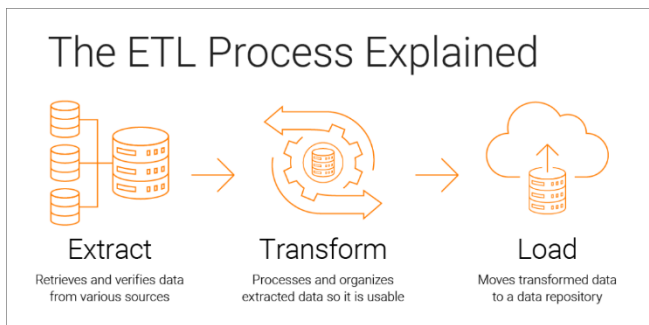


Fig. 4. Proceso explicado de ETL

Data Warehouse:

Un data warehouse es como un almacén gigante de datos. Imagina un edificio con estanterías ordenadas donde los camiones (es decir, los datos de origen) descargan su información. Estos datos se organizan en filas y columnas, facilitando su búsqueda y análisis posterior. El data warehouse es el corazón del BI, ya que almacena datos históricos y actuales para su posterior explotación.

Además de almacenar datos, el data warehouse permite consultas complejas, agregaciones y análisis multidimensionales. Es un recurso valioso para la toma de decisiones informadas en las organizaciones.

Reporting:

El reporting en Business Intelligence implica presentar datos de manera visual y comprensible. Los informes estáticos ofrecen una instantánea de la información, mientras que los paneles interactivos permiten explorar los datos y responder preguntas de manera dinámica (véase Fig.5). Estos informes y paneles ayudan a los usuarios a tomar decisiones basadas en hechos concretos.

Los informes pueden incluir gráficos, tablas, indicadores clave de rendimiento (KPI) y tendencias. Son una herramienta poderosa para comunicar insights y evaluar el desempeño de una organización.

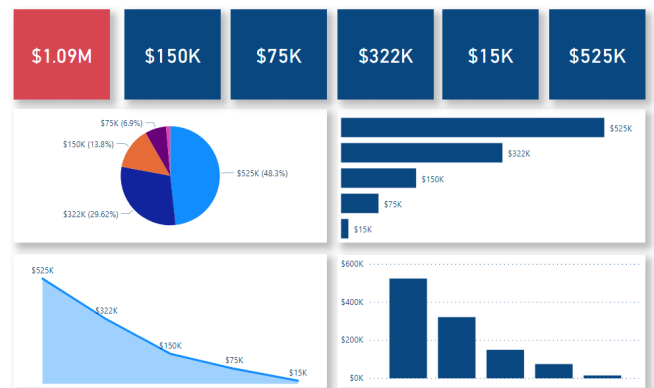


Fig. 5. Ejemplo de reporting

En el contexto empresarial, el departamento financiero puede aprovechar esta herramienta para analizar estratégicamente ingresos, gastos y el nivel de cuentas contables. Además, el análisis gráfico del histórico de datos a lo largo de los años ayuda a detectar posibles aumentos de costos o baja rentabilidad futura. También permite identificar gastos inusuales o anomalías. Por otro lado, el departamento de ventas puede estudiar tendencias de comportamiento por cliente, zonas geográficas y momentos de mayor o menor flujo de ventas. Estos análisis informan decisiones a corto, mediano y largo plazo, y permiten ajustar las estrategias de venta según sea necesario.

El departamento de recursos humanos y capacitación puede analizar el comportamiento del personal, incluyendo el crecimiento profesional y el flujo de empleados dentro y fuera de la empresa. En empresas multinacionales, también se pueden estudiar las fluctuaciones de la plantilla por países o regiones.

Gracias a las prácticas y tecnologías que permiten la recopilación, análisis y modelado de datos, se pueden encontrar mejoras en distintas áreas de la empresa:

Experiencia del cliente:

El BI proporciona una visión completa de la información de los clientes en un solo lugar. Esto permite dirigir recursos estratégicamente hacia áreas clave que afectan positivamente la captación de clientes y el soporte técnico. Al comprender mejor las necesidades y preferencias de los clientes, las

empresas pueden ofrecer experiencias más personalizadas y satisfactorias.

Ventas y marketing:

El BI ofrece visibilidad sobre el rendimiento de las ventas y el marketing. Al analizar datos como el comportamiento del consumidor y las tendencias de compra, las empresas pueden tomar decisiones más acertadas. Esto garantiza que las futuras iniciativas de marketing sean efectivas y generen ingresos. Además, el BI ayuda a segmentar el mercado de manera más precisa y a optimizar las estrategias de ventas.

Operaciones:

El BI mejora las operaciones al automatizar tareas de análisis rutinarias. Al refinar procesos y reducir ineficiencias, las empresas pueden aumentar la productividad. La toma de decisiones basada en datos también permite una gestión más eficiente de los recursos y una mejor planificación operativa.

Finanzas:

Utilizando paneles personalizados, el BI ofrece una visión integral del estado financiero de la empresa. Estudiar datos históricos, calcular riesgos y predecir tendencias ayuda a tomar decisiones financieras más sólidas. Además, el BI facilita la identificación de oportunidades de ahorro y la optimización de inversiones.

Control de inventario:

El análisis automatizado de datos y la generación de informes mejoran la gestión del inventario. Al acelerar el cumplimiento y prever tendencias de compra, las empresas pueden evitar escasez o exceso de inventario. Esto optimiza los costos y garantiza que los productos estén disponibles cuando se necesiten.

Seguridad y cumplimiento:

Centralizar los datos mediante el BI mejora la precisión y la transparencia. Esto facilita la detección de errores y problemas de seguridad. Además, reduce los riesgos de incumplimiento normativo al proporcionar una visión clara de las prácticas empresariales y los controles internos.

Ventajas del Business Intelligence:

1. Respuestas más rápidas y ahorro de energía:

El BI permite respuestas más ágiles al proporcionar acceso rápido a datos relevantes. Al optimizar el tiempo de búsqueda y análisis, las decisiones se toman con mayor eficiencia. Además, al evitar la especulación, se ahorra energía mental y se enfoca en soluciones concretas.

Por ejemplo, un ejecutivo que necesita tomar decisiones rápidas sobre estrategias de marketing. Gracias al BI, puede acceder a informes actualizados en tiempo real y ajustar sus tácticas según los datos, sin perder tiempo en conjeturas.

2. Control presupuestario y eficiencia financiera:

El BI mejora el control presupuestario al proporcionar información detallada sobre gastos, ingresos y tendencias financieras. Los departamentos financieros pueden identificar oportunidades de ahorro y llevar un seguimiento preciso de los gastos. Esto es crucial para mantener la salud financiera de la empresa.

Por ejemplo, al analizar los costos operativos a través de paneles de control, el departamento financiero puede detectar áreas donde se pueden reducir gastos innecesarios y asignar recursos de manera más eficiente.

3. Análisis detallado del mercado y toma de decisiones informadas:

El BI permite un análisis profundo del mercado. Al considerar factores como la madurez del mercado y los competidores, las empresas pueden adaptar sus estrategias. El análisis cualitativo revela tendencias y oportunidades, lo que ayuda a tomar decisiones informadas.

Suponiendo que una empresa lanza un nuevo producto. Mediante el BI, puede evaluar la demanda, el comportamiento del consumidor y la competencia, lo que influye en su enfoque de marketing y ventas.

4. Comunicación simple y control funcional:

Los tableros de indicadores del BI presentan información de manera visual y directa. Al crear tableros personalizados, los equipos pueden enfocarse en los datos más relevantes sin revisar grandes cantidades de información. Esto facilita la comunicación interna y la toma de decisiones.

En el área de recursos humanos, por ejemplo, un tablero podría mostrar la rotación de personal, el desarrollo profesional y las métricas de desempeño. Esto permite un mejor control y seguimiento de las áreas funcionales de la empresa.

Power BI

La idea se creó en el 2006 cuando el equipo de SQL (Structured Query Language) liderado por Amir Netz concibió la idea inicialmente conocida como "Gemini" aprovechando la potencia de SQL Server Analysis Services (SSAS) haciéndolo disponible como un motor de memoria.

En el verano del 2010 la aplicación "Project Crescent" vio la luz de la mano de Ron George para que posteriormente cambiara el nombre al cual ya conocemos siendo "Power BI", el mismo está basado en algunos de los complementos de Excel:

- Power Query
- Power Pivot y
- Power View

Tiempo después se agregarían más funciones como una conectividad de datos a nivel empresarial como opciones de seguridad mediante Power BI Gateways.

Oficialmente fue lanzado en Julio del 2015 teniendo desde entonces demasiadas mejoras siendo en 2019 reconocido como líder para plataformas de análisis y business intelligence teniendo hasta la fecha distintas actualizaciones con las cuales se va haciendo más sencillo la forma en que el usuario o la empresa puede tratar la información que recoge a lo largo de sus ventas, teniendo múltiples herramientas, diferentes tipos de tablas, figuras y esquemas que se pueden utilizar (véase Fig. 6).

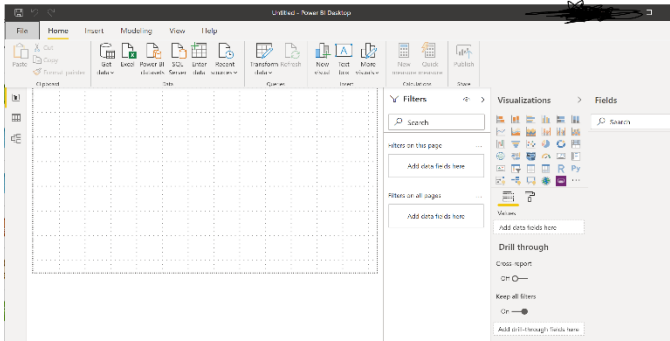


Fig. 6. Vista previa de la Interfaz de Power BI

Power Query: Se trata de una herramienta de conectividad y preparación de datos la cual permite la importación y transformación de los datos de diferentes fuentes (véase Fig. 7).

- Permite conectar y dar forma a los datos desde muchos de los productos de Microsoft, como Excel, Dataverse, Analysis Services, entre otros.
- Utiliza el lenguaje M para tareas de transformaciones de datos.
- Es de ayuda para la transformación de datos, la combinación y la limpieza de los mismo para posteriormente cargarlos en el modelado de datos.

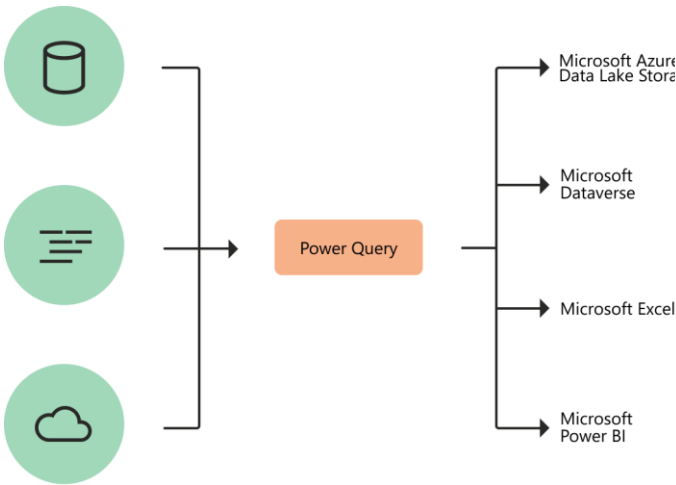


Fig. 7. Power Query

Power Pivot: Se trata de una tecnología de modelado de datos que permite crear los modelos de datos, crear cálculos y establecer relaciones (véase Fig. 8).

- Permite trabajar con grandes conjuntos de datos creando así relaciones aún más extensas.
- Utiliza fórmulas de Data Analysis Expressions (DAX) para poder llevar a cabo la creación de medidas y columnas calculadas.
- Integra a Excel y proporciona un entorno de alto rendimiento para el análisis de datos.

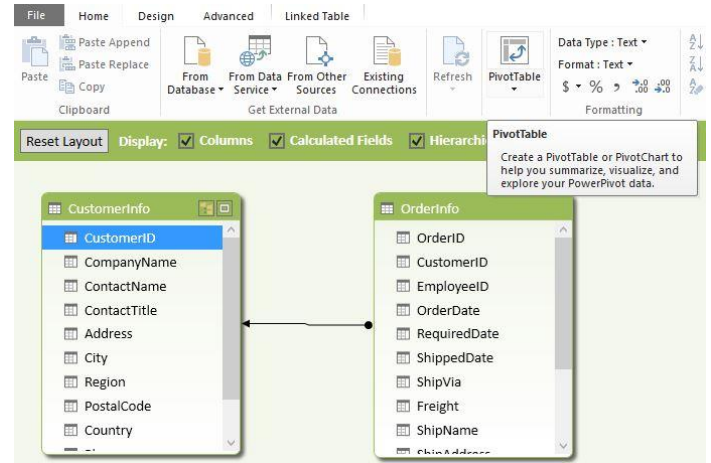


Fig. 8. Ejemplo de tabla con Power Pivot

Power View: Es una tecnología de visualización de datos que permite la creación de datos interactivos, mapas entre otras visualizaciones (véase Fig. 9).

- Crea informes visuales atractivos en Excel, SharePoint, SQL Server y Power BI
- Facilita la creación de tablas, gráficos así como mapas interactivos para explorar los datos además de analizarlos.

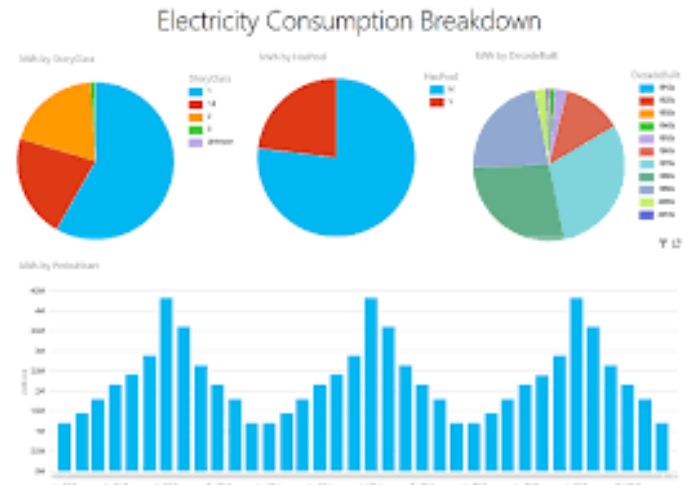


Fig. 9. Ejemplo de mapa interactivo en Power BI

DAX (Data Analysis Expressions)

Data Analysis Expressions (DAX) es una colección de funciones, operadores y constantes que se utilizan en fórmulas o expresiones para calcular y devolver valores.

DAX permite crear nueva información a partir de datos existentes en el modelo. Por ejemplo, puedes calcular métricas personalizadas, como margen de beneficio, crecimiento por categorías de producto o tendencias del mercado.

Funciones DAX:

DAX ofrece una amplia variedad de funciones. Algunas de las más comunes son:

- SUM: Suma los valores de una columna.
- AVERAGE: Calcula el promedio de una columna.
- COUNT: Cuenta la cantidad de filas en una tabla.
- IF: Realiza una evaluación condicional.

Estas funciones te permiten realizar cálculos complejos y crear medidas personalizadas.

Sintaxis y Contexto:

La sintaxis DAX es similar a la de Excel, pero con algunas diferencias. Por ejemplo, las fórmulas DAX no utilizan referencias de celda, sino nombres de columnas y tablas.

El contexto es fundamental en DAX. Las fórmulas se evalúan en diferentes contextos, como filas, columnas o totales. Comprender el contexto es esencial para obtener resultados precisos.

Modelos de Datos Tabulares:

DAX se utiliza principalmente en modelos de datos tabulares. Estos modelos organizan los datos en tablas relacionadas.

Las relaciones entre tablas permiten crear cálculos basados en múltiples fuentes de datos.

Características de Power BI

- Visualización de Datos: Power BI ofrece una variedad de herramientas para crear informes y cuadros de mando visualmente atractivos e interactivos.

Los paneles de datos pueden ser revisados en tiempo real, proporcionando información actualizada y relevante.

- Modelado de Datos: Permite a los usuarios crear modelos de datos para analizar y explorar información en detalle.

Las relaciones entre tablas permiten realizar cálculos basados en múltiples fuentes de datos.

- Exploración de Datos: Facilita la exploración y búsqueda de patrones, tendencias y oportunidades en los datos.

Puedes filtrar datos por ubicación y utilizar conectores para acceder a información relevante.

- Colaboración: Power BI permite compartir informes y paneles con otros usuarios dentro y fuera de la organización.

La colaboración en tiempo real mejora la toma de decisiones.

- Accesibilidad:

Puedes tomar decisiones basadas en datos desde cualquier lugar del mundo, utilizando aplicaciones Windows, iOS y Android.

Power BI ofrece diferentes plataformas para trabajar en cualquier lugar donde se encuentre el usuario dando así más opciones para que se pueda obtener información en tiempo real sin necesidad de estar frente a la aplicación de escritorio (véase Fig. 10) solamente, que, aunque las diferencias existen, se puede trabajar sin problemas de distancia, ya que se puede acceder a la misma información. Por ende, consta de varios elementos que funcionan juntos como son:

- Aplicación de Escritorio,
- Servicio SaaS y
- Aplicación para dispositivos móviles.

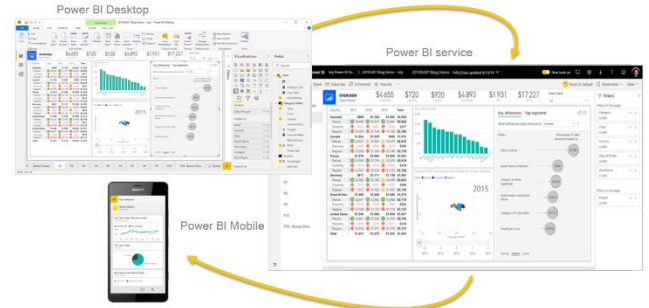


Fig. 10. Conexión entre plataformas de Power BI

Servicio Power BI.

El servicio Power BI es la parte de Software como Servicio (SaaS) de Power BI. Es una suite basada en la nube de herramientas de análisis empresarial.

Permite a los usuarios conectarse, visualizar y analizar datos de manera eficiente. Proporciona paneles interactivos, informes y visualizaciones a través de la web. Los datos pueden provenir de fuentes en la nube o locales.

Aplicaciones para Power BI Mobile.

Power BI ofrece aplicaciones móviles para iOS y Android.

Con estas aplicaciones, se puede acceder e interactuar con los datos en la nube y en local. Se pueden ver informes y paneles creados en Power BI Desktop (véase Fig. 11).

Las aplicaciones móviles permiten recibir notificaciones, explorar datos y colaborar desde cualquier lugar.

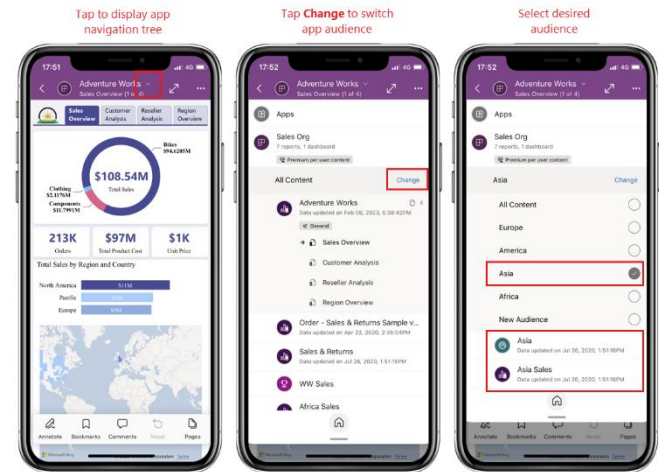


Fig. 11. Interfaz Power Bi móvil

3. Resultados

El uso de la inteligencia empresarial (BI) junto con Power BI puede generar una amplia gama de resultados positivos para una empresa u organización. Estos resultados se reflejan en diversas áreas como la toma de decisiones, la eficiencia operativa, la satisfacción del cliente, la competitividad en el mercado, y más. A continuación, se detallan algunos de los principales beneficios y resultados que pueden obtenerse mediante la implementación de estas herramientas.

1. Mejora en la Toma de Decisiones

La inteligencia empresarial permite a las organizaciones convertir datos en información valiosa. Power BI facilita este

proceso al ofrecer herramientas de visualización de datos que ayudan a los usuarios a identificar tendencias y patrones. Al disponer de información actualizada y precisa, los gerentes y directivos pueden tomar decisiones más informadas y estratégicas. Esto es especialmente crucial en un entorno empresarial dinámico, donde la capacidad de reaccionar rápidamente a los cambios puede ser determinante para el éxito.

2. Optimización de Procesos

La integración de BI y Power BI permite a las organizaciones analizar sus procesos operativos en detalle. Al identificar ineficiencias y cuellos de botella, las empresas pueden implementar mejoras que optimicen sus operaciones. Por ejemplo, una empresa de manufactura puede utilizar Power BI para monitorear el rendimiento de sus líneas de producción en tiempo real, lo que permite realizar ajustes inmediatos y mejorar la eficiencia.

3. Mejora en la Satisfacción del Cliente

Al utilizar BI para analizar datos de clientes, las organizaciones pueden obtener una comprensión más profunda de sus necesidades y preferencias. Power BI permite consolidar datos de múltiples fuentes, como encuestas de satisfacción, feedback de redes sociales y datos de ventas, en un solo panel de control. Esto facilita el análisis y permite a las empresas adaptar sus productos y servicios para satisfacer mejor las expectativas de sus clientes, lo que se traduce en una mayor satisfacción y lealtad.

4. Aumento de la Competitividad

Las organizaciones que utilizan BI y Power BI tienen una ventaja competitiva significativa. Estas herramientas permiten un análisis detallado del mercado y de la competencia, lo que ayuda a identificar oportunidades y amenazas. Además, la capacidad de generar informes y visualizaciones atractivas y fácilmente comprensibles facilita la comunicación de insights a todos los niveles de la organización, desde la alta dirección hasta los equipos operativos.

5. Control Financiero y Reducción de Costos

BI y Power BI permiten un seguimiento detallado de los costos y el rendimiento financiero. Al analizar los datos financieros en tiempo real, las empresas pueden identificar áreas donde se están generando costos innecesarios y tomar medidas para reducirlos. Por ejemplo, una empresa puede usar Power BI para analizar los gastos de suministros y descubrir proveedores más económicos o identificar áreas de desperdicio en la producción.

6. Gestión del Rendimiento

El uso de BI junto con Power BI facilita la gestión del rendimiento organizacional. Los dashboards interactivos permiten a los gerentes monitorear KPIs (indicadores clave de rendimiento) en tiempo real y realizar un seguimiento del progreso hacia los objetivos estratégicos. Esto no solo mejora la transparencia dentro de la organización, sino que también facilita la identificación de áreas que necesitan atención y mejora continua.

7. Facilitación de la Colaboración

Power BI permite a los equipos trabajar con la misma información en tiempo real, lo que facilita la colaboración entre departamentos. Las funciones de colaboración y uso compartido de Power BI permiten a los empleados compartir

informes y dashboards con facilidad, lo que promueve una cultura de trabajo en equipo y una toma de decisiones conjunta basada en datos.

8. Personalización y Adaptabilidad

Las capacidades de personalización de Power BI permiten a las empresas adaptar los informes y dashboards a sus necesidades específicas. Esto asegura que cada departamento tenga acceso a la información más relevante para sus operaciones. Además, la adaptabilidad de Power BI permite a las empresas ajustar sus herramientas de análisis a medida que cambian sus necesidades y objetivos.

9. Monitoreo y Cumplimiento Normativo

BI y Power BI también son útiles para el monitoreo del cumplimiento normativo. Las empresas pueden configurar alertas y seguimientos para asegurarse de que están cumpliendo con las regulaciones aplicables. Esto es particularmente importante en sectores altamente regulados como la salud, la banca y las telecomunicaciones.

10. Desarrollo de Estrategias Futuras

La capacidad de analizar grandes volúmenes de datos históricos y actuales permite a las organizaciones prever tendencias futuras y desarrollar estrategias a largo plazo. Con Power BI, las empresas pueden realizar análisis predictivos que les ayuden a anticiparse a los cambios del mercado y prepararse adecuadamente.

La implementación de inteligencia empresarial junto con Power BI puede transformar la manera en que una organización opera, desde la toma de decisiones hasta la optimización de procesos y la mejora de la satisfacción del cliente. Estas herramientas no solo proporcionan una ventaja competitiva, sino que también ayudan a gestionar los costos, mejorar el rendimiento y desarrollar estrategias más efectivas para el futuro.

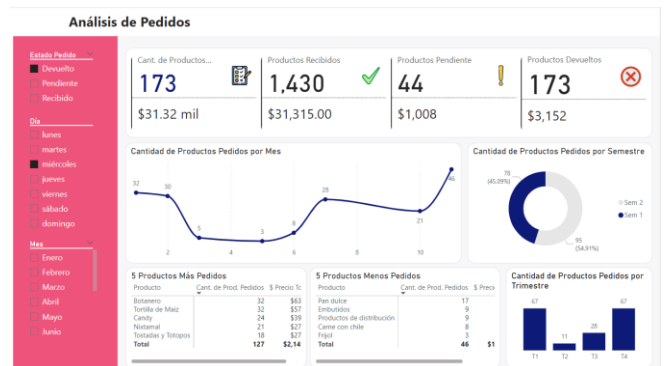


Fig. 12. Interfaz final (1) del proyecto

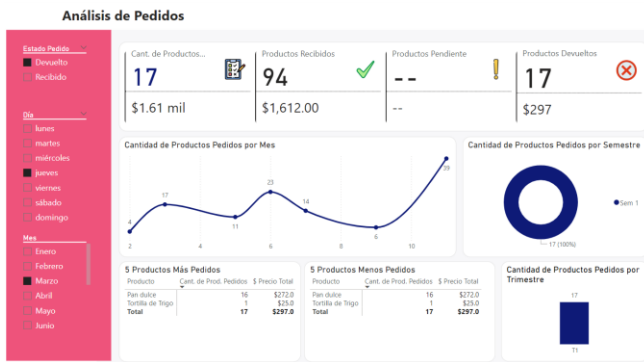


Fig. 13. Interfaz final (2) del proyecto

4. Discusión

El uso del software Power BI para la realización de proyectos empresariales es una estrategia inteligente para analizar patrones y realizar predicciones basadas en la información recopilada. Power BI permite el análisis de grandes volúmenes de datos, facilitando la identificación de tendencias y oportunidades para mejorar la eficiencia y efectividad de una empresa u organización. Esta investigación tiene como objetivo informar sobre herramientas que muchas empresas aún desconocen, pero que pueden ser de gran ayuda para obtener mejores resultados.

Durante el desarrollo de este artículo, se demostró que Power BI es mucho más que una simple herramienta de análisis; es un medio para transformar datos en historias significativas. En lugar de limitarse a proporcionar estadísticas, Power BI utiliza gráficos y otros recursos visuales para presentar la información de manera clara y precisa. Esto permite a los usuarios comprender mejor los datos y tomar decisiones más informadas. Los gráficos interactivos y los paneles de control personalizados ofrecen miles de combinaciones posibles, lo que permite a las empresas adaptar las visualizaciones a sus necesidades específicas y explorar los datos desde diferentes ángulos.

Uno de los aspectos más destacados de Power BI es su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos de diversas fuentes. Las empresas pueden integrar datos de hojas de cálculo, bases de datos, servicios en la nube y aplicaciones empresariales en un solo lugar. Esta consolidación de datos facilita una visión holística de las operaciones de la empresa, eliminando silos de información y permitiendo una toma de decisiones más coherente y estratégica. Además, Power BI proporciona herramientas de limpieza y transformación de datos, asegurando que la información utilizada sea precisa y esté actualizada.

El impacto de Power BI en la toma de decisiones empresariales es significativo. Al proporcionar acceso en tiempo real a información crítica, permite a los gerentes y ejecutivos reaccionar rápidamente a las condiciones cambiantes del mercado. Por ejemplo, una empresa minorista puede utilizar Power BI para monitorear las ventas diarias y ajustar las estrategias de inventario y marketing en función de las tendencias emergentes. De esta manera, Power BI no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a una mayor agilidad y competitividad en el mercado.

Además, Power BI fomenta una cultura de datos dentro de la organización. Al democratizar el acceso a la información, permite a los empleados de todos los niveles tomar decisiones basadas en datos. Los usuarios pueden crear sus propios informes y dashboards sin necesidad de contar con habilidades avanzadas en análisis de datos, lo que empodera a los equipos y fomenta la colaboración. Esta accesibilidad es fundamental para fomentar la innovación y asegurar que las decisiones estratégicas se basen en información precisa y relevante.

Otra ventaja clave de Power BI es su capacidad de personalización y adaptabilidad. Las empresas pueden diseñar paneles de control que reflejen sus indicadores clave de rendimiento (KPIs) y objetivos estratégicos. Esta personalización asegura que cada departamento tenga acceso a la información más relevante para sus operaciones específicas. Además, Power BI permite la creación de alertas y notificaciones, lo que facilita el monitoreo continuo del rendimiento y el cumplimiento de objetivos.

En términos de presentación de datos, Power BI ofrece una variedad de opciones visuales, desde gráficos de barras y líneas hasta mapas geográficos y gráficos de dispersión. Estas herramientas visuales hacen que los datos sean más comprensibles y atractivos, facilitando la comunicación de insights a los stakeholders. Los gráficos animados y los dashboards interactivos permiten a los usuarios explorar los datos de manera dinámica, lo que puede ser particularmente útil para identificar patrones ocultos y realizar análisis más profundos.

El uso de Power BI en proyectos empresariales ofrece numerosas ventajas, desde la mejora de la toma de decisiones hasta la optimización de procesos y la promoción de una cultura basada en datos. Al transformar datos complejos en visualizaciones claras y accesibles, Power BI ayuda a las empresas a contar historias significativas con sus datos y a tomar decisiones informadas que impulsan el éxito. Esta herramienta no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también proporciona una ventaja competitiva en un entorno empresarial cada vez más dinámico y orientado a los datos.

5. Conclusiones

El uso de la inteligencia empresarial sin duda tiene sus ventajas y muchas veces es la mejor decisión para poder tener una mejoría aceptable dentro de la empresa en cuestión además de que ha transformado significativamente la manera en que las organizaciones gestionan y analizan sus datos.

Si bien el uso de Power BI como solución es muy bueno, aún hay muchas empresas y organizaciones que no tienen idea de la existencia de dichas herramientas ya que no es algo que se pueda ver a simple vista o simplemente debido a la falta de conocimiento de su existencia o incluso a una subestimación de sus beneficios potenciales. Es por eso que es esencial que las organizaciones se mantengan informadas sobre los avances tecnológicos y las herramientas disponibles para poder aprovechar al máximo su potencial ya que la mayoría de las veces herramientas como estas suelen pasar desapercibidas y simplemente nunca se enteran de su

existencia ya no solo como empresa si no como un usuario casual.

La implementación de Power BI no solo mejora la capacidad de análisis y la toma de decisiones, sino que también puede proporcionar una ventaja competitiva significativa dando por supuesto resultados mucho mejores que los que incluso se esperan obtener debido a la facilidad de uso de sus herramientas tanto para consultar la información como para crear reportes y por su puesto no solo de un área en específico, como lo vimos, el uso de la inteligencia empresarial puede proveer soluciones para distintas áreas dentro de la empresa.

Todo esto ha revolucionado la manera en que las empresas pueden utilizar toda la información relevante que se obtiene a través del público general y la de los usuarios de sus productos o servicios según sea el caso con un uso mucho más estratégico y exacto para poder cubrir las necesidades correspondientes.

Para aquellas empresas y organizaciones que aún no han tenido un acercamiento a Power BI, es importante considerar la capacitación y educación en esta área, ofreciendo programas de formación interna sobre el uso de BI y Power BI, esto puede llegar a ser un primer paso efectivo. Además, involucrar a la alta dirección en estos programas puede garantizar que la adopción de estas herramientas sea vista como una prioridad estratégica.

Las barreras para la adopción de herramientas de BI pueden incluir costos iniciales, resistencia al cambio, y una falta de comprensión sobre cómo estas herramientas pueden integrarse en los flujos de trabajo existentes. Sin embargo, los beneficios a largo plazo de la implementación de BI, como una mayor eficiencia operativa, mejores decisiones estratégicas y una mayor capacidad de respuesta a las tendencias del mercado superan con creces los desafíos iniciales.

En conclusión, la inteligencia empresarial y herramientas como Power BI ofrecen a las organizaciones la capacidad de transformar sus datos en información valiosa, mejorando significativamente la toma de decisiones y la eficiencia operativa. Aunque muchas empresas aún no están al tanto de estas herramientas, es fundamental que se mantengan informadas sobre los avances tecnológicos para no perder oportunidades de mejora y ventaja competitiva. La adopción de Power BI puede ser un cambio transformador, democratizando el acceso a los datos y fomentando una cultura de decisiones informadas basada en datos. Con la capacitación adecuada y la integración estratégica, Power BI puede ayudar a cualquier organización a alcanzar nuevos niveles de éxito y eficiencia.

6. Agradecimientos

Agradezco profundamente a todos aquellos que contribuyeron a la realización de este artículo. En especial, a mis asesores académicos por su invaluable guía y apoyo, cuyos conocimientos y consejos fueron fundamentales para completar esta investigación. Agradezco también a mi familia por su constan-

te inspiración, motivación y comprensión durante el desarrollo de este trabajo.

Quiero expresar mi gratitud a la comunidad escolar por brindarme los recursos necesarios y crear un entorno propicio para el aprendizaje y la investigación. Sin su apoyo, este artículo no habría sido posible. Gracias a todos por ser una parte integral de este proyecto.

7. Referencias

- BARC Research. (2021). BI Survey 21: The Customer Verdict. Recuperado de <https://bi-survey.com/>.
- Daniel. (2020, octubre 11). Power BI, la solución de inteligencia empresarial de Microsoft.
- Domo. (2020). Business Intelligence Tools Comparison: Power BI vs Tableau vs QlikView. Recuperado de <https://www.domo.com/learn/business-intelligence-tools-comparison>.
- El auge del Business Intelligence. (2018, mayo 18). Máster en Data Science. <https://www.master-data-scientist.com/auge-del-business-intelligence/>
- edX. (2021). Analyzing and Visualizing Data with Power BI. Recuperado de <https://www.edx.org/course/analyzing-and-visualizing-data-with-power-bi>.
- Formación en ciencia de datos | DataScientest.com; DataScientest. <https://datascientest.com/es/power-bi-es>
- Gartner. (2021). Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms. Recuperado de <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=124A0CMQ0&ct=210505&st=sb>.
- Journal of Information Systems. (2019). The Impact of Business Intelligence on Business Performance: An Empirical Study. Recuperado de <https://doi.org/10.2308/isys-52680>.
- Knight, D., Knight, B., Jorgensen, A., Pearson, M., & Quintana, M. (2018). Microsoft Power BI Complete Reference. McGraw-Hill Education.
- LinkedIn Learning. (2021). Power BI Essential Training. Recuperado de <https://www.linkedin.com/learning/power-bi-essential-training>.
- Microsoft Customer Stories. (2020). How Rockwell Automation Uses Power BI to Drive Data-Driven Decisions. Recuperado de <https://customers.microsoft.com/en-us/story/rockwell-automation-microsoft-power-bi>.
- Microsoft Power BI Community. (n.d.). Microsoft Power BI Community Forum. Recuperado de <https://community.powerbi.com/>.
- Microsoft Power BI Community. (n.d.). Power BI Blog. Recuperado de <https://community.powerbi.com/>.
- Referencia de funciones DAX. (s/f). Microsoft.com. Recuperado el 20 de abril de 2024, de <https://learn.microsoft.com/es-es/dax/dax-function-reference>.
- Sherman, R. (2014). Business Intelligence Guidebook: From Data Integration to Analytics. Morgan Kaufmann.
- Simplilearn. (2020). Microsoft Power BI: The Definitive Guide for Beginners. White Paper. Recuperado de <https://www.simplilearn.com/definitive-guide-to-power-bi-article>.
- TechFunnel. (2020). The Benefits of Business Intelligence Tools: A Comprehensive Guide. Recuperado de <https://www.techfunnel.com/business-intelligence/benefits-of-business-intelligence-tools/>.
- TechTarget. (2020). Top 10 Business Intelligence Trends for 2021. Recuperado de <https://www.techtarget.com/searchbusinessanalytics/top-10-business-intelligence-trends>.
- Towards Data Science. (2021). Power BI for Data Visualization. Recuperado de <https://towardsdatascience.com/power-bi-for-data-visualization-8f85b9273ae>.
- ¿Qué es Power BI?: Ventajas y tipos de licencias. (2023, septiembre 1). EVOTIC | Transformación Digital Inteligente. <https://evotic.es/business-intelligence-bi/que-es-powerbi-ventajas-y-tipos-de-licencias/>

Innovación educativa: Robótica y electromagnetismo respondiendo a los desafíos del futuro

Educational innovation: Robotics and electromagnetics meeting the challenges of the future.

Yohan-Ramón Godoy-Graterol 

"Innovación Tecnológica y Productiva, Liceo José Antonio Abreu, 3150, Trujillo Estado Trujillo, Venezuela

Resumen

Este estudio presenta el desarrollo de un prototipo innovador de brazo robótico móvil autónomo, capaz de manipular objetos metálicos en entornos peligrosos mediante el uso de electromagnetismo. Esta solución tecnológica, diseñada a través de un riguroso proceso experimental, ofrece una respuesta eficaz a desafíos industriales y de emergencia. Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad y la eficiencia del sistema, el cual combina una estructura mecánica robusta con un software de control avanzado. Este proyecto se erige como una herramienta educativa invaluable, fomentando el aprendizaje activo y el desarrollo de habilidades STEM en estudiantes, dando un ejemplo práctico de cómo la tecnología puede resolver problemas reales y complejos.

Palabras clave: Electromagnetismo, Programación informática, Radiactividad, Robótica.

Abstract

This study presents the development of an innovative prototype of an autonomous mobile robotic arm capable of manipulating metal objects in hazardous environments through the use of electromagnetism. This technological solution, designed through a rigorous experimental process, offers an effective response to industrial and emergency challenges. The results obtained demonstrate the feasibility and efficiency of the system, which combines a robust mechanical structure with advanced control software. This project stands as an invaluable educational tool, fostering active learning and the development of STEM skills in students, providing a practical example of how technology can solve real and complex problems.

Keywords: Electromagnetism, Computer Programming, Radioactivity, Robotics.

1. Planteamiento del Problema y Justificación

Los robots, protagonistas de la cuarta revolución industrial, desempeñan un papel cada vez más importante en tareas de alto riesgo, protegiendo la salud y la seguridad de los trabajadores. En este contexto, el auge de la energía nuclear ha impulsado la implementación de rigurosas medidas de seguridad en las centrales nucleares. Aunque el Consejo de Seguridad Nuclear asegura que estas instalaciones son cada vez más seguras, el riesgo de accidentes no puede descartarse por completo. La tragedia de Chernobyl, ocurrida en 1986 (Alcalde, 2024), sirve como un sombrío recordatorio de las graves consecuencias de estos eventos, con millones de

personas expuestas a radiación y estimaciones de hasta 200.000 muertes a largo plazo atribuidas a este desastre.

La relevancia de este proyecto se centra en la prevención y mitigación de las consecuencias de un accidente nuclear en una planta de energía. Ante una emergencia de este tipo, el robot entraría en acción para retirar de manera segura los residuos radiactivos y depositarlos en un contenedor sellado, minimizando así la contaminación del entorno.

Alineado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 9 (Naciones Unidas, 2018), este proyecto promueve la industrialización sostenible y la innovación. Al emplear tecnología robótica para gestionar los residuos nucleares, se contribuye a proteger el medio ambiente y a garantizar la

*Autor para la correspondencia: johannsmat@yahoo.com

Correo electrónico: johannsmat@yahoo.com (Yohan Godoy Graterol).

Historial del manuscrito: recibido el 06/07/2024, última versión-revisada recibida el 07/10/2024, aceptado el 09/10/2024, en línea (postprint) desde el 15/10/2024, publicado el 15/11/2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14189667>



seguridad de las personas. Como señala (Cárdenas, 2019), los avances tecnológicos son fundamentales para encontrar soluciones duraderas a los desafíos ambientales.

Haciendo algunas referencias a investigaciones en el área, se pudo constatar que el trabajo de (Morales et al., 2019), en base al análisis de la estructura de un brazo robótico a través de varias simulaciones, se enfocaron en la cantidad de servomotores a utilizar y la carga máxima a manipular. Para este proyecto, se tomó en cuenta la fuerza electromotriz generada por el electroimán para poder mantener el objeto en un cierto tiempo y el tipo de servomotor para generar mayor torque. En (EGADE, 2012), se propuso el diseño y construcción de un brazo robótico para una empresa de industria automotriz que se encargue de la extracción de las piezas una vez que están vulcanizadas, la cual servirán para el diseño y desarrollo de una celda de manufactura compacta a nivel piloto, para la fabricación de aisladores de vibración. Una vez más, se constata que la industria 4.0 emplea estos tipos de robots para agilizar los tiempos de producción, pero también a no exponer a los seres humanos a tener contacto con materiales a altas temperaturas.

Con este proyecto, el Liceo José Antonio Abreu del Municipio Trujillo, Estado Trujillo, Venezuela, se posiciona a la vanguardia de la educación en ciencia y tecnología. Al aplicar los principios de la robótica educativa, nuestros estudiantes de primer año de media general, con el apoyo de un tutor, han desarrollado una solución innovadora que responde a desafíos reales del mundo cotidiano. Esta iniciativa no solo fomenta el aprendizaje de conceptos físicos, sino que también cultiva la creatividad y el pensamiento crítico en nuestros jóvenes.

Dado la relevancia de los robots móviles autónomos y su potencial para realizar diversas tareas, surge la necesidad de investigar a fondo las diferentes categorías de estos dispositivos. El objetivo principal de esta investigación es responder a las siguientes preguntas:

¿A qué categoría pertenece el robot ideal para el proyecto? Es decir, ¿qué tipo de robot móvil (por ejemplo, industrial, de servicio, educativo) se adapta mejor a las necesidades específicas del proyecto?

¿Cómo puede este robot contribuir al bienestar de la humanidad? ¿Qué tareas podría realizar para mejorar la calidad de vida de las personas?

¿Es factible desarrollar un prototipo a escala real que cumpla con los objetivos planteados? ¿Qué recursos y conocimientos son necesarios para llevar a cabo este proyecto?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general:

Desarrollar un prototipo de brazo robótico móvil autónomo, que utilice el electromagnetismo para manipular objetos metálicos en situaciones que pongan en riesgo la seguridad humana, ofreciendo así una solución tecnológica a problemas industriales y de emergencia.

2.2. Objetivos específicos:

Diseñar una estructura mecánica robusta y versátil capaz de soportar las cargas de trabajo requeridas y permitir una amplia gama de movimientos, garantizando la estabilidad y precisión del brazo robótico durante su operación

Implementar un sistema de control autónomo basado en algoritmos de planificación de movimientos y control de trayectoria, que permita al brazo robótico ejecutar tareas de manipulación de objetos metálicos de manera precisa y eficiente dentro de un espacio de trabajo definido

Desarrollar un prototipo funcional que integre la estructura mecánica y el sistema de control, y validar su desempeño a través de una serie de pruebas rigurosas que verifiquen su capacidad para realizar las tareas programadas de manera confiable y segura

3. Marco Teórico

Los fundamentos teóricos que sustentan esta investigación se presentan a continuación:

3.1 La robótica:

En la figura 1 se muestra el concepto de robótica en un mapa conceptual, que incluye dos ramas importantes para su desarrollo como la programación y electrónica; ésta última es digital puesto que utiliza microcontroladores y tarjetas electrónicas. Estos dispositivos nos permiten conectar los distintos actuadores y sensores para controlar de forma física el robot. Para lograr controlar las distintas partes del robot, es necesario programar las acciones a través de un pseudocódigo representado en un lenguaje.

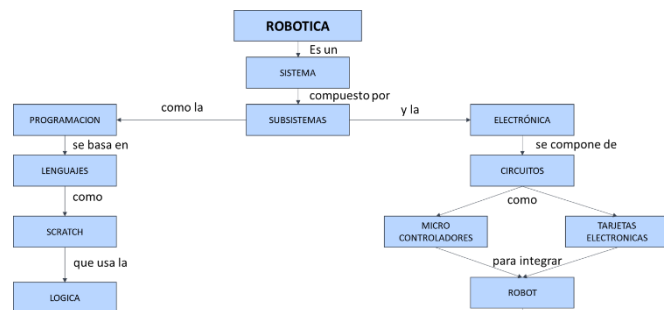


Figura 1: Mapa conceptual sobre la robótica

3.2 la robótica educativa

Es una herramienta de aprendizaje que permite a los estudiantes desarrollar competencias científicas y tecnológicas. Esta estrategia aúna distintas disciplinas y los conocimientos se transmiten de forma transversal, estimulando el pensamiento lógico y computacional, así como la creatividad y otras habilidades técnicas. Esta rama de la tecnología educativa promueve el aprendizaje activo de las materias STEM (Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), suscitando el interés por ellas en los estudiantes.

3.3 Electromagnetismo: origen, funcionamiento y aplicaciones

Hasta 1820 los fenómenos eléctricos y los fenómenos magnéticos estaban considerados como independientes. Como en otros grandes descubrimientos de la historia, una casualidad ayudó a Hans Christian Oersted a descubrir que ambos estaban relacionados, al observar que la orientación de la aguja de una brújula variaba al pasar corriente a través de un conductor próximo a ella. El electromagnetismo es la descripción clásica de la interacción electromagnética, una de las cuatro interacciones fundamentales. Su ámbito es tan amplio que difícilmente podríamos imaginar un área de la Física donde no aparezcan fenómenos electromagnéticos (Khan Academy, 2024). En nuestra vida diaria experimentamos dos fuerzas fundamentales:

1. La fuerza gravitatoria, que nos mantiene unidos a la Tierra y que hace que orbitemos junto con ella alrededor del Sol con un período bien conocido por todos (1 año).

2. La fuerza electromagnética entre objetos cargados, es la fuerza involucrada en las transformaciones física y químicas de átomos y moléculas. Es cuatro veces más intensa que la fuerza gravitatoria y tiene dos sentidos (positivo y negativo). Como se dice comúnmente: cargas opuestas se atraen y cargas iguales se repelen. Sin esta interacción no existirían los átomos; por lo tanto, no existiría el agua para beber ni, muchos menos, nosotros mismos.

Un electroimán se caracteriza, por una parte, por su efecto magnético y por otra parte por depender de una fuente de alimentación de energía eléctrica. Si está desconectado de la fuente eléctrica, su campo magnético desaparece. El tipo de electroimán que se empleó en dicho prototipo es el resistivo. Están compuestos de un hilo conductor que suele ser de cobre enrollado alrededor de un núcleo de hierro. Se genera un campo magnético gracias a la circulación de corriente eléctrica. Un electroimán puede tener numerosos usos y pueden utilizarse en diversos dispositivos, herramientas y sistemas. Por ejemplo: En la robótica y maquinaria, como robots industriales, motores, prensas, electrodomésticos, maquinaria textil y hornos industriales.

3.4 Scratch

Es un lenguaje de programación creado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT). Su característica

principal, es que permite el desarrollo de habilidades mentales mediante el aprendizaje de la programación sin tener conocimientos profundos sobre el código. Lo interesante de este programa, es que las instrucciones o comandos tienen forma de rompecabezas y la misión es armar esas piezas para conseguir una determinada acción, convirtiéndolo en algo parecido a un juego. Algunas de sus ventajas, es desarrollar el pensamiento lógico-matemático, tener la posibilidad de obtener resultados complejos a partir de ideas simples y asumir conceptos matemáticos como: coordenadas, variables, algoritmos, aleatoriedad.

3.5 La energía nuclear

Es la energía que se libera como consecuencia de la reacción que se produce cuando se dividen los núcleos atómicos pesados. Ésta es también denominada Fisión Nuclear. El uranio es uno de los combustibles que permiten que se lleve a cabo este proceso, y es también el más utilizado en la mayoría de los reactores nucleares, por ser uno de los minerales más abundantes en la naturaleza

3.6 Máquina de Control Numérico Computarizado (CNC)

Es aquella máquina en la que pueda implementarse un movimiento automático y programado, para este proyecto se usó una cortadora por láser con la capacidad de controlar dos, tres o más ejes de movimiento mediante motores eléctricos, generalmente motores paso a paso. Según (Bartolomé, 2018) afirma que el “control del movimiento de la herramienta se realiza mediante un código de programación que se genera desde un ordenador, y que un controlador interpreta”.

3.7 Modelo híbrido mobile manipulator

También llamado MoMa, Mobile Cobot o Mobot. El modelo Mobot (Robot móvil), implementado a partir del 2020 son robots que pueden desarrollar acciones que los conduzcan a una tarea deseada, unos actuadores para realizar dichas acciones, unos sensores para captar datos del entorno y así interactuar con éste; ya sea de forma autónoma o semiautónoma. Sus aplicaciones abarcan desde servicios de entrega, automatización de almacenes, vigilancia y exploración, por ejemplo, vehículos guiados autónomos (AGV) en almacenes, robots de reparto, entre otros.

4. Metodología

Este proyecto requerirá un diseño experimental para responder a las preguntas planteadas. Inicialmente, se seleccionarán los materiales más adecuados, considerando su rigidez y versatilidad, para la construcción del prototipo. Posteriormente, se emplearán ecuaciones para determinar la fuerza necesaria del electroimán y definir los parámetros de los componentes electrónicos. Finalmente, se desarrollará la programación del sistema robótico para garantizar su correcto funcionamiento.

Para la construcción del prototipo se requiere de un material sólido y estable como la madera MDF. Para poder trabajar con este tipo de madera fue necesario contar con el apoyo de un tecnólogo de la localidad que trabaja con una máquina de Control Numérico por Computadora (CNC) con la capacidad de cortar madera y otros materiales a través de un diodo láser. La entrevista realizada al tecnólogo (Graterol, 2023), permitió dar a conocer en detalle el funcionamiento de la máquina CNC y sus partes. En la figura 2, se muestra la estructura mecánica del brazo con las partes cortadas, la cual se compone del cuerpo y los brazos con sus articulaciones.

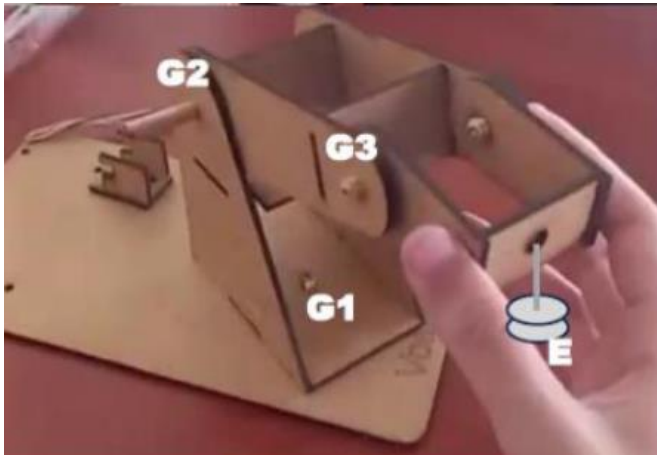


Figura 2: Estructura principal del prototipo con madera MDF y sus articulaciones G1, G2 y G3.

Para dotar al prototipo de movilidad y capacidad de carga, se integraron componentes de un carro robot, como ruedas motrices con Encoder y una rueda loca. Inicialmente, se controló el brazo y el desplazamiento del robot mediante joysticks. Posteriormente, se buscó otorgarle autonomía al sistema, eliminando los joysticks y añadiendo un sensor ultrasónico para permitir la toma de decisiones y la ejecución de tareas de manera autónoma.

Para lograr lo mencionado anteriormente, fue necesario implementar los siguientes componentes electrónicos: Electroimán, protoboard, servomotores SG90 y MG90S, cables jumpers, motores Encoder, motor paso a paso, Arduino UNO R3, Mini UPS PK3, Integrado Shield L293d, Resistencia, Sensor Ultrasonido, Módulo controlador de motores L298N, Módulo relé. En la figura 3, se muestra la evolución del prototipo; ya que posee en su estructura partes de los componentes electrónicos que se mencionaron, cumpliendo las funciones de un robot manipulador con movilidad

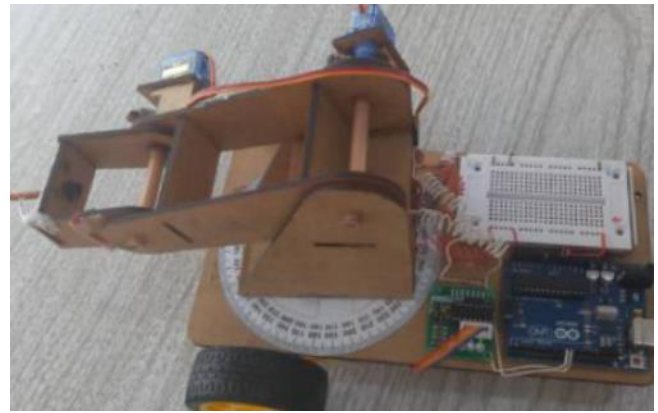


Figura 3: Partes electrónicas incluidas en la estructura del prototipo

Como se pudo observar en la Figura 2, el prototipo posee tres (3) grados de libertad para efectuar movimientos en el robot tanto para la recogida como la colocación de objetos. En la Figura 4, se muestra la libertad de movimiento que se puede obtener con el robot para poder manipular objetos. La primera articulación está ubicada en la base de la estructura, la cual permite que el brazo pueda girar 110° de barrido para abarcar todos los posibles objetos en el suelo. Una segunda articulación permite que el brazo se mueva de forma vertical con un giro de 70° de libertad y la tercera articulación con 20° de libertad para recoger el objeto y separarlo del suelo para su traslado.

El momento inercial producido en la primera articulación ubicada en la base de la estructura es capaz de mover hasta 300g por el motor paso a paso y las dos últimas articulaciones son capaces de mover un objeto de 1,8kg situado a 1 cm del eje. En este caso, cada eslabón está anclado al rotor a una distancia de 3cm del eje, lo que implica que cada articulación puede mover un objeto de 600g.



Figura 4: Grados de libertad de cada articulación del brazo

Cálculos de la fuerza magnetomotriz producido por el electroimán

Dado que el electroimán que se usó en el proyecto fue extraído de un relé de 12v. Se debe tomar en cuenta el número de vueltas de la bobina y la intensidad de corriente que pasa por ella. Empleando la siguiente ecuación, tenemos:

$$F = \frac{\mu N^2 I^2}{2L^2} \quad (1)$$

La ecuación (1) representa la fuerza magnética ejercida por el electroimán. Sustituyendo los valores, tenemos que la permeabilidad del conductor (μ) equivale 0,0000012 H/m. Mientras que la longitud del núcleo ferroso es de 0,18m y la cantidad de vueltas sobre el mismo es de 3000 aproximadamente, pasando una corriente de 0,28A. Finalmente, obtenemos:

$$F = \frac{0.0000012 \text{ H/m} \cdot 3000^2 (0.28\text{A})^2}{2(0.18\text{m})^2} \quad (2)$$

$$F = 13.06 \text{ Tesla/m}^2 \quad (3)$$

Con esta cantidad de fuerza obtenida en (3) es suficiente como para levantar una tuerca. Al alimentar la bobina con 12v la corriente pasa por el conductor, creando un campo magnético inducido, el cual permite atraer objetos metálicos.

La electrónica digital y microcontroladores

La electrónica es una rama de la ingeniería que se dedica al diseño, desarrollo y aplicación de circuitos eléctricos. Estos circuitos, compuestos por componentes activos (diodos, transistores, circuitos integrados) y pasivos (resistores, inductores, condensadores), permiten controlar el flujo de electrones para procesar información, transmitir señales y realizar una amplia variedad de tareas.

En este proyecto se empleó un microcontrolador ATmega328P (Arduino.cc, 2024), programado a través de Arduino IDE, como cerebro del sistema. Esta placa, capaz de procesar tanto señales digitales como analógicas, fue equipada con diversos sensores para interactuar con el entorno. Por ejemplo, se utilizó un sensor ultrasónico, inspirado en el sistema de ecolocalización de los murciélagos, para detectar obstáculos y evitar colisiones. Además, se incorporó un módulo de motores L298N, el cual permitió controlar la velocidad y dirección de los motores DC, brindando movilidad al robot.

La siguiente sección presenta parte de la secuencia de programación que guía al sistema en la ejecución de sus funciones. A través de una lógica bien definida, el sistema es capaz de realizar tareas complejas de manera ordenada y precisa.

```
#include <Servo.h> //incluye la biblioteca de servos
#include <NewPing.h> //para el ultrasonido
Servo servo1x; //crea objeto servo para servo1x
Servo servo2y; //crea objeto servo para servo2y
int i=0;
//pines para el paso a paso
int motorPin1 = 12; //pin8----1N4
int motorPin2 = 11; //pin8----1N3
```

```
int motorPin4 = 9; //pin8----1N1
//pines para motores DC
int motor1Pin1 = 2; //definir motor1 pin1
int motor1Pin2 = 3; //definir motor1 pin2
int motor2Pin1 = 4; //definir motor2 pin1
int motor2Pin2 = 5; //definir motor2 pin2
// Pin para el relé
continua...
```

termina así...

```
// -----CARGAMOS-----
carga();
//giro 180° en unos 3seg
derecha(3000); //enviamos 3seg para el giro
adelante_pared(); //Adelante para conseguir pared
//giro 90° en unos 1.5seg
derecha(1500); //enviamos 1.5seg para el giro
adelante_pared(); //Adelante para conseguir pared
//giro 90° en unos 1.5seg
derecha(1500); //enviamos 1.5seg para el giro
adelante_pared(); //Adelante para conseguir pared
// -----DESCARGAMOS-----
descarga();
//giro 180° en unos 3seg
derecha(3000); //enviamos 3seg para el giro
adelante_pared(); //Adelante para conseguir pared
izquierda(1500);
adelante_pared(); //Adelante para conseguir pared
izquierda(1500);
}
```

5. Resultados y conclusiones

Una vez que la estructura mecánica del robot fue ensamblada y asegurada, se procedió a integrar los componentes electrónicos. Los actuadores, encargados de generar el movimiento, fueron conectados a la placa Arduino a través de una protoboard. Para optimizar esta conexión y prevenir errores, se utilizó previamente el software Tinkercad para diseñar y simular el circuito, garantizando así una disposición eficiente de los componentes.

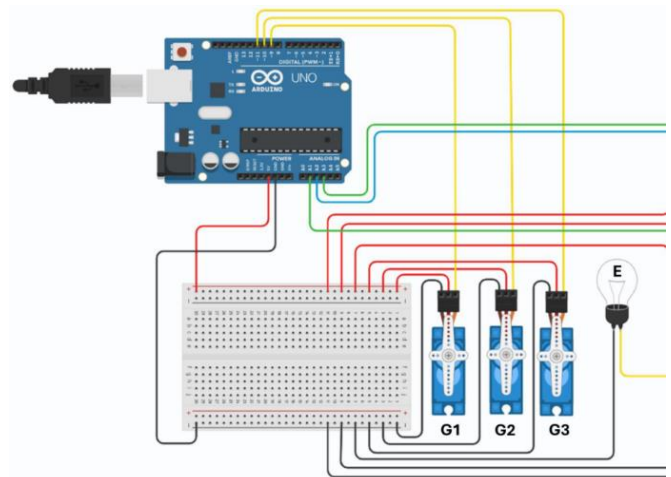


Figura 5: Conexiones de los elementos a la placa Arduino

Como se muestra en la figura 5, el corazón del robot es la placa Arduino, alimentada por un Mini UPS PK3 de 9V DC para garantizar su funcionamiento autónomo. Desde los pines de 5V de Arduino, se suministra energía a la protoboard, la cual a su vez alimenta a los tres servomotores. Para controlar con precisión el movimiento de los servomotores, se utilizan señales PWM provenientes de los pines digitales de Arduino y transmitidas a través de un módulo o una shield. El electroimán, representado por el bombillo en la figura 5, requiere una alimentación externa de 12V DC. Al aplicar una señal al borne SIG del electroimán, este se magnetiza y atrae objetos metálicos, gracias a su conexión a los terminales positivo (VCC) y negativo (GND).

Una vez ensamblada la estructura del robot y conectados todos los componentes electrónicos, se procede a programarlo utilizando la plataforma Visualino. Este entorno de desarrollo visual permite crear programas de manera intuitiva mediante la conexión de bloques de código, similar a armar un rompecabezas. La gran ventaja de Visualino radica en su facilidad de uso, ya que no requiere conocimientos avanzados de programación. Cada bloque representa una función específica y está categorizado por colores, lo que facilita la comprensión y organización del código.



Figura 6: Parte de la programación por bloque en Visualino

La programación gráfica en Visualino, como se muestra en la figura 6, inicia definiendo variables globales para controlar el ángulo de giro de cada servomotor. A continuación, se utilizan bloques matemáticos para asignar los pines PWM

correspondientes a cada servomotor. Para establecer una interacción en tiempo real con el usuario, se conectan los potenciómetros (representados por joysticks) a los pines analógicos de Arduino, permitiendo controlar el ángulo de giro de los servomotores de forma manual. Una vez configurada la lógica de control, Visualino genera automáticamente el código fuente en Arduino, el cual puede ser cargado directamente en la placa para ejecutar el programa.

Una vez cargados los datos en la placa Arduino, el brazo robótico operará de forma autónoma, utilizando un sensor ultrasónico para detectar y evitar obstáculos en su recorrido. Siguiendo la ruta establecida (ver figura 7), el robot se dirigirá al punto de recolección donde se encuentran los residuos ferromagnéticos, simulando los desechos radiactivos. Una vez allí, el brazo manipulará los residuos y los depositará en un contenedor de acopio. Posteriormente, este contenedor será cubierto y sellado para garantizar la contención de la radiactividad y prevenir la contaminación ambiental.

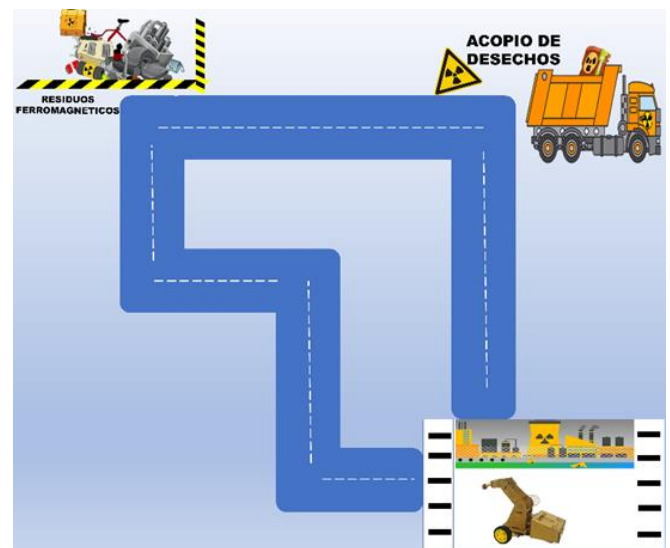


Figura 6: Boceto del circuito a recorrer por el brazo robótico

Como se observa en la figura 7, este robot ha sido diseñado para operar en entornos extremos, como zonas afectadas por desastres nucleares. Su principal función es la manipulación segura de residuos radiactivos, facilitando su traslado a áreas de almacenamiento y contribuyendo así a mitigar los riesgos para la salud humana. Gracias a su diseño colaborativo, inspirado en los Cobots, este robot es capaz de realizar tareas de manipulación con precisión y fuerza, similar a un brazo humano. Para su implementación en equipos de respuesta a emergencias, como los cuerpos de bomberos, es necesario llevar a cabo un exhaustivo estudio de materiales y componentes, priorizando aquellos que garanticen su resistencia a la radiación y su durabilidad en condiciones adversas. Asimismo, se requiere el desarrollo de módulos electrónicos de alta potencia y actuadores capaces de generar un torque elevado en el brazo robótico, a fin de asegurar un desempeño óptimo en las operaciones de rescate.

A manera de reflexión final, la robótica educativa se ha convertido en una herramienta fundamental en la educación actual, fomentando el aprendizaje interdisciplinario y la resolución creativa de problemas. Su impacto es tal que varios países latinoamericanos han incorporado la robótica en sus currículos educativos, desde primaria hasta bachillerato. La programación por bloques y plataformas digitales han facilitado el acceso a esta disciplina, permitiendo a los estudiantes desarrollar habilidades clave para el futuro. Sin embargo, el alto costo de los componentes electrónicos limita el acceso a muchos estudiantes. Es crucial invertir en la dotación de kits de robótica y laboratorios de computación en las instituciones educativas para garantizar un aprendizaje práctico y significativo.

Este tipo de robot presenta un amplio rango de aplicaciones, desde la manipulación de materiales radiactivos en zonas contaminadas hasta la gestión de residuos metálicos en entornos industriales. Su uso podría extenderse a entidades gubernamentales encargadas de la respuesta a emergencias nucleares, permitiendo reducir la exposición de los equipos de rescate a riesgos innecesarios. Para tareas de mayor envergadura, sería necesario implementar electroimanes más potentes capaces de manipular cargas pesadas. La incorporación de estos robots en los arsenales de los cuerpos de bomberos podría revolucionar las operaciones de rescate en situaciones de emergencia, garantizando la seguridad del personal y agilizando las labores de respuesta.

6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de la Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología del Estado Trujillo (FUNDACITE - Trujillo) y la microempresa representada por el tecnólogo Rubén Darío Graterol, Municipio Pampanito Estado Trujillo, Venezuela.

7. Referencias

- Alcalde, S. (26 de Abril de 2024). *Accidente de Chernóbil: 5 datos sobre el desastre nuclear que marcó una época.* (National Geographic España) Retrieved 12 de Julio de 2024, from https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/5-datos-claves-desastre-chernobil_14343
- Arduino.cc. (27 de Julio de 2024). *DOCS. UNO R3:* <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>
- Bartolomé, A. V. (20 de Junio de 2018). *Diseño e implementación de un sistema de un sistema de control numérico.* Lejona, Vizcaya, España.
- Cárdenas, Á. (15 de Marzo de 2019). *Secmotiic. Tecnología para el desarrollo sostenible:* <https://secmotiic.com/tecnologia-para-el-desarrollo-sostenible/>
- EGADE. (2012). *Medición de impacto del Fondo Sectorial de Innovación.* CONACYT.
- Graterol, R. D. (17 de Mayo de 2023). *La máquina de Control Numérico Computarizado y su funcionamiento.* (Y. Godoy, Entrevistador)
- Khan Academy. (10 de Julio de 2024). *Unidad 10: Electromagnetismo:* <https://es.khanacademy.org/science/fisica-pe-pre-u/x4594717deeb98bd3:electromagnetismo>
- Morales, K., Hoyos, C., & García Caicedo, J. (2019). *Diseño y optimización de la estructura mecánica de un brazo robótico antropomórfico desarrollado con fines educativos.* *Revista UIS Ingenierías*, 193-208.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para America Latina y el Caribe.* Santiago: CEPAL.

Informática de materiales en el estudio de propiedades físicas de nanotubos de carbono Materials informatics in the study of physical properties of carbon nanotubes.

Luis Enrique Vivanco-Benavides ^a, Cecilia Mercado-Zúñiga ^b, María Teresa Torres-Mancera ^c, María Yesenia Díaz-Cárdenas ^d

^a TecNM-Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, 55700, Coacalco, Estado de México, México

^b TecNM-Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, Subdirección de Estudios Profesionales C, División de Ingeniería en Materiales, 55700, Coacalco, Estado de México, México

^c TecNM-Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, Subdirección de Estudios Profesionales C, División de Ingeniería Química, 55700, Coacalco, Estado de México, México

^d TecNM-Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, División de Ingeniería Química, 55700, Coacalco, Estado de México, México

Resumen

La informática de materiales (IM) constituye un nuevo paradigma en el estudio de nanomateriales, donde enfoques de aprendizaje automático (AA) se implementan en la nanotecnología. La IM es una poderosa herramienta en el estudio de nanotubos de carbono (NTC), los cuales poseen propiedades físicas excepcionales, llevándolos a ser utilizados en óptica, química, informática y medicina, entre otras áreas. Este trabajo describe las investigaciones más recientes en IM aplicado a los NTC. Se explican detalladamente los algoritmos de AA utilizados en el estudio de NTC, tales como redes neuronales artificiales, árboles de decisión y máquinas de vectores de soporte. Asimismo, se exponen los estudios donde enfoques de simulación computacional han sido útiles para desarrollar modelos predictivos de propiedades y comportamientos de NTC. Se identifican preguntas de investigación abiertas en el análisis de propiedades físicas como la conductividad térmica y los modos vibratorios de NTC, donde la IM podría apoyar para su mayor comprensión, ayudando en el desarrollo de nanosensores. Finalmente, la IM puede ayudar en reducir costos de tiempo y recursos en la caracterización de propiedades físicas de nanomateriales.

Palabras clave: Aprendizaje automático, inteligencia artificial, nanotecnología, nanoestructuras base carbono

Abstract

Materials informatics (MI) constitutes a new paradigm in the study of nanomaterials, where machine learning (ML) approaches are implemented in nanotechnology. IM is a powerful tool in the study of carbon nanotubes (CNTs), which have exceptional physical properties, leading them to be used in optics, chemistry, computing, and medicine, among other areas. This work describes the most recent research in IM applied to CNTs. The ML algorithms used in the NTC study, such as artificial neural networks, decision trees, and support vector machines, are explained in detail. Likewise, studies are presented where computational simulation approaches have been useful in developing predictive models of CNT properties and behaviors. Open research questions are identified in the analysis of physical properties such as thermal conductivity and vibrational modes of CNT, where IM could support their greater understanding, helping in the development of nanosensors. Finally, IM can help in reducing time and resource costs in the characterization of the physical properties of nanomaterials.

Keywords: Machine learning, artificial intelligence, nanotechnology, carbon-based nanostructures

*Autor para la correspondencia: enrique.sic@tesco.edu.mx

Correo electrónico: enrique.sic@tesco.edu.mx (Luis Enrique Vivanco-Benavides), cecilia@tesco.edu.mx (Cecilia Mercado Zúñiga), teresa@tesco.edu.mx (María Teresa Torres Mancera), maria.dc@tesco.edu.mx (María Yesenia Díaz Cárdenas). Esta área se llena cuando el manuscrito se aceptado con los nombres completos y correos de todos los autores.

Historial del manuscrito: recibido el 30/08/2024 última versión-revisada recibida el 20/09/2024, aceptado el 22/09/2024, en línea (postprint) desde el 15/11/2024, publicado el 15/11/2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14193613>



Figura 1: Modelado de un NTCPS mediante el software de simulación Nanotube Modeler.

1. Introducción

Los nanotubos de carbono (NTC) son nanoestructuras cilíndricas únicas, que poseen propiedades excepcionales debido a su morfología (Volder et al., 2013). Su alta resistencia y baja densidad los convierte en unas nanoestructuras prometedoras para su aplicación en diferentes áreas, por lo cual el comprender sus propiedades es sustancial. Existen dos categorías de NTC: los de pared simple (NTCPS), que poseen una sola capa de grafeno enrollada sobre sí misma, y los de pared múltiple (NTCPM), conformados en múltiples capas concéntricas de átomos de carbono dispuestas en forma cilíndrica (Mendoza-Cachú et al., 2018). Los NTCPS poseen una conductividad eléctrica comparable a la del cobre, lo cual los convierte en candidatos ideales para su uso en dispositivos electrónicos a nanoescala, como transistores y sensores. Además, tienen propiedades ópticas que les permite absorber y emitir luz en una amplia gama de longitudes de onda, lo que los hace valiosos en aplicaciones de detección y diagnóstico (Zawadzka et al., 2019). Los NTCPM muestran una resistencia mecánica significativa además de permitir la transferencia de tensiones y la adhesión de otras nanopartículas en su estructura. Estas características les permite ser utilizados en pantallas táctiles, dispositivos de almacenamiento de energía, capacitores y como componentes en dispositivos electrónicos y eléctricos. Otras aplicaciones importantes de los NTCPM se observan en la catálisis, incluida la mejora de reacciones químicas y la producción de hidrógeno. También se investigan como componentes en celdas solares y supercondensadores. Las Figuras 1-2 representan gráficamente un NTCPS y NTCPM respectivamente.

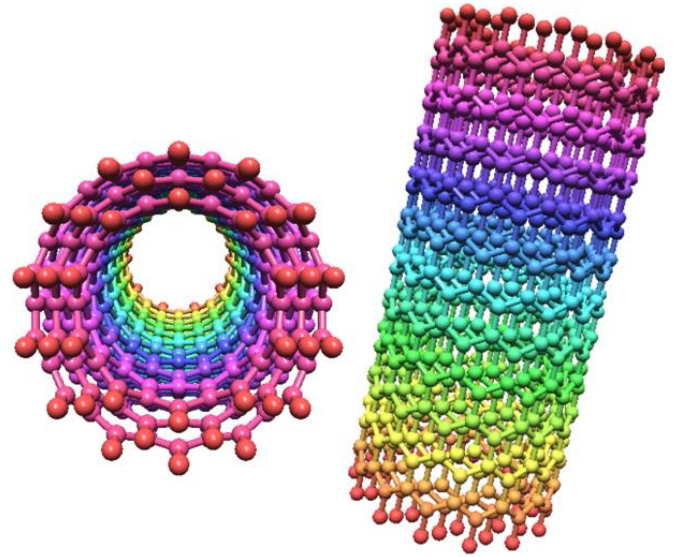
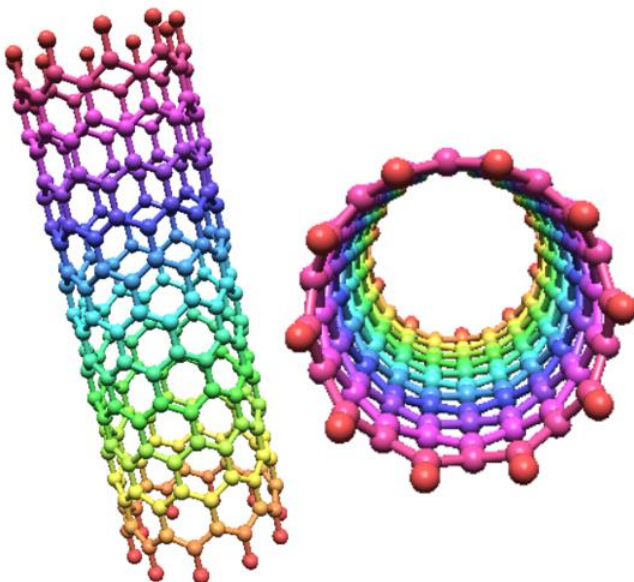


Figura 2: Modelado de un NTCPM mediante el software de simulación Nanotube Modeler.

Debido a sus propiedades y características, los NTC han marcado un antes y un después en el desarrollo de la nanotecnología. A medida que este campo avanza, se buscan métodos más eficientes para el modelado de nanomateriales como los NTC, de forma que se reduzcan costos, así como tiempos de experimentación y desarrollo. Campos como la inteligencia artificial (IA) tienen el potencial de ser la base para comprender a mayor profundidad las propiedades, la morfología y el comportamiento de materiales en a nanoescala. Tal relevancia ha mostrado la IA en la nanotecnología que ha surgido la informática de materiales (IM), área del conocimiento donde enfoques de IA y ciencia de datos interactúan con diferentes subáreas de ciencia de materiales para el estudio, diseño y descubrimiento de materiales (Agrawal & Choudhary, 2016).



La IM ha ayudado a mejorar el aprovechamiento de los datos experimentales, lo cual ha sido un problema que hasta hace poco no se había buscado atender seriamente, sobre todo en los resultados de las técnicas de caracterización, como por ejemplo en la espectroscopia Raman donde la mayor parte del espectro no es aprovechada y podría contener información estructural importante. Esta omisión probablemente se deba a las grandes cantidades de datos generados en los experimentos, a los diferentes formatos en los que estos se presentan y a los extensos repositorios donde pueden concentrarse, además de la alta dimensionalidad que pueden llegar a poseer. Esto representa uno de los desafíos más importantes para la implementación de enfoques computacionales en campos como la nanotecnología. Es aquí donde el descubrimiento de conocimiento en bases de datos o minería de datos, un campo interdisciplinario que fusiona ideas de estadística, aprendizaje automático (AA), bases de datos y computación paralela y distribuida, proporciona una

herramienta única para integrar información científica para el descubrimiento de materiales (Rajan, 2013). La Figura 3 condensa las principales funcionalidades de la IM.

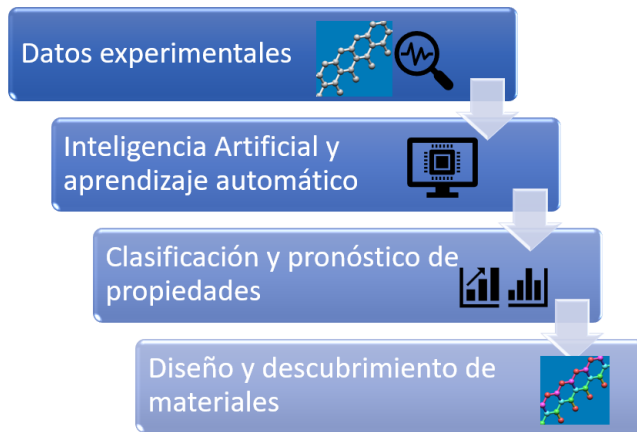


Figura 3: Funcionalidades de la informática de materiales.

En esta revisión, se presentan los últimos avances de la IM en el estudio de las propiedades de los NTC, sus aplicaciones y también, se identifican las preguntas de investigación abiertas existentes en este fascinante campo.

2. Materiales y Métodos

Los artículos seleccionados para esta revisión de literatura corresponden a investigaciones de impacto internacional, publicadas en revistas clasificadas como Journal Citation Report (JCR), de áreas como nanotecnología, ciencia de materiales, química, física, y multidisciplinarias. Dichas revistas pertenecen a editoriales como IOP, Springer y Elsevier.

Los trabajos relacionados con el tema principal de esta investigación son recientes, no mayores a seis años de antigüedad, por lo cual se mantiene la vigencia de las preguntas de investigación abiertas, así como la importancia de la IM en la actualidad. Se excluyeron aquellos manuscritos con poca relevancia en el tema, y cuyas conclusiones eran poco claras o incompletas.

3. Resultados

En la actualidad, los datos poseen un valor trascendental puesto que con ellos es posible el descubrimiento de conocimiento, y son la base para nuevos desarrollos tecnológicos y científicos. En áreas de la ingeniería como la ciencia de materiales, los datos pueden generarse teóricamente mediante métodos computacionales de simulación, y experimentalmente a través de las técnicas de caracterización. Estas últimas permiten extraer datos relacionados con la estructura, propiedades y comportamiento de los nanomateriales (Abad et al., 2017; Scarisoreanu et al., 2019). Los datos se pueden relacionar con factores como son la presión y temperatura (Takdastan et al., 2019), condiciones

de síntesis (Zhu et al., 2019), interacción de un nanomaterial con otras nanopartículas (Karimipour et al., 2019) y respuestas de un nanomaterial en entornos diversos (Ahmadi Azghandi et al., 2017), por mencionar algunos. Los algoritmos de IA y AA utilizan datos como los antes mencionados para lograr un entrenamiento con el cual sea posible generar un modelo capaz de predecir respuestas de un nanomaterial, así como clasificar sus características, logrando un análisis profundo que no sería posible con técnicas de caracterización tradicionales.

Una consideración importante para el rendimiento del AA es la correcta representación de los datos. Es necesario que los datos experimentales sean transformados en valores que los algoritmos inteligentes puedan entender, además de cuidar que esos valores sean relevantes para la problemática de interés. Una correcta preparación de los datos además de la eliminación de valores erróneos es crucial para que el AA obtenga resultados útiles (Pedro, 2012).

3.1 Algoritmos de aprendizaje automático

Diferentes técnicas basadas en IA son utilizadas en el estudio de las nanoestructuras base carbono. Uno de los métodos más utilizados son las redes neuronales artificiales (RNA), las cuales han dado lugar a un gran avance en campos como el pronóstico del clima (Aggarwal, 2015), diagnóstico médico (Cleophas & Zwinderman, 2020), reconocimiento de patrones (Isayev et al., 2019) y recientemente en el modelado de nanomateriales (Cheng et al., 2021). Las RNA están formadas por diferentes capas de neuronas, donde las neuronas de cada capa están completamente conectadas con las neuronas de la siguiente capa. Cada neurona, al recibir suficiente información de las neuronas de su capa anterior, enviará una salida a las neuronas de la siguiente capa. Estos algoritmos son muy efectivos debido a sus importantes capacidades de aprendizaje, generalización y clasificación (Aggarwal, 2018). La capa de entrada contiene d nodos que transmiten las d características $\bar{X} = [x_1 \dots x_d]$ con pesos de $\bar{W} = [w_1 \dots w_d]$ a un nodo de salida. La capa de entrada no realiza ningún cálculo por sí misma. La función lineal $\bar{W} \cdot \bar{X} = \sum_{i=1}^d w_i x_i$ se calcula en el nodo de salida. Posteriormente, se utiliza el signo de este valor real para predecir la variable dependiente de \bar{X} . Por lo tanto, la predicción \hat{y} se calcula como se muestra a continuación (Aggarwal, 2018):

$$\hat{y} = \text{sign} \{ \bar{W} \cdot \bar{X} \} = \text{sign} \{ \sum_{j=1}^d w_j x_j \} \quad (1)$$

La función de signo aporta un valor real a $+1$ o -1 , apropiado para la clasificación binaria. Tenga en cuenta el circunflejo en la parte superior de la variable y para indicar un valor predicho en lugar de un valor observado. Por lo tanto, el error de predicción es $E(\bar{X}) = y - \hat{y}$, que es uno de los valores extraídos del conjunto $\{-2, 0, +2\}$. En los casos en que el valor del error $E(\bar{X})$ es distinto de cero, los pesos en

la RNA deben actualizarse en la dirección (negativa) del gradiente de error.

Una familia de algoritmos de AA que resaltan por su efectividad son los árboles de decisión (AD). Este método compara un atributo numérico o nominal con un conjunto de valores posibles, segmentando a partir de estos hasta encontrar todas las relaciones existentes. Los AD son utilizados como un medio para la representación del conocimiento, además de ser excelentes clasificadores (Cheng et al., 2021). Se ha comprobado su efectividad para la resolución de problemas de optimización combinatoria, geometría computacional y pronóstico de eventos, por nombrar algunos (Hastie et al., 2009). Cuando los AD están orientados a la regresión, su estructura consta de p entradas y una respuesta, para cada una de las N observaciones: es decir, (x_i, y_i) para $i = 1, 2, \dots, N$, con $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$. El algoritmo debe decidir automáticamente las variables de división y los puntos de división y qué topología debe tener el árbol. Si hay una partición en M regiones R_1, R_2, \dots, R_M , y la respuesta se modela como una constante c_m en cada región, entonces (Lin & Fan, 2019):

$$f(x) = \sum_{m=1}^M c_m I(x \in R_m) \quad (2)$$

Si el objetivo es un resultado de clasificación tomando valores $1, 2, \dots, K$, los únicos cambios necesarios en el algoritmo del árbol pertenecen a los criterios para dividir nodos y podar el árbol. En un nodo m , que representa la región R_m con N_m observaciones, sea:

$$\hat{p}_{mk} = \frac{1}{N_m} \sum_{x_i \in R_m} I(y_i = k) \quad (3)$$

a proporción de observaciones de clase k en el nodo m y las observaciones en el nodo m se clasifican en clase $k(m) = \arg \max_k \hat{p}_{mk}$, la clase mayoritaria en el nodo m .

Otro algoritmo de gran importancia son las máquinas de vectores de soporte (MVS), las cuales constituyen un método de optimización no paramétrico de clasificación y regresión donde el espacio de entrada está definido por el dominio de características, ajustándose posteriormente a través de la optimización de vectores, buscando un hiperplano de separación entre clases de datos etiquetados (Ziari et al., 2018). El hiperplano es un subespacio plano de dimensión $p-1$ en un espacio de dimensión p , y la distancia perpendicular más pequeña desde cada entrada en la muestra de entrenamiento (los vectores de soporte) al hiperplano es el margen. La MVS busca el hiperplano con el margen máximo entre todos los hiperplanos que separan las clases hasta encontrar el mejor ajuste. El problema de maximización se presenta de la siguiente manera:

$$\max_{\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n} M \quad (4)$$

$$\text{sujeto a } \sum_{i=1}^n \beta_i^2 = 1 \quad (5)$$

$$y_j(\beta_0 + \beta_1 x_{j1} + \beta_2 x_{j2} + \dots + \beta_n x_{jn}) \geq M \quad \forall j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

dónde M es el margen, $x_1, \dots, x_m \in \mathbb{R}^n$ y y_1, \dots, y_m son las etiquetas de clase.

3.2 Aprendizaje automático en el estudio de nanotubos de carbono

Los enfoques de IA adoptados en IM han demostrado una enorme capacidad en el análisis predictivo de propiedades físicas de NTC. La predicción de parámetros físicos y químicos en los nanomateriales es un desafío donde la IM ha tenido procesos relevantes (Unke et al., 2021). Ya se han presentado investigaciones de índole predictivo en problemáticas de la nanotecnología y ciencia de materiales con resultados fascinantes (Ni et al., 2021). Se han desarrollado modelos predictivos para estudiar la adsorción de hidrógeno en NTCPS con niveles de error sumamente bajos (Nasruddin et al., 2018). Las técnicas de IM ayudan a la predicción de propiedades del electrocatalizador en nanomallas de grafeno (Xia et al., 2022). Afrand et al. (2016) diseñaron una RNA para pronosticar la viscosidad relativa en NTCPM en nanofluidos, demostrando ser un método óptimo para esta tarea.

Los modelos de AA ayudan a estudiar a profundidad propiedades físicas y estructurales de los NTC. Este tipo de modelos ha servido para predecir coordenadas atómicas de NTC con una precisión del 99% (Acı y Avcı, 2016). Determinar los índices quirales de NTC también ha sido posible gracias al AA (Förster et al., 2020). Un modelo de RNA se utilizó para lograr una caracterización acelerada de NTC a partir de imágenes Raman (Kajendirarajah et al., 2020). Los AD evidenciaron su utilidad al buscar la calibración de sensores electrónicos basados en NTC (Bian et al., 2021). Asimismo, las MVS presentaron un alto nivel de precisión en la predicción de la eliminación de un fármaco al magnetizar NTCPM en una solución acuosa (Yousefi et al., 2021). Un caso interesante fue el de Baghban et al. (2019), quienes ocuparon modelos de RNA y MVS para estudiar la concentración volumétrica de intercambiadores de calor de bobina en presencia de NTC. De manera similar, se ha utilizado modelos de RNA y MVS para predecir la conductividad térmica de NTCPM con altos niveles de eficiencia (Karimipour et al., 2019).

La simulación computacional también ofrece un conjunto de herramientas que pueden potenciar el estudio de los NTC. La representación de datos teóricos y experimentales en algoritmos de IA es un importante hito en la IM (Hart et al., 2021). Las simulaciones en dinámica molecular han comenzado a tomar relevancia en varias áreas de la nanotecnología (Husch et al., 2021). Enfoques de simulación y de IA prometen ser un pilar de progreso para la caracterización de estructuras de baja dimensión (Poltavsky &

Tkatchenko, 2021). Farahbakhsh et al. (2019) propusieron un modelo de simulación para análisis de comportamiento de atributos en NTCPM utilizando algoritmos de IA. También se ha logrado la detección virtual de nanopartículas y el desarrollo de nuevos nanodescriptores universales mediante IA (Yan et al., 2019). En otro contexto, fue posible modelar mediante simulación baterías lo cual redujo la carga computacional en varios ordenes de magnitud (Wu et al., 2018). La combinación de la simulación por computadora y la IA presentan una utilidad altamente significativa para la comprensión del comportamiento de los NTC y otros nanomateriales.

4. Discusión

Los estudios respecto a las propiedades físicas de los NTC y otros nanomateriales mediante IA representan un nuevo paradigma de caracterización. Sin embargo, aún quedan preguntas de investigación abiertas en estos campos.

Un aspecto destacado es la capacidad de la IM para impulsar el diseño y la optimización de NTC con propiedades específicas. La predicción de propiedades a partir de la estructura atómica ha allanado el camino para la creación de NTC con características personalizadas para aplicaciones específicas. Desde la búsqueda de estructuras que maximicen la conductividad térmica, mecánica y eléctrica hasta la identificación de nanotubos con propiedades de absorción ideales para aplicaciones de sensores, la IM ha permitido un enfoque más racional en el diseño de materiales a nanoescala. Se ha estudiado mediante enfoques de simulación y AA los efectos de la funcionalización de NTC en las propiedades mecánicas del vidrio metálico, obteniendo información acerca de la conductividad térmica de los NTC cuando interactúa con este material (Sharma et al., 2020). Es necesario comparar los resultados de los enfoques de dinámica molecular con los generados por AA para verificar si es posible que se complementen entre sí o saber cuál es más eficiente para estudiar las propiedades térmicas.

El estudio de las propiedades de los NTC necesita procesos de experimentación que conlleva importantes implicaciones de tiempo y recursos. El uso de modelos de simulación y AA ayudaría a reducir estos problemas sin sacrificar la calidad experimental. Con la ayuda de un modelo de AA, fue posible pronosticar la conductividad eléctrica de NTC, además, dicho modelo puede usarse para cualquier compuesto de polímero con NTC (Matos et al., 2019). Una de las preguntas de investigación abierta es la relacionada con las propiedades mecánicas de los NTC, y con el análisis de sus modos vibratorios mediante AA. Se han utilizado cálculos basados en interacciones de Van der Waals para predecir comportamientos vibratorios en NTCPM (Jiang & Wang, 2017), además, se han implementado simulaciones de dinámica molecular para estudiar el comportamiento vibratorio de NTCPS en interacción con otras nanopartículas (Ajori et al., 2018). Faltaría desarrollar modelos predictivos

de AA con altos niveles de eficiencia para lograr comprender más a fondo las propiedades vibratorias de los NTC en diversos entornos y en interacción con otros nanomateriales. Al hacerlo, sería posible mejorar el desarrollo de nanosensores con aplicaciones en diferentes áreas, donde la comprensión del comportamiento vibratorio de los NTC es crucial para estos desarrollos tecnológicos.

A pesar de los avances significativos, la aplicación de la IM en el estudio de propiedades físicas de los NTC no está exenta de desafíos. La precisión de los modelos y la validez de los resultados continúan siendo cuestiones críticas. Los datos experimentales y teóricos utilizados para entrenar los modelos deben ser rigurosamente seleccionados y validados para garantizar la confiabilidad de las predicciones. Además, la naturaleza multidimensional y compleja de las propiedades de los NTC requiere modelos más sofisticados y la consideración de múltiples factores interdependientes.

5. Conclusiones

La IM ha demostrado ser una herramienta invaluable para caracterizar propiedades físicas de los NTC con un nivel de detalle sin precedentes. Las técnicas de simulación y modelado con IA han permitido analizar propiedades como la conductividad eléctrica, la conductividad térmica y la resistencia mecánica en función de diversos parámetros, como la estructura química y la quiralidad de los NTC. Esto ha permitido una comprensión más profunda de cómo estos factores influyen en las propiedades macroscópicas y ha revelado relaciones que pueden no ser evidentes en los enfoques experimentales tradicionales.

Es posible destacar que las consideraciones desde la perspectiva de los métodos computacionales de la IM deben ser abordadas. Asimismo, el rendimiento de los algoritmos de IA puede considerarse sumamente útil para los cálculos teóricos, ofreciendo oportunidades atractivas para la investigación experimental. Es importante destacar que el éxito continuo de la informática de materiales en el estudio de propiedades físicas de los NTC requerirá una colaboración interdisciplinaria sólida. La cooperación entre expertos en física de materiales, química, informática y otras disciplinas es esencial para garantizar la precisión, relevancia y aplicabilidad de los resultados.

A pesar de los desafíos, el potencial de la IM en el estudio de propiedades físicas de los NTC es innegable. A medida que los métodos computacionales y las capacidades de modelado continúan mejorando, es posible anticipar un aumento en la precisión y la aplicabilidad de los resultados de la IM en este campo. Esto puede llevar a avances notables en áreas como la electrónica a nanoescala, los materiales compuestos avanzados y la nanomedicina.

6. Referencias

Abad, S. N. K., Ganjeh, E., Zolriasatein, A., Shabani-Nia, F., & Siadati, M.

- H. (2017). Predicting carbon nanotube diameter using artificial neural network along with characterization and field emission measurement. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction A: Science*, 41(1), 151–163. <https://doi.org/10.1007/s40995-017-0198-9>
- Acı, M., & Avcı, M. (2016). Artificial neural network approach for atomic coordinate prediction of carbon nanotubes. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 122(7). <https://doi.org/10.1007/s00339-016-0153-1>
- Afrand, M., Ahmadi Nadooshan, A., Hassani, M., Yarmand, H., & Dahari, M. (2016). Predicting the viscosity of multi-walled carbon nanotubes/water nanofluid by developing an optimal artificial neural network based on experimental data. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 77, 49–53. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.07.008>
- Aggarwal, C. C. (2015). Data mining: The textbook. In *Springer* (Vol. 1, Issue 3). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14142-8>
- Aggarwal, C. C. (2018). Neural Networks and Deep Learning. In *Neural Networks and Deep Learning*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94463-0>
- Agrawal, A., & Choudhary, A. (2016). Perspective: Materials informatics and big data: Realization of the “fourth paradigm” of science in materials science. *APL Materials*, 4(5), 1–10. <https://doi.org/10.1063/1.4946894>
- Ahmadi Azqhandi, M. H., Ghaedi, M., Yousefi, F., & Jamshidi, M. (2017). Application of random forest, radial basis function neural networks and central composite design for modeling and/or optimization of the ultrasonic assisted adsorption of brilliant green on ZnS-NP-AC. *Journal of Colloid and Interface Science*, 505, 278–292. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.05.098>
- Ajori, S., Parsapour, H., & Ansari, R. (2018). Vibrational analysis of single-walled carbon nanotubes filled with gold nanowires using MD simulations. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 104(April), 327–332. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2018.08.005>
- Baghban, A., Kahani, M., Nazari, M. A., Ahmadi, M. H., & Yan, W. M. (2019). Sensitivity analysis and application of machine learning methods to predict the heat transfer performance of CNT/water nanofluid flows through coils. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 128, 825–835. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.09.041>
- Bian, L., Wang, Z., White, D. L., & Star, A. (2021). Machine learning-assisted calibration of Hg²⁺ sensors based on carbon nanotube field-effect transistors. *Biosensors and Bioelectronics*, 180(February), 113085. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2021.113085>
- Cheng, Y., Wang, T., & Gang, Z. (2021). Artificial intelligence for materials science. In *Springer* (1st ed., Vol. 1, Issue 1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-68310-8>
- Cleophas, T. J., & Zwinderman, A. H. (2020). Machine learning in medicine - a complete overview. In *Machine Learning in Medicine - A Complete Overview*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-33970-8>
- Farahbakhsh, J., Delnavaz, M., & Vatanpour, V. (2019). Simulation and characterization of novel reverse osmosis membrane prepared by blending polypyrrole coated multiwalled carbon nanotubes for brackish water desalination and antifouling properties using artificial neural networks. *Journal of Membrane Science*, 123–138. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.03.050>
- Förster, G. D., Castan, A., Loiseau, A., Nelayah, J., Alloyeau, D., Fossard, F., Bichara, C., & Amara, H. (2020). A deep learning approach for determining the chiral indices of carbon nanotubes from high-resolution transmission electron microscopy images. *Carbon*, 169, 465–474. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.06.086>
- Hart, G. L. W., Mueller, T., Toher, C., & Curtarolo, S. (2021). Machine learning for alloys. *Nature Reviews Materials*, 6(8), 730–755. <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00340-w>
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). The Elements of Statistical Learning Data mining, Inference and Prediction. In *Springer* (2nd ed.). Springer-Verlag New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7>
- Husch, T., Sun, J., Cheng, L., Lee, S. J. R., & Miller, T. F. (2021). Improved accuracy and transferability of molecular-orbital-based machine learning: Organics, transition-metal complexes, non-covalent interactions, and transition states. *Journal of Chemical Physics*, 154(6). <https://doi.org/10.1063/5.0032362>
- Isayev, O., Tropsha, A., & Curtarolo, S. (2019). Materials informatics: Methods, tools and applications. In O. Isayev, A. Tropsha, & S. Curtarolo (Eds.), *Wiley-VCH* (Vol. 1). Wiley-VCH. <https://doi.org/10.1002/9783527802265>
- Jiang, J., & Wang, L. (2017). Timoshenko beam model for vibrational analysis of double-walled carbon nanotubes bridged on substrate. *Current Applied Physics*, 17(12), 1670–1690. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2017.09.007>
- Kajendrarajah, U., Olivia Avilés, M., & Lagugné-Labarthe, F. (2020). Deciphering tip-enhanced Raman imaging of carbon nanotubes with deep learning neural networks. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 22(32), 17857–17866. <https://doi.org/10.1039/D0CP02950E>
- Karimipour, A., Bagherzadeh, S. A., Taghipour, A., Abdollahi, A., & Safaei, M. R. (2019). A novel nonlinear regression model of SVR as a substitute for ANN to predict conductivity of MWCNT-CuO/water hybrid nanofluid based on empirical data. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 521, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.01.055>
- Lin, C. L., & Fan, C. L. (2019). Evaluation of CART, CHAID, and QUEST algorithms: a case study of construction defects in Taiwan. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 18(6), 539–553. <https://doi.org/10.1080/13467581.2019.1696203>
- Matos, M. A. S., Pinho, S. T., & Tagarielli, V. L. (2019). Predictions of the electrical conductivity of composites of polymers and carbon nanotubes by an artificial neural network. *Scripta Materialia*, 166, 117–121. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2019.03.003>
- Mendoza-Cachú, D., López-Miranda, J. L., Mercado-Zúñiga, C., & Rosas, G. (2018). Functionalization of MWCNTs with Ag-AuNPs by a green method and their catalytic properties. *Diamond and Related Materials*, 84, 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2018.03.004>
- Nasruddin, Lestari, M., Supriyadi, & Sholahudin. (2018). Optimization Study of Hydrogen Gas Adsorption on Zig-zag Single-walled Carbon Nanotubes: The Artificial Neural Network Analysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 333(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/333/1/012031>
- Ni, D., Wu, W., Guo, Y., Gong, S., & Wang, Q. (2021). Identifying key parameters for predicting materials with low defect generation efficiency by machine learning. *Computational Materials Science*, 191(February), 110306. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2021.110306>
- Pedro, D. (2012). A Few Useful Things to Know About Machine Learning. *Communications of the ACM*, 55(10), 9–48. <https://doi.org/10.1145/2347736.2347755>
- Poltavsky, I., & Tkatchenko, A. (2021). Machine Learning Force Fields: Recent Advances and Remaining Challenges. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 12(28), 6551–6564. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcclett.1c01204>
- Rajan, K. (2013). Materials Informatics: An Introduction. In *Informatics for Materials Science and Engineering: Data-Driven Discovery for Accelerated Experimentation and Application* (pp. 1–16). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394399-6.00001-1>
- Scarisoreanu, M., Ilie, A., Dutu, E., Badoi, A., Dumitrache, F., Tanasa, E., Mihailescu, C. N., & Mihailescu, I. (2019). Direct nanocrystallite size investigation in microstrained mixed phase TiO₂ nanoparticles by PCA of Raman spectra. *Applied Surface Science*, 470(June 2018), 507–519. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.11.122>
- Sharma, S., Tiwari, S. K., & Shakya, S. (2020). Mechanical properties and thermal conductivity of pristine and functionalized carbon nanotube reinforced metallic glass composites: A molecular dynamics approach. *Defence Technology*, xxx. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2020.04.004>
- Takdastan, A., Samarbaf, S., Tahmasebi, Y., Alavi, N., & Babaei, A. A. (2019). Alkali modified oak waste residues as a cost-effective adsorbent for enhanced removal of cadmium from water: Isotherm, kinetic, thermodynamic and artificial neural network modeling. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 78, 352–363. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.05.034>
- Unke, O. T., Chmiela, S., Sauceda, H. E., Gastegger, M., Poltavsky, I., Schütt, K. T., Tkatchenko, A., & Müller, K. R. (2021). Machine Learning Force Fields. *Chemical Reviews*. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c01111>
- Volder, M. F. L., Tawfick, H. S., Baughman, R. H., & Hart, A. J. (2013). Carbon Nanotubes: Present and Future duction, CNT powders have

- already been incorporated in many commercial applications and are now Commercial Applications. *Science*, 339(6119), 535–539. <https://doi.org/10.1126/science.1222453>
- Wu, B., Han, S., Shin, K. G., & Lu, W. (2018). Application of artificial neural networks in design of lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 395(April), 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.05.040>
- Xia, W., Hou, Z., Tang, J., Li, J., Chaikittisilp, W., Kim, Y., Muraoka, K., Zhang, H., He, J., Han, B., & Yamauchi, Y. (2022). Materials informatics-guided superior electrocatalyst: A case of pyrolysis-free single-atom coordinated with N-graphene nanomesh. *Nano Energy*, 94(December 2021), 106868. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.106868>
- Yan, X., Sedykh, A., Wang, W., Zhao, X., Yan, B., & Zhu, H. (2019). In silico profiling nanoparticles: Predictive nanomodeling using universal nanodescriptors and various machine learning approaches. *Nanoscale*, 11(17), 8352–8362. <https://doi.org/10.1039/c9nr00844f>
- Yousefi, M., Gholami, M., Oskoei, V., & Akbar, A. (2021). Comparison of LSSVM and RSM in simulating the removal of ciprofloxacin from aqueous solutions using magnetization of functionalized multi-walled carbon nanotubes: Process optimization using GA and RSM techniques. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105677. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105677>
- Zawadzka, A., Plóciennik, P., Korcala, A., & Szroeder, P. (2019). Optical properties of chiral single-walled carbon nanotubes thin films. *Optical Materials*, 96(August). <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.109295>
- Zhu, X., Wang, X., & Ok, Y. S. (2019). The application of machine learning methods for prediction of metal sorption onto biochars. *Journal of Hazardous Materials*, 378(May), 120727. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.06.004>
- Ziari, H., Amini, A., Goli, A., & Mirzaeiyan, D. (2018). Predicting rutting performance of carbon nano tube (CNT) asphalt binders using regression models and neural networks. *Construction and Building Materials*, 160, 415–426. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.071>

Germinación de semillas utilizando campos electromagnéticos

Seed germination using electromagnetic fields

Javier Norberto Gutiérrez Villegas¹, Gutiérrez Villegas², Gutiérrez Villegas², Víctor Hugo Martínez Flores³, Esiquio Martín Gutiérrez Armentas⁴, Marco Antonio Gutiérrez Villegas⁵, Liliana Niño Monroy⁶

¹ Departamento Académico de Programación, cetis119-DGETI, México

² División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tese - Tecnm, México

³ Departamento Académico de Programación, cetis119-DGETI, México

^{4,5} Departamento de Sistemas, Área de Sistemas Computaciones, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, México

⁶ Departamento Académico de Programación, cetis119-DGETI, México

Resumen

En la actualidad con la globalización mundial y con la explosión demográfica se requiere la utilización de nuevas técnicas que se utilicen para el cultivo rápido y eficiente de diferentes semillas de consumo humano. Por tal motivo en este trabajo se presenta un estudio experimental, sobre el comportamiento de la germinación de semillas de frijol, que permita satisfacer las necesidades de alimentación a un nivel nacional y mundial. Con la utilización de nuevas tecnologías tales como son el Arduino junto con un irradiador magnético se evaluará el comportamiento de las semillas de frijol a la exposición de un campo magnético.

El presente trabajo se realizó durante un periodo de una semana de experimentación y recopilación de pruebas. Con el cual se aporta una rápida germinación en las semillas de frijol la “La llamada velocidad de emergencia”, la cual en el sector agropecuario será de mucha utilidad ya que el tiempo de germinación es menor. Se utilizará el simulador “SPSS” para hacer las estadísticas de crecimiento.

Palabras clave: Arduino, SPSS, campos electromagnéticos

Abstract

Nowadays, with globalization and the demographic explosion, the use of new techniques is required for the rapid and efficient cultivation of different seeds for human consumption. For this reason, this work presents an experimental study on the behavior of bean seed germination, which allows satisfying food needs at a national and global level. With the use of new technologies such as the Arduino together with a magnetic irradiator, the behavior of bean seeds when exposed to a magnetic field will be evaluated.

This work was carried during a period of one week of experimentation and evidence collection. With which rapid germination is provided in bean seeds, the “so-called emergency speed”, which in the agricultural sector will be very useful since the germination time is shorter. The “SPSS” simulator will be used to create growth statistics.

Keywords: Arduino, SPSS, electromagnetic fields

periodo de descanso extendido o adicional desarrollo antes de la germinación.

1. Introducción

El campo electromagnético aumenta el transporte del calcio a través de membranas celulares, se ha observado que algunas semillas son capaces de la germinación solamente pocos días después de la fertilización y mucho antes de que el tiempo de cosecha normal; otros son inactivos y requieren un

El campo magnético y eléctrico puede proporcionar una solución factible del no-producto químico en agricultura, al mismo tiempo ofrece ventajas para proteger el ambiente y también la seguridad para el aplicador.

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

Correo electrónico: victorhugo.martinez.ce119@dgeti.sems.gob.mx (Víctor Hugo Martínez Flores), emga@azc.uam.mx (Esiquio Martí Gutiérrez Armenta), magv@correo.azc.uam.mx (Marco Antonio Gutiérrez Villegas), iigb@hotmail.com (Israel Isaac Gutiérrez Villegas), javiernorberto.gutierrez.ce119@dgeti.sems.gob.mx (Javier Norberto Gutiérrez Villegas), Liliana.nino.ce119@dgeti.sems.gob.mx (Liliana Niño Monroy).

En ensayos de germinación realizados en laboratorio, sometiendo semillas de varias plantas a un campo magnético estático, se ha comprobado que aumenta su velocidad de germinación y el porcentaje de semillas germinadas; mientras en experimentos de crecimiento, se ha visto que las plantas expuestas desarrollan mayor longitud y peso.

Es bien sabido que la radiación de varias longitudes de onda influencia el crecimiento de plantas y de otros organismos de varias maneras. El campo magnético de la tierra influencia el movimiento y la absorción de elementos.

El objeto del actual trabajo se enfocará a realizar una propuesta de un modelo que permita investigar efectos de la exposición del campo magnético y eléctrico sobre la germinación de la semilla a través de la utilización de imanes junto con un irradiador magnético que se creará.

2. Planteamiento del problema

En la actualidad con la globalización se requiere utilizar otro tipo de técnicas en la germinación de semillas, para poder satisfacer las necesidades de frijol de la alta demanda de la población a nivel nacional en México, por lo cual se justifica la utilización de campos magnéticos para acelerar el proceso de la germinación de la semilla de frijol, con este tipo de prototipo se pretende que en cada una de las casas se pueda contar con un sembradío de techo verde, para su consumo familiar y así mismo no gastar tanto dinero y consumir productos libres de pesticidas.

El prototipo tecnológico se apega a las normas mexicanas para el consumo humano como lo es la norma: “NMX-FF-038-SCFI-2016. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. leguminosas. frijol (phaseolus vulgarisl.) y la norma de uso de suelo “Norma Oficial Mexicana NOM-020-SEMARNAT-2001, Que establece los procedimientos y lineamientos que se deberán observar para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales de pastoreo”

Las semillas vivas que no germinan fácilmente se conocen como latentes y en algunas ocasiones requieren tratamientos especiales para hacerlo. Hay especies para las que se desconoce la manera como logran la germinación e incluso se ignoran con frecuencia los mecanismos que convierten en latentes las semillas de una especie determinada.

Con el propósito de desarrollar nuevas tecnologías que contribuyan al mejoramiento de la germinación, este trabajo examinó el efecto de campos magnéticos con intensidades de 2500 Gauss generados por un irradiador magnético controlado por Arduino, sobre la germinación de semillas de Frijol.

Las semillas fueron expuestas a los campos magnéticos durante periodos de tiempo de 4 y 24 Horas.

Asimismo, considerando lo antes mencionado, se tendrá que contestar las siguientes preguntas de investigación:

¿Qué campo electromagnético genera mayor crecimiento en la germinación de la semilla?

¿Qué tipo de semilla es la más óptima para poder utilizar campos electromagnéticos?

¿La producción de frijol estará orientada a cubrir las necesidades de la población en México?

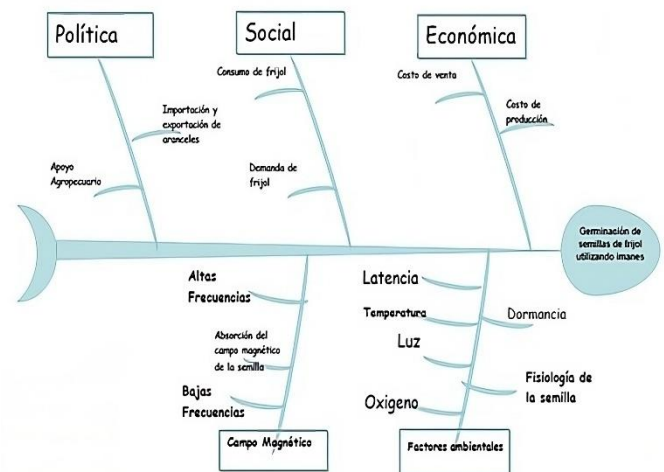
¿La utilización de este proceso generara mayor producción de frijol abajo costo?

¿Se podrá satisfacer el 70 % de la producción de frijol en México?

¿Se puede reducir el tiempo para la cosecha?

3. Delimitación de la problemática:

A continuación, se muestra el pescado de causa-efecto donde se muestra los factores que afectan directamente a la germinación de semillas de frijol utilizando campos magnéticos con un irradiador electromagnético controlado por Arduino, en la política el apoyo agropecuario, en el contexto social consumo de frijol y la demanda del frijol, económica, costo de venta y costo de producción, los factores ambientales como la latencia, temperatura, dormancia, luz, fisiología de la semilla y oxígeno.



Variables

Factores que afectan la germinación:

Factores internos (Intrínsecos) propios de la semilla; madurez y viabilidad de las semillas.

Factores externos (extrínsecos): dependen del ambiente; agua, temperatura y gases.

Un campo electromagnético es el campo de fuerza creado en torno a una corriente eléctrica; está compuesto por un campo eléctrico y un campo magnético.

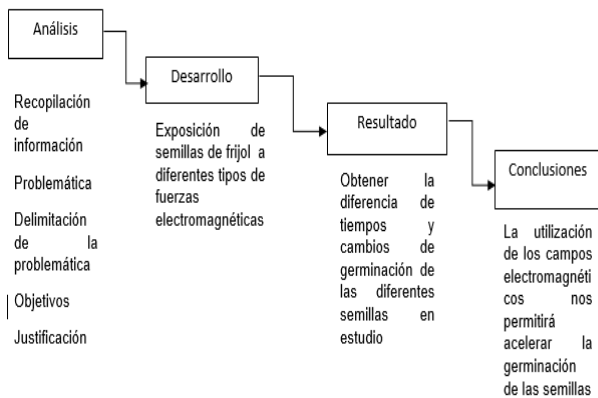
Hipótesis

La semilla de frijol por sus condiciones fisiológicas es la más óptima para la germinación al utilizar campos electromagnéticos de 2500 gauss. Al tener una germinación más rápida, el tiempo para la cosecha es menor.

4. Materiales y Método

Durante la investigación se utilizará la siguiente metodología en cascada y se indica las actividades que se realizarán en cada una de las fases. Como se puede observar en la figura 1 se muestra en la fase de análisis las actividades que se desarrollarán en el análisis recopilación de la información, problemática, delimitación de la problemática, objetivos y justificación en la parte del desarrollo exposición de semillas de frijol a diferentes tipos de fuerzas electromagnéticas. En el resultado obtener la diferencia de tiempos y cambios de germinación de las diferentes semillas en estudio en las conclusiones la utilización de los campos electromagnéticos nos permitirá acelerar la germinación de las semillas. A continuación en la figura 1 se muestra la metodología de investigación en cascada que se va a utilizar para el desarrollo de la investigación.

Fig. 1 Metodología para la solución de la problemática propuesta



Fuente: Elaboración propia del autor.

Materiales utilizados

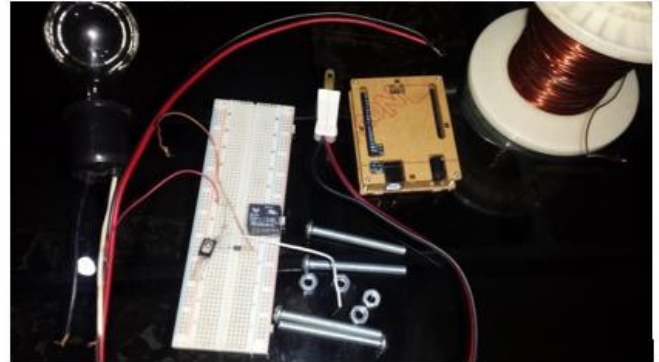
Componentes utilizados:

- a) Arduino uno
- b) Módulo Sensor Humedad De Temperatura Digital
- c) Display para Arduino
- d) Adaptador Lcd I2c
- e) Modulo Relevador 2 Canales
- f) Mini Protoboard De 170 Puntos
- g) Cable Jumpers Dupont H-h, M-m, H-m para Arduino
- h) Alambre Magneto Calibre 20
- i) Tornillos de dos y media pulgadas
- j) Tuercas
- k) Socket con foco
- l) Extensión de luz
- m) Eliminador de 12 volts

- n) Cajas de Petri
- o) Caja de acrílico a medida

En la figura 2 se muestran los materiales utilizados para el desarrollo del prototipo germinador de semillas.

Fig. 2 Materiales a utilizar bobina.

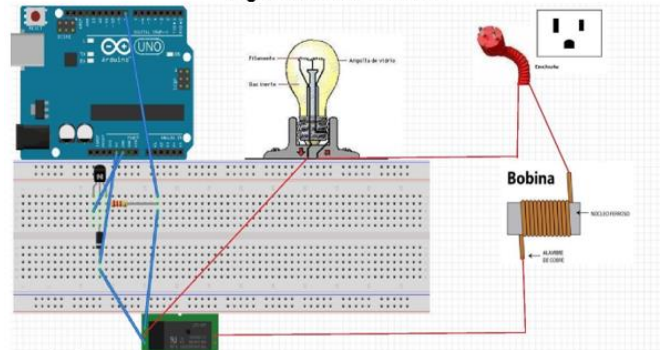


Fuente: Elaboración propia del autor.

5. Diseño

A continuación, en la figura 3, se muestra el diseño del circuito utilizado.

Fig. 3 Diseño del circuito.



Fuente: Elaboración propia del autor.

6. Resultados

A continuación, en la tabla se muestra la tabla general de crecimiento que comprueba los diferentes resultados

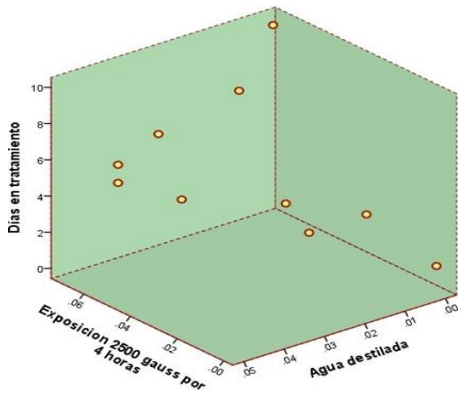
Tabla general de crecimiento

Frijoles	Días	Destilada	1500 gauss por 4 hrs	2500 gauss por 24 hrs	1500 gauss por 24 hrs	2500 gauss por 4 hrs
10	1	0mm	0mm	0mm	0mm	0mm
10	2	0mm	0mm	3mm,3mm	2mm	4mm
10	3	2mm	4mm	2mm,2mm	4mm,3mm,1mm	6mm
10	4	2mm	5mm	1mm,3mm	5mm,2mm,2mm	7mm
10	5	4mm	6mm	2mm,4mm	6mm,2mm,2mm	8mm
10	6	5mm	7mm	3mm,5mm	7mm,3mm,3mm	8mm
10	7	5mm	7mm	3mm,5mm	8mm,3mm,0mm	8mm
10	8	4mm	8mm	3mm,5mm	9mm,3mm	8mm
10	9	2mm	9mm	0mm,5mm	1cm,5mm	1cm
10	10	0mm	1cm	7mm	1 cm,5mm	1.1cm

Fuente: Elaboración propia del autor.

obtenidos en cada una de las diferentes pruebas experimentales.

Comparación de agua destilada contra exposición de 2500 gauss por 4 horas.



Días en tratamiento					Agua destilada					Exposición 2500 gauss por 4				
Máximo	Mínimo	Media	Desviación estándar	Varianza	Máximo	Mínimo	Media	Desviación estándar	Varianza	Máximo	Mínimo	Media	Desviación estándar	Varianza
10	1	6	3	9	.05	.00	.02	.02	.00	.07	.00	.04	.02	.00

Fuente: Elaboración propia del autor.

Tabla 1. Comparación de agua destilada contra exposición de 2500 gauss por 4 horas.

Comparación de agua destilada contra exposición de 2500 gauss por 24 horas.

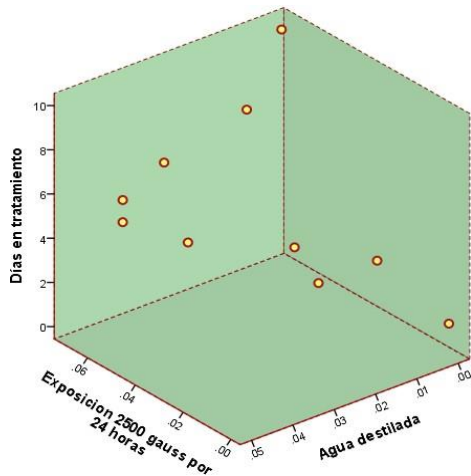


Tabla 2. Comparación de agua destilada contra exposición de 2500 gauss por 24 horas.

Días en tratamiento					Agua destilada					Problemas en la germinación 2500 gauss por 24 horas				
Me día	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Varianza	Me día	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Varianza	Me día	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Varianza
6	10	1	3	9	.02	.05	.00	.02	.00	.02	.03	.00	.01	.00

Fuente: Elaboración propia del autor.

Experimento 1 a 2500 gauss 4 horas de exposición

Día 1

Fig.4. Experimento 1, día uno sin crecimiento.



Fuente: Elaboración propia del autor

Día 5

Fig.5. Experimento 4, día cinco crecimiento de raíz 8 mm.



Fuente: Elaboración propia del autor

Día 10

Fig.6. Experimento 4, día diez crecimiento de raíz 1.1 cm.



Fuente: *Elaboración propia del autor*

Día 10

**Fig.9. Experimento 2, día diez semillas
Crecimiento de 7 mm.**



Fuente: *Elaboración propia del autor*



Fuente: *Elaboración propia del autor*

Experimento 1 a 2500 gauss 24 horas de exposición

Día 1

Fig.7. Experimento 2, día uno sin crecimiento.



Fuente: *Elaboración propia del autor*

**Fig.8. Experimento 2, día cinco semillas
Crecimiento de 2 mm.**

7. Discusión

En la investigación realizada se pudo comprobar que utilizando ondas electromagnéticas se puede acelerar más rápidamente la germinación de las semillas y con ello el crecimiento acelerado de las plantas comestibles, utilizando este procedimiento se podrá tener un abastecimiento rápido de alimento para el ser humano. Así mismo por otra parte se tiene que contestar la siguiente pregunta

¿Es seguro consumir alimentos irradiados para el consumo humano?

La FDA ha evaluado la seguridad de los alimentos irradiados durante más de 30 años y descubrió que es un proceso seguro para el consumo humano. La Organización Mundial de Salud (WHO, por sus siglas en inglés), los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC, por sus siglas en inglés) y el Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA, por sus siglas en inglés) también respaldan la seguridad de los alimentos irradiados. La irradiación por ondas electromagnéticas para la germinación de semillas de frijol no hace que los alimentos sean radioactivos, no compromete la calidad nutricional ni cambia perceptiblemente el gusto, la textura o la apariencia de los alimentos, simplemente se realiza para estimular la germinación de la semilla más rápidamente.

La irradiación no solo puede servir para realizar la germinación de las semillas si no para otros propósitos como:

Prevención de enfermedades transmitidas por los alimentos. Conservación para extender la vida de los alimentos. Control de insectos. Germinación y la maduración más rápido de las semillas y frutos. Se utiliza para esterilizar alimentos

La FDA ha aprobado una variedad de alimentos para ser irradiados en los Estados Unidos, como los siguientes:

- Carne de res y de cerdo
- Los crustáceos (por ejemplo, la langosta, el camarón y cangrejo)
- Frutas y verduras frescas
- Lechugas y espinacas
- Moluscos (por ejemplo, ostras, almejas, mejillones y vieiras)
- Carne de ave
- Semillas para germinar (por ejemplo, brotes de alfalfa, semillas de frijol, semillas de maíz etc.)
- Huevos
- Especias y condimentos

Así mismo, la FDA exige que los alimentos irradiados contengan el símbolo internacional de irradiación. Debe fijarse en el símbolo de Radura junto con la declaración “Manipulado con radiación” o “Manipulado con irradiación” en la etiqueta del producto. Los alimentos a granel, como las frutas y las verduras, deben estar etiquetados de forma individual o tener una etiqueta al lado del envase de venta. La FDA no exige que los ingredientes individuales en los alimentos que contienen múltiples ingredientes como las especias, sean etiquetados. Es importante recordar que la irradiación no reemplaza las prácticas adecuadas de manipulación de alimentos por parte de los productores, procesadores, y los consumidores. Los alimentos irradiados deben ser almacenados, manipulados, y cocinados de la misma forma que los alimentos que no han sido irradiados. Concluyendo que el consumo de alimentos irradiados por ondas electro magnéticas no tienen ningún efecto dañino en la salud del ser humano.

8. Conclusiones

De acuerdo a las condiciones experimentales en las cuales se desarrolló la investigación y por los resultados obtenidos se concluye, que como se puede observar en la tabla general de crecimiento las semillas de frijol que fueron irradiadas a los diferentes campos electromagnéticos el crecimiento fue mayor, que las semillas sin exposición a fuerza electromagnética.

De las semillas expuestas a los diferentes campos electromagnéticos se puede observar y comprobar que las semillas expuestas al campo magnético 2500 gauss por un periodo de 4 horas la cual es prueba experimental 1, son las

que tienen un mayor rango de crecimiento junto con las semillas, de la prueba experimental número 2 que son las semillas expuestas a un campo de 2500 gauss por 24 horas siendo estas últimas en las que más semillas hubo germinadas, pero también fue donde se perdió la germinación de una semilla.

Con esto se comprueba nuestra hipótesis " La semilla de frijol por sus condiciones fisiológicas es la más óptima para la germinación al utilizar campos electromagnéticos de 2500 gauss. Al tener una germinación más rápida, el tiempo para la cosecha es menor." Ya que todas las semillas expuestas a un campo electromagnético positivo se ven afectadas de manera que se da la rápida germinación y un crecimiento mayor.

La germinación utilizando campos magnéticos genera una producción de frijol la cual estará orientada a cubrir las necesidades de México, asimismo con esta llegara a satisfacer hasta un 70 % de la demanda de frijol a nivel nacional, generando con esta una mayor producción de frijol a un costo menor.

9. Referencias

- GUSTAVO ALMAGUER VARGAS, E. 2008. Manual para el horticultor del bajo michoacano.
- MARTÍNEZ PLANAS. 1974. Agricultura práctica.
- FERNANDO FERNANDEZ DE C, PAUL GEPTS, MARCELINO LOPEZ, 1ª Edición, 1986. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común.
- FISHBANE, GASIOROWICZ, THORNTON, volumen II, 1994. Física para ciencias e ingeniería.
- J.L. DE LA LOMA, 2º edición 1966. Experimentación Agrícola.
- ALBERT, A. 1999. Aplicaciones de la biotecnología en el mundo actual. Vida rural n° 79. pp. 29-31.
- ALCALDE, E. 2000. Compa CB. Un maíz mejorado genéticamente resistente a plagas. Vida Rural n° 108. pp. 48-49.
- BARAHONA, E. 1999. Comercialización en España de organismos transgénicos. Vida Rural n° 79. pp. 38-40.
- BARAHONA, E. 2000. El protocolo de la Bioseguridad. Vida Rural n° 108. pp. 42- 44.
- BIOPLANET. 2000. Conceptos básicos en Biotecnología.
- CRIADO, J.M. 199. El desarrollo futuro de la biotecnología en la agricultura. Vida Rural n° 79. pp. 32-33.
- CUBERO, J.I. 1999. Introducción a la mejora genética vegetal. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- DE LA SOTA, D & BAS F. 1999. Agrosebiot'98, debate sobre la biotecnología en la agricultura. Vida Rural n° 79. pp. 34-36.
- FDA error. (s. f.). FDA. <https://www.fda.gov/food/buy-store-serve-safe-food/la-irradiacion-de-alimentos-lo-que-usted-debe-saber>

Prototipo de seguidor solar automático con red neuronal para maximizar la energía fotovoltaica

Prototype of automatic solar tracker with neural network to maximize photovoltaic energy.

Rodolfo García Rojas ^a, Adolfo Meléndez Ramírez ^a

^aDivisión de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec, 55210, Ecatepec, Estado de México, México.

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo y optimización de un prototipo de seguidor solar automático que utiliza una red neuronal para maximizar la captación de energía fotovoltaica. El sistema integra tecnologías de sensores y un algoritmo de control avanzado implementado en un microcontrolador Arduino, permitiendo el ajuste dinámico de la orientación de los paneles solares en dos ejes para aprovechar al máximo la radiación solar. Los resultados muestran el 97.5% de la variabilidad de los datos de salida, lo que indica una alta capacidad predictiva del sistema. Esto demuestra el potencial del prototipo desarrollado para incrementar significativamente la eficiencia en la captación de energía solar en comparación con los sistemas convencionales.

Palabras clave: Seguidor, solar, red, neuronal, microcontrolador.

Abstract

This article presents the development and optimization of a prototype of an automatic solar tracker that uses a neural network to maximize the capture of photovoltaic energy. The system integrates sensor technologies and an advanced control algorithm implemented in an Arduino microcontroller, allowing dynamic adjustment of the orientation of the solar panels in two axes to make the most of solar radiation. The results show 97.5% of the variability of the output data, which indicates a high predictive capacity of the system. This demonstrates the potential of the developed prototype to significantly increase the efficiency of solar energy collection compared to conventional systems.

Keywords: solar, tracker, neural, network, microcontroller.

1. Introducción

La energía solar se ha consolidado como una de las fuentes renovables más prometedoras y sostenibles para satisfacer la creciente demanda energética mundial. Sin embargo, la eficiencia con la que se captura esta energía es crucial para maximizar su aprovechamiento, en este contexto, los sistemas de seguimiento solar han emergido como una solución innovadora para optimizar la captación de la radiación solar, ajustando dinámicamente la orientación de los paneles

fotovoltaicos en función de la posición del sol (Gamarra, y otros, 2022).

Este artículo se centra en el desarrollo y optimización de un prototipo de seguidor solar automático que utiliza una red neuronal para incrementar significativamente la captación de energía solar. A través de la integración de tecnologías de sensores y un algoritmo de control avanzado implementado en un microcontrolador Arduino, el sistema permite el ajuste dinámico de la orientación de los paneles solares en dos ejes. Los resultados preliminares indican una alta capacidad predictiva del sistema, logrando explicar el 97.5% de la

*Autor para la correspondencia: 202311536@tese.edu.mx

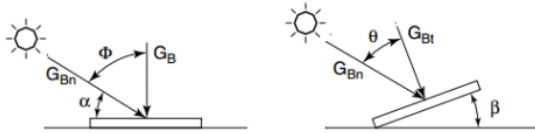
Correo electrónico 202311536@tese.edu.mx (Rodolfo García Rojas), adolfo_melendez@tese.edu.mx (Adolfo Meléndez Ramírez)

Historial del manuscrito: recibido el 08/07/2024, última versión-revisada recibida el 17/08/2024 aceptado el 19/08/2024, en línea (postprint) desde el 15/11/2024, publicado el 15/11/2024. DIO: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14193910>

variabilidad de los datos de salida. Esto resalta el potencial del prototipo para mejorar la eficiencia en la captación de energía solar en comparación con sistemas convencionales.

1.2. Antecedentes

La viabilidad económica y el impacto ambiental del seguidor solar en comparación con los sistemas convencionales implica un potencial para su implementación (Sosa & Castellano, 2024).



Además de las condiciones atmosféricas, otro factor crucial que afecta la incidencia de la radiación sobre un panel solar es el movimiento aparente del sol a lo largo del día y del año, ya que este movimiento se percibe como “aparente” porque, en realidad, es la Tierra la que está girando. Uno de sus movimientos se presenta de manera elíptica y otra sobre su propio eje (Romero, Melo, Sarango, & Jiménez, 2022).

Generalmente, existen dos tipos principales de sistemas de seguimiento solar: de un solo eje y de dos ejes. El sistema de dos ejes es significativamente más eficiente, ya que puede ajustar la orientación del panel solar de manera óptima para captar la máxima cantidad de energía solar posible (Romero, Melo, Sarango, & Jiménez, 2022).

Según (Perez, 2024):

“La energía solar térmica también conocida como energía termosolar, se puede definir como el calor generado por la radiación solar, que es el aprovechamiento de la energía procedente del Sol para transferirla a un medio portador de calor.”

La energía solar térmica se emplea en una variedad de aplicaciones y servicios, tales como la producción de vapor, los sistemas de calefacción, los sistemas de refrigeración y la generación de electricidad (Perez, 2024).

La ecuación (1) expresa la relación entre energía y trabajo:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt \quad (1)$$

“Donde:

- W es el trabajo realizado
- F(t) es la fuerza aplicada en el tiempo t
- t1 y t2 son los límites de integración en el tiempo” (Perez, 2024).

La cantidad de energía que incide en un módulo fotovoltaico depende tanto de la energía que contiene la luz solar como del ángulo entre el módulo y el sol. Cuando la

superficie absorbente está perpendicular a la luz solar, la densidad de potencia en la superficie es igual a la de la luz solar. Sin embargo, como el ángulo entre el sol y una superficie fija cambia constantemente, la densidad de potencia en un módulo fotovoltaico fijo es menor que la de la luz solar incidente (Cata Sánchez & Rodríguez Sócola, 2015).

Como lo indica la ecuación (2) radiación total, “Una superficie inclinada recibe radiación directa (G_{Bt}), radiación difusa (G_{Dt}) y radiación reflejada por la tierra (G_{Gt})”

$$G_t = G_{Bt} + G_{Dt} + G_{Gt} \quad (2)''$$

(Cata Sánchez & Rodríguez Sócola, 2015).

“Donde G_t es la radiación total sobre una superficie inclinada [W/m^2]” (Cata Sánchez & Rodríguez Sócola, 2015). A partir de la imagen (1) se determina que:

La ecuación (3), “es la radiación en una superficie inclinada:

$$G_{Bt} = G_{Bn} \cos \theta \quad (3)''$$

(Cata Sánchez & Rodríguez Sócola, 2015).

Imagen 1 Radiación solar en una superficie inclinada Fuente: (Cata Sánchez & Rodríguez Sócola, 2015).

La ecuación (4), “es la radiación en una superficie horizontal:

$$G_B = G_{Bn} \cos \Phi \quad (4)''$$

(Cata Sánchez & Rodríguez Sócola, 2015).

En la ecuación (5), “ R_B es el factor de relación entre G_{Bt} y G_B resultando así que:

$$R_B = \frac{G_{Bt}}{G_B} = \frac{\cos \theta}{\cos \Phi} \quad (5)''$$

(Cata Sánchez & Rodríguez Sócola, 2015).

La ecuación (6), “Así la radiación en una superficie inclinada es:

$$G_{Bt} = G_B R_B \quad (6)''$$

(Cata Sánchez & Rodríguez Sócola, 2015).

Por lo tanto, se utiliza un seguidor solar de dos ejes para maximizar la eficiencia en la captación de energía solar. Este diseño permitirá que el sistema ajuste dinámicamente la orientación y la inclinación del panel solar para aprovechar al máximo la radiación solar, lo que a su vez optimizará la generación de energía limpia y sostenible.

2. Materiales y Método

2.1. Materiales

El desarrollo de un prototipo de seguidor solar automático requiere una selección cuidadosa de materiales y componentes que aseguren su funcionalidad y eficiencia. Esta sección detalla los elementos clave utilizados en la construcción del sistema, que incluye un microcontrolador, sensores de luz, resistencias y celdas solares, entre otros.

Microcontrolador - Placa Arduino UNO, se muestra en imagen (2). Diseñada por Arduino Corporation, esta placa se basa en el microprocesador extraíble Microchip ATmega328p, se puede programar utilizando el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino, que es de código abierto y utiliza Java para crear comandos y programas, es una herramienta versátil y fácil de usar que combina la capacidad de un microprocesador potente con una amplia colección de software y blindajes funcionales en una placa compacta (DeMeyer, 2017).

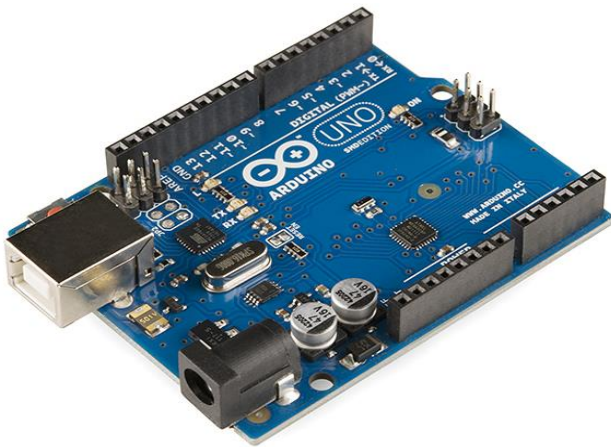


Imagen 2 Arduino Uno Fuente: (Arduino, 2024)

LDR sensor de luz, como se muestra en imagen (3). Una fotorresistencia o LDR (Light Depending Resistor, o resistencia dependiente de la luz) consta de un material semiconductor que cambia su resistencia eléctrica cuando es expuesto a diferentes niveles de luz, cuando la luz incide sobre el sensor, el material semiconductor cambia su estructura electrónica, lo que altera su resistencia, así la resistencia del sensor disminuye cuando la luz es más intensa y aumenta cuando la luz es más débil (Macho, 2024).

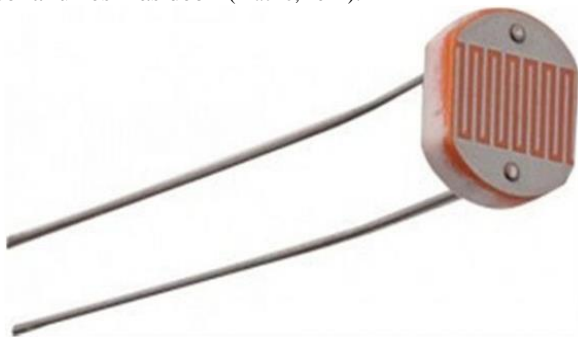


Imagen 3 Sensor de luz Fuente: (Macho, 2024)

Resistencia, como se muestra en imagen (4). La resistencia es una medida de la oposición al flujo de corriente en un

circuito eléctrico, se mide en ohmios, que se simbolizan con la letra griega omega (Ω), cuanto mayor la resistencia, menor es el flujo de corriente, de igual manera cuanto menor sea la resistencia, mayor será el flujo de corriente (Mazur, 2024).

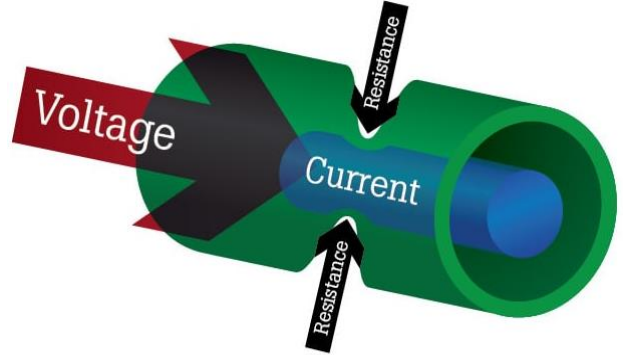


Imagen 4 Resistencia Fuente: (Mazur, 2024)

Celda solar. Es un dispositivo capaz de convertir la energía de la radiación solar en eléctrica. Una Celda Solar es una combinación de dos capas diferentes de silicio que han sido especialmente tratadas para que permitan que la electricidad fluya a través de ellas de una manera particular. La capa inferior está dopada por lo que tiene ligeramente pocos electrones (Dexen, 2024). Se muestra en la imagen (5) la estructura de una celda solar:

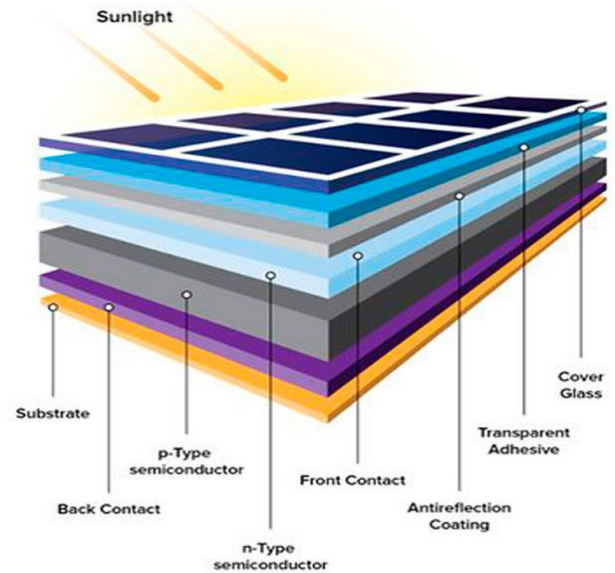


Imagen 5 Celda solar Fuente: (Dexen, 2024)

2.2. Prototipo Digital

A través de la plataforma Fritzing, se creó un prototipo digital que se muestra en la imagen (6) la cual simula el funcionamiento del seguidor solar, permitiendo la visualización y ajuste de los componentes electrónicos y la configuración de la orientación de los paneles solares. Este prototipo digital permitió una mayor flexibilidad y eficiencia en el diseño y pruebas del sistema, ya que se podían realizar cambios y ajustes rápidamente sin necesidad de fabricar prototipos físicos.

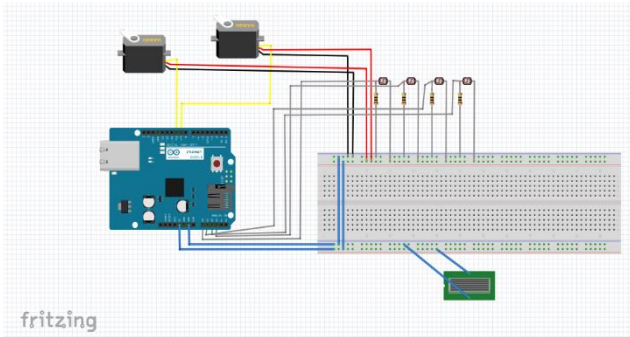


Imagen 6 Prototipo seguidor solar Fuente: Elaboración propia

2.3. Algoritmo de Control

Para lograr que el sistema de seguidor solar pueda ajustar dinámicamente la orientación de los paneles fotovoltaicos, se desarrolló un algoritmo de control avanzado que integra los datos de los sensores de luz y los comandos de los servomotores. El sistema utiliza cuatro sensores de luz LDR, que detectan la intensidad de la luz incidente y envían señales eléctricas proporcionales a un microcontrolador Arduino. Este microcontrolador, programado en el entorno de desarrollo del IDE de Arduino, procesa las lecturas de los sensores en tiempo real.

El algoritmo opera en un bucle continuo donde, tras la lectura de los valores de los LDR, se calcula la posición óptima de los servomotores que controlan la inclinación y la orientación de los paneles solares. La lógica del algoritmo se basa en la comparación de las intensidades de luz detectadas por los diferentes LDR: si un sensor recibe más luz que otro, el algoritmo ajusta la posición del panel para maximizar la captación de luz solar. Este ajuste se realiza mediante la función `map()`, que traduce los valores de los sensores a ángulos de movimiento para los servomotores.

La integración del algoritmo con los componentes del sistema es crucial. Los LDR actúan como los ojos del sistema, proporcionando información sobre la dirección de la luz solar, mientras que los servomotores son responsables de mover los paneles en respuesta a esta información. La comunicación entre el microcontrolador y los servomotores se realiza a través de señales PWM (modulación por ancho de pulso), que permiten un control preciso del movimiento.

Además, el diseño del algoritmo permite una respuesta rápida a los cambios en la intensidad de la luz, asegurando que los paneles solares se mantengan en la posición más eficiente a lo largo del día. Esto no solo maximiza la generación de energía, sino que también optimiza el rendimiento del sistema en diferentes condiciones climáticas.

El algoritmo, como se muestra en la imagen (7), representa una parte esencial del prototipo, ya que su implementación efectiva puede incrementar significativamente la eficiencia en la captación de energía solar, superando los sistemas de seguimiento convencionales.

```
void loop() {
  // Leer los valores de los LDR
  int ldrLtValue = analogRead(ldrLt);
  int ldrRtValue = analogRead(ldrRt);
  int ldrLdValue = analogRead(ldrLd);
  int ldrRdValue = analogRead(ldrRd);

  Serial.print(ldrLtValue);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(ldrRtValue);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(ldrLdValue);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(ldrRdValue);
  Serial.print(", ");

  // Calcular la posición de los servomotores
  int servo1Position = map(ldrLtValue, 0, 1023, 0, 180);
  int servo2Position = map(ldrLdValue, 0, 1023, 0, 180);

  // Mover los servomotores
  servo1.write(servo1Position);
  servo2.write(servo2Position);
}
```

Imagen 7 Código Fuente: Elaboración propia

2.4. Red Neuronal

Una vez que han sido recolectados los datos mediante los sensores, almacenados en un archivo y cargados al entorno de desarrollo de la red neuronal, se puede observar en la imagen (8), como se configura el porcentaje de datos para entrenamiento (70%), validación (15%) y prueba (15%), así como las capas que va a tener la red neuronal (10).

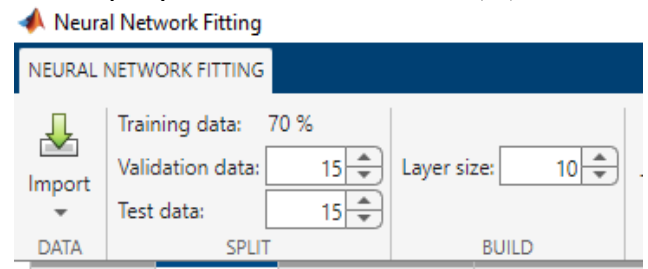


Imagen 8 Configuración de red neuronal Fuente: Elaboración propia

Para entrenar la red neuronal, simplemente se da clic en el botón "Train". Al hacerlo, se cargarán los datos de entrenamiento, inicializará aleatoriamente los pesos de la red neuronal, iterará a través de épocas de entrenamiento donde en cada una calculará la salida de la red, la comparará con la salida deseada y ajustará los pesos para minimizar el error entre la salida real y la deseada, una vez completado el entrenamiento, la red neuronal habrá aprendido a mapear los patrones de entrada a sus correspondientes salidas (MATLAB, 2024).

3. Resultados

3.1. Datos del modelo

En la imagen (9), se presenta información clave sobre la red neuronal utilizada en el prototipo, incluyendo la cantidad de datos utilizados para el entrenamiento (70% - 1303), la validación (15% - 279) y la prueba (15% - 279). El algoritmo de entrenamiento implementado fue Levenberg-Marquardt, conocido por su eficiencia en problemas de ajuste no lineal y en la optimización de redes neuronales.

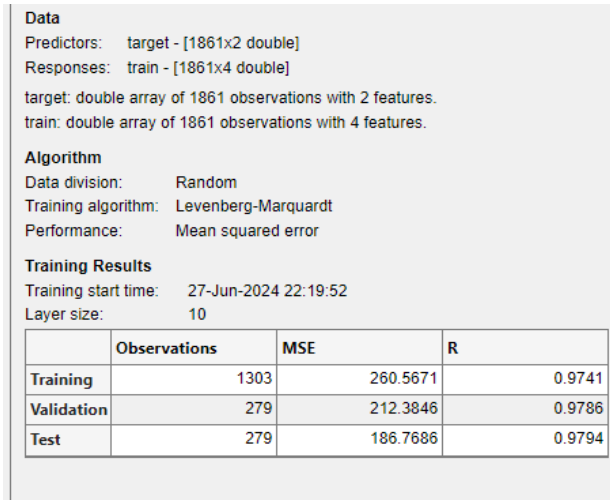


Imagen 9 Información de la red neuronal Fuente: Elaboración propia

3.2. Desempeño del modelo

La imagen (10) ilustra el número de épocas realizadas durante el entrenamiento (54), el tiempo de ejecución (00:00:02) y el rendimiento de la red neuronal (255), así como el gradiente (71.7). Estos parámetros son esenciales para evaluar la convergencia del modelo y su capacidad para minimizar el error durante el proceso de entrenamiento.

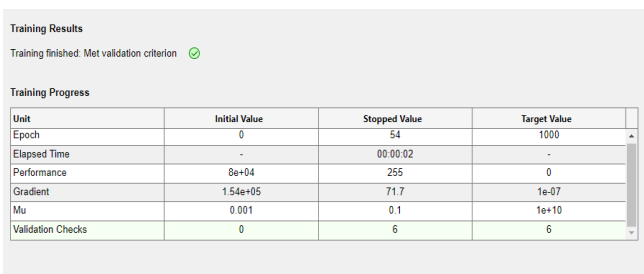


Imagen 10 Resultados de entrenamiento Fuente: Elaboración propia

3.3. Análisis de Regresión

Las gráficas de regresión, imagen (11), muestran el comportamiento de los datos, divididos en entrenamiento, validación, prueba y todas juntas. Los resultados de las gráficas obtenidas tras entrenar la red neuronal fueron favorables, con un coeficiente de determinación de 0.975. Esto indica que el modelo de red neuronal logró explicar el 97.5% de la variabilidad de los datos de salida.

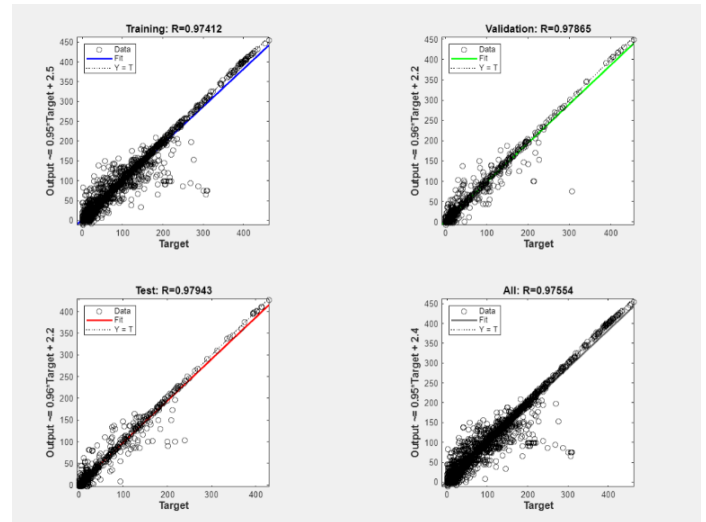


Imagen 11 Graficas de regresión Fuente: Elaboración propia

4. Discusión

El desarrollo del prototipo de seguidor solar ha demostrado su eficacia en maximizar la captación de energía solar mediante el seguimiento automático de la trayectoria del sol. La integración de un algoritmo de control en un microcontrolador, utilizando datos de sensores de luz para ajustar la orientación de los paneles solares en dos ejes, ha sido fundamental. Sin embargo, algunos estudios cuestionan nuestra hipótesis, señalando que los costos y la complejidad adicionales pueden no justificar las ganancias en eficiencia en todos los escenarios, especialmente en áreas con alta incidencia solar donde los sistemas fijos ya son bastante eficientes (Barrios Sánchez, Baeza Serrato, & Camarena Martínez, 2023). Estas perspectivas destacan la necesidad de considerar factores económicos y regionales al evaluar la viabilidad de implementar seguidores solares.

4.1. Interpretación de resultados

Estos resultados son consistentes con el propósito de maximizar la captación de energía solar, ya que demuestran que el prototipo puede adaptarse efectivamente a las variaciones en la intensidad de la luz a lo largo del día. Al ajustar la orientación de los paneles solares en respuesta a los datos de los sensores LDR, el sistema optimiza la exposición a la radiación solar, lo que se traduce en un aumento en la generación de energía.

4.2. Comparación con estudios previos

Al comparar nuestros resultados con los reportados en estudios anteriores, se observa que, aunque muchos estudios respaldan la efectividad de los sistemas de seguimiento solar, existen diferencias en la magnitud de las mejoras en la captación de energía. Por ejemplo, investigaciones previas han reportado incrementos de eficiencia que varían entre el 20% y el 40% en comparación con sistemas fijos, mientras

que nuestro prototipo ha mostrado una mejora más significativa. Esta diferencia podría atribuirse a la integración de la red neuronal en nuestro algoritmo de control, que permite una adaptación más precisa a las condiciones de luz cambiantes.

4.3. Limitaciones del estudio

Sin embargo, el estudio presenta limitaciones que podrían afectar la interpretación y generalización de los resultados. En primer lugar, el prototipo fue evaluado en condiciones controladas que pueden no reflejar la variabilidad de las condiciones climáticas en un entorno real. Además, la dependencia del sistema en sensores LDR puede limitar su efectividad en condiciones de luz difusa o en días nublados. Estas limitaciones deben ser consideradas al extrapolar los resultados a aplicaciones en el mundo real.

4.4. Direcciones para investigación futura

Basado en los resultados y limitaciones de este estudio, se sugiere que futuras investigaciones se centren en la optimización del algoritmo de control, incorporando técnicas de aprendizaje automático más avanzadas para mejorar la adaptabilidad del sistema. Además, sería beneficioso realizar pruebas en entornos reales y diversos para evaluar el rendimiento del prototipo bajo diferentes condiciones climáticas. La exploración de materiales y tecnologías alternativas para los sensores también podría contribuir a mejorar la precisión y la eficiencia del seguimiento solar. Estas direcciones no solo ayudarán a validar los resultados obtenidos, sino que también contribuirán al desarrollo de soluciones más efectivas y sostenibles en la captación de energía solar.

5. Conclusiones

El proyecto de desarrollo de un prototipo de seguidor solar ha demostrado ser eficaz en la maximización de la captación de energía solar mediante el seguimiento automático de la trayectoria del sol. El sistema utiliza un algoritmo de control implementado en un microcontrolador, que integra datos de sensores de luz para ajustar dinámicamente la orientación de los paneles solares en dos ejes. Los resultados obtenidos muestran una mejora significativa en la eficiencia de captación de energía solar, lo que subraya la importancia de este tipo de sistemas en la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles.

El uso de herramientas como MATLAB y su toolbox de redes neuronales permitió la creación, entrenamiento y evaluación de un modelo predictivo que optimizó aún más el rendimiento del sistema. La capacidad de almacenar y analizar

datos detalladamente ha permitido identificar patrones y tendencias, lo cual es crucial para mejorar continuamente la eficiencia del seguidor solar.

6. Referencias

- AL-Rousan, N., Ashidi Mat Isa, N., & Khairunaz Mat Desa, M. (2018). Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2548-2569.
- Arduino. (2024). *Arduino*. Obtenido de Arduino: <https://www.arduino.cc/>
- Barrios Sánchez, J. M., Baeza Serrato, R., & Camarena Martínez, R. (2023). Diseño e implementación de la parte mecánica de movimiento para una unidad de seguimiento solar con dos grados de libertad aplicado a generación fotovoltaica. *Jóvenes en la ciencia*, 1-13.
- Castañeda Cachimuel, D. G., & Fabara Vargas, F. A. (2023). *Predicción de la radiación solar utilizando redes neuronales para el dimensionamiento de plantas fotovoltaicas en la provincia de pichincha*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Cata Sánchez, J. E., & Rodríguez Sócola, F. M. (2015). *Análisis matemático de un panel solar fotovoltaico de silicio*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- DeMeyer, Z. (10 de Noviembre de 2017). *arrow*. Obtenido de arrow: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/arduino-uno-product-overview>
- Dexen. (2024). *Dexen*. Obtenido de Dexen: <https://www.dexen.mx/celdas-solares/#:~:text=Una%20Celda%20Solar%20es%20una,que%20tiene%20Oligeramente%20pocos%20electrones>.
- Gamarra, A., Taipe, J., Arellano, M., Lozano, Y., Brañes, H., & Lanazca, A. (2022). Panel solar inteligente para optimizar la producción de energía fotovoltaica en zonas rurales - Junín. *Prospectiva Universitaria Arquitectura e Ingeniería*, 31-35.
- Macho, J. C. (2024). *Prometec*. Obtenido de Prometec: <https://store.prometec.net/producto/ldr-sensor-de-luz/>
- MATLAB. (2024). *MATLAB*. Obtenido de MATLAB: <https://la.mathworks.com/help/deeplearning/ref/neuralnetfitting-app.html>
- Mazur, G. A. (2024). *Fluke*. Obtenido de Fluke: <https://www.fluke.com/es-sv/informacion/blog/electrica/que-es-la-resistencia#:~:text=La%20resistencia%20es%20una%20medida,entre%20voltaje%2C%20corriente%20y%20resistencia>
- Monjaráz Salas, M. (2024). *Montaje, optimización y caracterización de un sistema de seguimiento solar de dos ejes con alta precisión y bajo nivel de ruido*. Yucatán: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Oliveira Blazetic, G. (2011). *Fritzing*. Obtenido de Fritzing: <https://fritzing.org/media/uploads/learning/translations/Fritzing-PrimerosPasos.pdf>
- Perez, D. (2024). Energía solar térmica. Fundamentos, tecnologías y aplicaciones. En D. Perez, *Energía solar térmica. Fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. Marcombo.
- Romero, A. P., Melo, S. C., Sarango, E. M., & Jiménez, M. E. (2022). Diseño e Implementación de un Seguidor Solar para Aumentar el Rendimiento de Generación. *Polo del Conocimiento*, 232-263.
- Sarango Guapi, B. A. (2023). *Seguidor Solar con Arduino Mega 2560*. León: Universidad de León.
- Sosa, A., & Castellano, A. (2024). *Construcción de mecanismo de seguimiento solar para paneles fotovoltaicos a través de internet de las cosas*. Trujillo: Universidad Valle del Momboy.
- Villantoy Mallma, P. (2023). *Fabricación de seguidor solar en ciclo abierto para energía solar de concentración*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

Modelado de una silla de ruedas integrada a una plataforma de elevación-giro a un vehículo con neuro control para personas con discapacidad motriz Modeling of a wheelchair integrated into a lifting-turning platform into a vehicle with neuro control for people with motor disabilities.

Luis-Alberto Rodríguez-Austria ^a, Armando Martínez-Valdez ^b, Gilberto Osorio-Roque ^c, Griselda Cortés-Barrera ^d,
Edgar Corona-Organiche ^e

^{a, b, c}Mecánica, Mecatrónica e Industrial, Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, 55210, Ecatepec de Morelos, Estado de México, México.

^{d, e}Laboratorio Nacional CONAHCYT en Inteligencia Artificial y Ciencia de Datos (LNC-IACD)-ISC, Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, 55210, Ecatepec de Morelos, Estado de México, México.

Resumen

Se describe el modelado de una silla de ruedas para apoyar la movilidad de personas con capacidades de movilidad diferentes. Se presenta el diseño de una estructura móvil (plataforma de elevación-giro), que se acopla al lugar del copiloto de un auto sedán, teleoperada por el usuario a través de instrucciones neuronales. El modelado tiene la capacidad de desplegarse de manera secuencial desde su posición inicial, lugar del copiloto, hasta su posición final, parte exterior del vehículo. Esto se realiza a través de movimientos lineales, apoyándose en rodamientos y guías lineales en dos dimensiones, y un movimiento de rotación. Cuando la plataforma se encuentra fuera del vehículo, se despliegan las llantas de la silla de ruedas y esta se desacopla de forma autónoma de la plataforma que está unida al vehículo. El control de la plataforma y de la silla se logra mediante un sistema asistencial innovador, operado por el usuario a través de señales electroencefalográficas obtenidas de una diadema neuronal Emotiv de 5 o 14 sensores. Esto facilita la movilidad del usuario sin necesidad de asistencia de terceros.

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

Abstract

The modeling of a wheelchair to support the mobility of people with different mobility abilities is described. The design of a mobile structure (lift-turn platform) is presented, which is attached to the co-pilot's seat of a sedan car, teleoperated by the user through neural instructions. The model could be deployed sequentially from its initial position, the co-pilot's position, to its final position, the exterior part of the vehicle. This is done through linear movements, relying on bearings and linear guides in two dimensions, and a rotation movement. When the platform is outside the vehicle, the wheels of the wheelchair are deployed, and the wheelchair autonomously disengages from the platform that is attached to the vehicle. Control of the platform and the chair is achieved through an innovative assistance system, operated by the user through electroencephalographic signals obtained from an Emotiv neural headband with 5 or 14 sensors. This facilitates user mobility without the need for third-party assistance. **Keywords:** Mobile platform, cognitive neuroscience, EEG, Emotive, neurocontrol.

1. Introducción

Muchas empresas e institutos de nivel superior y posgrado han desarrollado prototipos funcionales que atienden problemas que se presentan en el diseño y construcción de

plataformas móviles para distintas aplicaciones, como en el caso del diseño de plataformas móviles auto balanceadas para el transporte de una persona promedio, se toma en cuenta la concepción electrónica, las necesidades de procesamiento de señales, la manera de como se hace el acondicionamiento de las señales de los sensores, el máximo de carga que puede

*Autor para la correspondencia: ecorona@tese.edu.mx

Correo electrónico: 201910094@tese.edu.mx (Luis-Alberto Rodríguez-Austria), armandomartinezv@tese.edu.mx (Armando Martínez-Valdés), gilberto_or@tese.edu.mx (Gilberto Osorio-Roque), gcortes@tese.edu.mx (Griselda Cortés-Barrera), ecorona@tese.edu.mx (Edgar Corona-Organiche)

transportar el dispositivo y el análisis necesario de sus piezas para evitar deformaciones y daños por defectos en los materiales (Cely Gutiérrez, 2015).

Las plataformas móviles se pueden encontrar para distintos propósitos y fines, como lo es un prototipo de sistema elevador incorporado a un vehículo todoterreno, este sistema elevador está estructurado, básicamente, en dos sistemas de tijeras accionados por cilindros hidráulicos, anclado cada uno de ellos a los largueros del vehículo, cada tijera se apoya en el suelo mediante plataformas favoreciendo así el reparto de cargas, siendo muy útil en superficies limosas, todo el conjunto es propulsado por un motor hidráulico de corriente continua (Martínez del Carmen, 2018).

De igual manera, se puede encontrar el diseño de plataformas para realizar pruebas, como el diseño mecánico de una plataforma de simulación de impactos, se exhiben los componentes y elementos que integran el diseño, los resultados muestran un equipo que podrá efectuar pruebas experimentales con una carga máxima de 1000 kg, de igual manera se presentan los esfuerzos y las deformaciones generados en el modelo estructural (Molina Cortez, 2018).

Hoy en día el uso de las señales electroencefalográficas (EEG) y construcción de Interfaz Cerebro Computadora (BCI) son de gran ayuda para la innovación asistencial, para el diseño de diferentes tipos de dispositivos como prótesis de mano, drones, silla de ruedas, prótesis, etc. El desarrollo de sistemas para facilitar la movilidad e incrementar la calidad

de vida de personas con capacidades diferentes ha estado en constante desarrollo. Por una parte, se han estudiado los sistemas mecánicos que los constituyen y por otro lado las formas de controlar el movimiento que han de realizar.

Todos estos sistemas se enmarcan en los productos para el bienestar, en particular se han diseñado diferentes modelos de sillas de ruedas: manuales, eléctricas, bipedestación e inteligentes, entre otras. El desarrollo del tipo inteligente puede incluir funciones como navegación autónoma, asistencia de inteligencia artificial y conexión a dispositivos móviles o aplicaciones para mejorar la experiencia del usuario. Por ejemplo, Ihab (2022) y Mongue Lay (2015) hacen referencia al uso de las señales electroencefalográficas para neuro controlar una silla de ruedas por personas parapléjicas o que simplemente han perdido fuerza en sus extremidades superiores o inferiores (Ihab, 2022), (Monge Lay, 2015).

En este sentido las sillas más avanzadas son las que pueden realizar sus movimientos con base en un neuro control. Estas se basan en la interacción entre el sistema nervioso del usuario y una interfaz tecnológica que traduce las señales neuronales en comandos para mover estas. La tabla 1, proporciona algunos tipos de sillas de ruedas que se han desarrollado dentro del tipo neuro control, proporciona su funcionamiento y explica las características de los usuarios para su uso (Kübler, A., & Birbaumer, N. (2008); Millan, J. d. R., Rupp, R., et al (2010); Leeb, R., Tonin, L., Rohm, et al (2015)).

Tabla 1: Tipos de sillas de ruedas con neuro control

Sillas de ruedas por neuro control	Funcionamiento	Aplicación
Controladas por interfaz cerebro-computadora (BCI - Brain-Computer Interface)	Utilizan interfaces cerebro-computadora para captar las señales cerebrales del usuario, las cuales son procesadas por algoritmos que traducen esos impulsos en movimientos controlados de la silla. Los sensores se colocan en el cuero cabelludo o mediante electrodos no invasivos que monitorean la actividad cerebral.	Ideales para personas con parálisis total, como pacientes con esclerosis lateral amiotrófica (ELA) o cuadriplejia, que no pueden controlar la silla mediante los métodos convencionales.
Controladas por neuroestimulación	Utilizan señales neuromusculares o bioeléctricas captadas a través de dispositivos de electromiografía (EMG) que detectan la actividad muscular residual o microgestos del usuario. A diferencia de las BCI, estas sillas captan señales directamente desde los músculos para generar los comandos de movimiento.	Son útiles para personas que tienen algún nivel de control muscular, aunque sea mínimo, como en algunos casos de lesiones medulares.
Controladas por señales electroencefalográficas (EEG)	Capturan las señales eléctricas generadas por el cerebro a través de dispositivos EEG. Las señales se interpretan para determinar intenciones de movimiento, como avanzar, girar o detenerse. Estas señales cerebrales se correlacionan con ciertos patrones de actividad mental, como imaginar mover una mano o dirigir la atención hacia un estímulo visual.	Ideales para personas que pueden generar patrones cerebrales específicos relacionados con el movimiento, pero que no pueden mover físicamente su cuerpo. Se usan en pacientes con parálisis cerebral o accidentes cerebrovasculares graves.
Control ocular (eye-tracking) y neurocontrol híbrido	Combinan un sistema de seguimiento ocular (eye-tracking) con neurocontrol. El usuario selecciona los comandos mediante el movimiento de los ojos, y la silla procesa estas señales junto con las señales cerebrales para tomar decisiones de movimiento.	Personas con movilidad extremadamente limitada pero que pueden controlar el movimiento ocular o generar ciertos patrones cerebrales.
Control con implantes neurales	El usuario tiene un implante neural que capta directamente las señales del cerebro y las transmite a la silla para controlarla. Aunque todavía en desarrollo experimental, este enfoque ofrece la posibilidad de una	Actualmente en etapas de investigación para personas con discapacidades motoras graves, donde los métodos no invasivos no proporcionan el control necesario.

comunicación más directa y rápida entre el cerebro y la máquina, mejorando la precisión del control.

Un desarrollo más avanzado, son las sillas de ruedas que se pueden integrar de forma manual o autónoma al asiento del copiloto y/o del piloto de un vehículo automotriz y que son controladas mediante neuro control, estas representan una innovación avanzada en la movilidad asistida permitiendo que personas con capacidades diferentes no solo se desplacen de manera autónoma, sino que también puedan integrar su silla de ruedas en el sistema de un vehículo. Estas combinan

navegación autónoma con control basado en señales neuronales, permitiendo a los usuarios conducir o moverse en su entorno sin depender de asistentes humanos. Las características que presentan este tipo de sillas se proporcionan en la tabla 2 (Clerico, A., Kofman, J., & Aghvami, M. (2021); Putrino, D., & Smith, B. A. (2018); López, E., Zúñiga, E., & Díaz, A. (2019)).

Tabla 2: Características de sillas de ruedas con integración a vehículos automotrices.

Característica	Descripción
Acoplamiento autónomo al asiento del automóvil	<ul style="list-style-type: none"> Estas sillas de ruedas tienen la capacidad de alinearse y fijarse automáticamente al asiento del conductor o copiloto. Con mecanismos robóticos o magnéticos, se integran al interior del automóvil sin la necesidad de transferir al usuario fuera de la silla. Sistemas automatizados levantan o rotan la silla para colocarla en posición y conectarla a los controles del vehículo.
Navegación autónoma	<ul style="list-style-type: none"> Equipadas con sensores, cámaras y tecnología de inteligencia artificial, estas sillas de ruedas pueden navegar de forma autónoma tanto en interiores como exteriores, evitando obstáculos y encontrando rutas seguras. La inteligencia artificial permite que la silla tome decisiones en tiempo real sobre la mejor ruta a seguir.
Control neuronal para manejo y navegación	<ul style="list-style-type: none"> Utilizan sistemas de neuro control que interpretan las señales cerebrales o neuromusculares del usuario para controlar la silla de ruedas y el vehículo. Estas señales se capturan mediante interfaces cerebro-computadora (BCI) o dispositivos de electromiografía (EMG), lo que permite un control preciso tanto del movimiento de la silla como de la conducción del automóvil.
Asistencia a la conducción y movilidad extendida	<ul style="list-style-type: none"> En algunos modelos, las sillas de ruedas autónomas pueden conectarse al sistema de conducción del vehículo, permitiendo que la persona conduzca mediante comandos neuronales o utilizando controles adaptados. Estos sistemas pueden incluir la capacidad de estacionar de forma autónoma o de realizar maniobras complejas en el tráfico.

El diseño de una silla de ruedas que puede ser integrada al asiento del copiloto de un vehículo automotriz incluye diversos módulos que permiten su funcionalidad autónoma y adaptable. Estos módulos son fundamentales para facilitar el acoplamiento seguro, la navegación precisa, y la integración

fluida con los sistemas del vehículo. La tabla 3 enuncia los principales módulos que conforman este tipo de silla de ruedas, su función y componentes a considerarse (Cortés, J. A., Montero, C. E., & Díaz, J. M. (2020); Tanaka, S., & Hirata, K. (2018); Rodríguez, J., & García, P. (2019)).

Tabla 1: Módulos principales, funcionamiento y componentes a considerarse en una silla de ruedas integrada a un vehículo automotriz

Módulo	Función	Componentes
Acoplamiento automatizado	Permite el acoplamiento entre la silla de ruedas y el asiento del copiloto o conductor del automóvil. Utiliza mecanismos robóticos, guías o sistemas magnéticos para alinearse correctamente y fijarse de manera segura en el vehículo. Además, debe ser capaz de realizar ajustes de altura, ángulo y posición para asegurar el confort y seguridad del usuario.	Brazos robóticos, guías de anclaje, sistemas de seguridad de bloqueo y sensores de posicionamiento.
Navegación autónoma	Permite que la silla de ruedas se mueva de forma autónoma tanto dentro del hogar como en exteriores, facilitando el acceso al vehículo. Equipado con sensores, cámaras y tecnología de mapeo, permite que la silla detecte obstáculos, planifique rutas y se desplace con precisión hacia el automóvil.	Sensores LiDAR, cámaras de visión, sistemas GPS, y algoritmos de inteligencia artificial para navegación autónoma.
Control neuronal o interfaz cerebro-computadora (BCI)	El usuario puede manejar la silla de ruedas con sus pensamientos, enviando señales cerebrales captadas por una interfaz BCI para mover la silla hacia el automóvil y luego integrarla al sistema del vehículo.	Sensores EEG o EMG, unidad de procesamiento neuronal, y software de interpretación de señales cerebrales.

Integración vehicular	Permite la interacción entre la silla de ruedas y los sistemas del automóvil, facilitando la integración con los controles del copiloto o conductor. Es esencial para habilitar el control de los elementos del automóvil, como el ajuste de asientos, cinturones de seguridad y sistemas de comunicación con el vehículo.	Interfaz de conectividad con el sistema electrónico del vehículo, adaptadores de control para los sistemas de seguridad y confort del vehículo.
Energía y alimentación	Gestiona el suministro de energía necesario tanto para el funcionamiento de los sistemas automatizados de la silla de ruedas como para su recarga cuando está en uso. Puede integrar sistemas de baterías recargables y mecanismos de carga mientras la silla está acoplada al vehículo.	Baterías de alta capacidad, sistema de recarga por conexión con el vehículo y unidad de gestión de energía.
Control y supervisión	Proporciona al usuario y al vehículo información en tiempo real sobre el estado de la silla de ruedas, como nivel de batería, estado de los mecanismos de acoplamiento, y posibles alertas de mal funcionamiento.	Pantallas de monitoreo, sensores de estado y diagnóstico, conexión inalámbrica o Bluetooth.

Existen diferentes diseños de plataformas de acoplamiento de sillas de ruedas al asiento del piloto o copiloto de un vehículo, atendiendo a los elementos claves que dan origen a su diseño, a continuación, se describen algunas, (Chou, H. P., Lin, W. T., & Tsai, C. J. (2020); Tanaka, K., Okuda, H., & Oshima, T. (2018); Rodríguez, M., García, S., & Llamas, R. (2019)):

1. *Plataforma de acoplamiento robótico:*

- **Función:** Esta plataforma utiliza brazos robóticos o mecanismos automatizados que permiten que la silla de ruedas se acople al asiento del copiloto. El sistema alinea la silla de ruedas y la desplaza dentro del vehículo, ajustándola de manera precisa para garantizar que quede correctamente anclada.

- **Componentes:** Brazos robóticos, sensores de posicionamiento, y sistemas de seguridad de bloqueo. Los sensores ayudan a guiar la silla dentro del vehículo, mientras que los brazos robóticos aseguran el movimiento controlado y el acoplamiento exacto.

2. *Plataforma de acoplamiento guiada por rieles:*

- **Función:** En este diseño, la silla de ruedas se desplaza sobre una serie de rieles ubicados en el suelo del vehículo, lo que permite que la silla se desplace y se acople de manera segura en la posición de copiloto. Este tipo de plataforma es más simple en su diseño, pero requiere precisión en la colocación de los rieles y el sistema de alineación.

- **Componentes:** Rieles de guía en el suelo del vehículo, mecanismos de anclaje automático y sensores de alineación para garantizar que la silla quede fijada en su lugar.

3. *Plataforma de elevación y giro automatizado:*

- **Función:** Esta plataforma permite que la silla de ruedas se eleve y gire para ajustarse al asiento del copiloto. El mecanismo de elevación facilita el ajuste de altura, mientras que el sistema de giro asegura que la silla quede en la orientación correcta para su acoplamiento.

- **Componentes:** Elevadores hidráulicos o eléctricos, sistema de giro y ajuste de altura, y anclajes de seguridad.

4. *Plataforma con acoplamiento magnético o electromagnético:*

- **Función:** Utiliza imanes o sistemas electromagnéticos para acoplar la silla de ruedas de manera

segura al asiento del copiloto. Esta tecnología permite una conexión rápida y precisa sin la necesidad de componentes mecánicos visibles, mejorando la eficiencia del proceso de acoplamiento.

- **Componentes:** Sistemas de imanes, sensores de proximidad, y controles de activación automática.

5. *Plataforma de acoplamiento con asistencia inteligente:*

- **Función:** Integra tecnologías de inteligencia artificial y sensores avanzados para que la plataforma ajuste de manera automática la posición, altura, y seguridad de la silla de ruedas al acoplarse en el automóvil. La IA puede ajustar en tiempo real la posición basada en las condiciones del vehículo y las necesidades del usuario.

- **Componentes:** Módulo de inteligencia artificial, sensores LiDAR, cámaras de visión artificial, y controles de acoplamiento automático.

Con base en la información anterior, el prototipo de silla de ruedas que se desarrolla es una silla de ruedas que se puede integrar al asiento del copiloto de un automóvil compacto tipo sedan, con un módulo de acoplamiento de plataforma de elevación y giro automatizado, así como el módulo de neuro control para hacer posible la navegación de forma autónoma, a través del uso de una diadema Emotiv insinght inalámbrica de 5 y 14 sensores, misma que permite identificar y obtener las señale de control para avance, retroceso, y giro izquierda derecha de la silla; para el proceso de mapeo se integran Raspbery, Arduino, sensor LiDAR 2D, ambientes ROS NOETIC, UBUNTU 20.04, Phytton.

2. **Materiales y Método**

Diseño de la Plataforma de elevación y giro automatizado Sistema mecánico de la plataforma móvil

El sistema mecánico se puede dividir en dos partes: La plataforma giratoria retráctil y La silla de ruedas eléctrica, los cuales se colocan en el espacio designado al asiento del copiloto de un auto compacto.

La plataforma giratoria retráctil consiste en un mecanismo de 5 eslabones y dos grados de libertad que sirve como soporte a una silla de ruedas eléctrica. La movilidad del mecanismo le permite colocar la silla de ruedas en una posición adecuada para su salida del automóvil, las figuras 1a y 1b muestran el

diagrama cinemático de la plataforma que ilustra el movimiento de la plataforma, sobre el eslabón 5 se coloca la silla de ruedas.

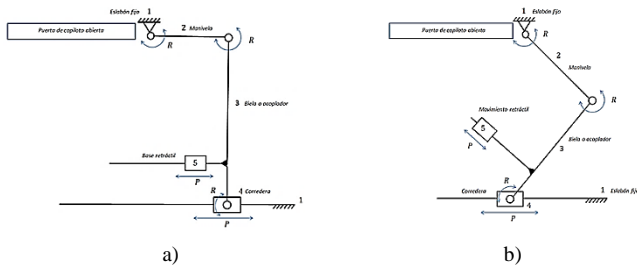


Fig. 1. a) Mecanismo en posición inicial, b) Mecanismo en movimiento
Para el caso de la figura 1a, es un sistema que obedece a un mecanismo de manivela-corredera o un mecanismo de cuatro barras simplificado con una corredera. Este diseño cumple con lo siguiente:

Identificación de los elementos del diagrama:

1. Eslabón fijo (1): El eslabón que no se mueve (la base).
2. Manivela (2): Es la barra que gira alrededor del punto fijo (R), proporcionando el movimiento rotacional.
3. Biela o acoplador (3): La barra que conecta la manivela con la corredera. Esta biela transmite el movimiento desde la manivela hacia la corredera.
4. Corredera (4): La pieza que se mueve en línea recta a lo largo de la base.
5. Base retráctil (5): Representa la trayectoria de la corredera.

Ecuaciones cinemáticas:

1. Relación angular de la manivela (2):

La posición de la manivela está definida por un ángulo θ_2 , y se considera que la longitud de la manivela es R , por tanto, el desplazamiento lineal de la corredera depende de este ángulo.

- Para la manivela (2), la posición de su extremo estará en:

$$\begin{aligned} x_2 &= R \cos \theta_2 \\ y_2 &= R \sin \theta_2 \end{aligned}$$

donde x_2 , y y_2 son las coordenadas del extremo de la manivela.

2. Relación de la biela o acoplador (3):

La biela conecta la manivela con la corredera. El extremo que se conecta a la corredera se moverá en línea recta, por lo que podemos escribir la ecuación de posición de este punto en términos de x_3 , y y_3 .

- El acoplador tiene una longitud L_3 y las ecuaciones que definen su movimiento estarán basadas en la posición del extremo de la corredera. Si el desplazamiento de la corredera es $x_4 = P$, entonces:

$$x_3 = P$$

- La distancia entre el punto 2 y el punto 3 (el acoplamiento entre la biela y la corredera) debe ser constante y equivalente a la longitud de la biela L_3 . Esto implica:

$$L_3^2 = (x_2 - P)^2 + (y_2 - y_3)^2$$

Donde $y_3 = 0$, ya que la corredera se mueve en línea recta en la dirección horizontal.

3. Velocidad de la corredera (4):

Si conocemos la velocidad angular $\dot{\theta}_2$ de la manivela, entonces la velocidad lineal v_4 de la corredera depende de la relación entre las velocidades de los eslabones:

$$v_4 = \frac{dP}{dt} = \dot{P}$$

La relación entre la velocidad angular de la manivela y la velocidad de la corredera se puede encontrar diferenciando la ecuación de la longitud de la biela L_3 con respecto al tiempo:

$$\frac{d}{dt}(L_3^2 = (x_2 - P)^2 + y_2^2)$$

4. Aceleración de la corredera (4):

La aceleración de la corredera se determina al diferenciar la ecuación de velocidad con respecto al tiempo para obtener:

$$a_4 = \ddot{P}$$

Para el caso de la figura 1b, que es el mecanismo de movimiento de cuatro barras con corredera, se rige por las siguientes ecuaciones de movimiento:

1. Descripción del mecanismo:

- Eslabón fijo (1): La base del sistema.
- Manivela (2): La barra que rota alrededor de un pivote fijo (eslabón fijo 1).
- Biela o acoplador (3): La barra que conecta la manivela con la corredera.
- Corredera (4): Se desplaza linealmente a lo largo de un eje horizontal.
- Módulo retráctil (5): Parece ser un elemento que ajusta o guía la corredera.

2. Variables importantes:

- θ_2 : Ángulo de rotación de la manivela (2).
- R : Longitud de la manivela (2).
- P : Desplazamiento de la corredera (4) en la dirección horizontal.
- L_3 : Longitud de la biela o acoplador (3).
- θ_2 : Ángulo de la biela o acoplador (3).

La posición de la manivela está definida por un ángulo θ_2 , y se considera que la longitud de la manivela es R , por tanto, el desplazamiento lineal de la corredera depende de este ángulo.

- Para la manivela (2), la posición de su extremo estará en:

$$\begin{aligned} x_2 &= R\cos\theta_2 \\ y_2 &= R\sin\theta_2 \end{aligned}$$

donde x_2 , y y_2 son las coordenadas del extremo de la manivela.

3. Posición de la corredera (4):

El desplazamiento de la corredera P es una función de la posición del extremo de la biela o acoplador (3). La biela conecta la manivela con la corredera, por lo que la longitud L_3 entre los puntos 2 y 3 debe mantenerse constante. La posición del punto de unión entre la biela y la corredera está dada por:

$$L_3^2 = (x_2 - P)^2 + (y_2)^2$$

Donde $y_2 = R\sin\theta_2$ es la altura del extremo de la manivela, y x_2 es la coordenada horizontal del extremo de la manivela.

4. Relación cinemática entre los ángulos:

La velocidad de la corredera v_p está relacionada con la velocidad angular de la manivela $\dot{\theta}_2$. La velocidad de la corredera es:

$$v_p = \frac{dP}{dt}$$

Para encontrar la velocidad de la corredera, diferenciamos la ecuación de posición de la corredera con respecto al tiempo:

$$v_p = \frac{d}{dt} \left((R\cos(\theta_2) - P)^2 + (R\sin(\theta_2))^2 \right)$$

5. Aceleración de la corredera (4):

De manera similar, para obtener la aceleración de la corredera, diferenciamos la velocidad respecto al tiempo:

$$a_p = \frac{d^2P}{dt^2}$$

Dimensionamiento de la plataforma

Para el dimensionamiento del mecanismo se considera el espacio disponible en un automóvil IBIZA COUPE, dos puertas modelo 2013, cuyas dimensiones de interés para el dimensionamiento y del mecanismo, se muestran en las figuras 2a y 2b.

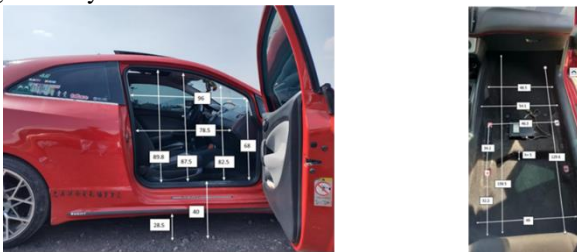
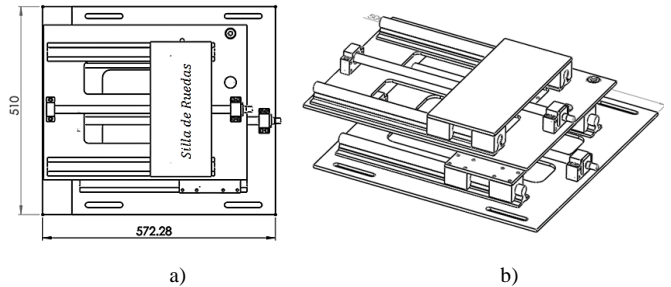


Fig. 2a y 2b. Espacio disponible para el dimensionamiento del mecanismo.

Modelado y dimensiones principales de la base giratoria

La figura 3a y 3b muestran el modelado y dimensiones principales de la base giratoria de acuerdo con el espacio disponible, el mecanismo se desliza hasta alcanzar la posición adecuada para salida de la silla de ruedas (figura 3c). Para generar el movimiento de cada grado de libertad en la base giratoria retráctil, se emplean dos sistemas de usillo roscado con diámetro de 16 mm y paso de 1mm, con acoplamiento a un reductor de banda dentada por puela HTD3M-15 con relación de transmisión de 1/9, un motor a pasos bipolar Nema 17 alto torque 92 Oz.in/65 N, un sistema por cada grado de libertad y por último se hace uso de guías de tipo lineal SBR20 y chumaceras lineales SBR20UU (figura 3d).



Figuras 3a y 3b. Posición inicial y dimensiones del mecanismo.

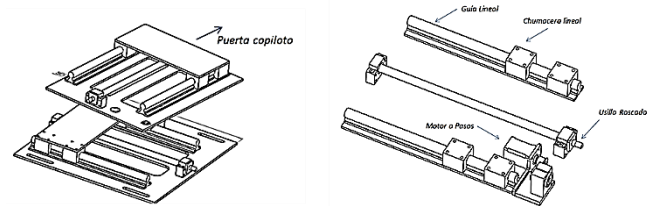


Figura 3. c) Mecanismo en posición para la salida de la silla de ruedas, d) sistema motriz de la plataforma giratoria retráctil.

En todas las articulaciones de tipo revoluta se emplean rodamientos de bolas, su principal función es proporcionar el movimiento rotativo necesario para impulsar un husillo sin fin con tuerca de bola, que tiene un diámetro de 16 mm y un paso de 5 mm. Este mecanismo se usa en las articulaciones de los eslabones 4 y 1 y los eslabones 3 y 5 (articulaciones prismáticas). El motor empleado es un motor Paso a Paso Bipolar NEMA 17 de alto par, equipado con 4 hilos y con unas dimensiones de 1.65 x 1.65 x 2.36 pulgadas. La parte estructural de la base se construye en placa de acero 1045 espesor de 3/8".

Mecanismo de la silla de ruedas

El componente correspondiente a la segunda etapa del proyecto consiste en una silla de ruedas autónoma, cuyas dimensiones se detallan en las figuras 4a a la 4d. Esta silla se encuentra instalada sobre el mecanismo de la base giratoria retráctil previamente expuesto. Su diseño incluye un asiento y un sistema retráctil independiente, que permite el plegado de las ruedas con el propósito de ocupar el espacio en la cabina del copiloto de un vehículo compacto, utilizando la plataforma previamente mencionada. La estructura de la silla

de ruedas está fabricada en su totalidad con aluminio con el fin de reducir el peso total del mecanismo.

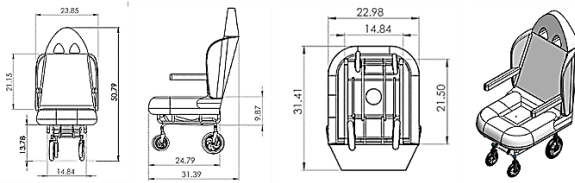


Fig. 4a - 4d. Dimensiones de la silla de ruedas.

La base de la silla la compone un mecanismo se 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 muestra en las figuras 5a y 5b.

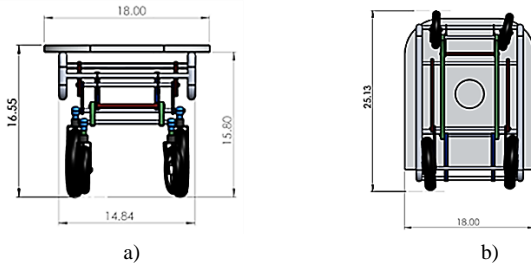


Fig. 5. a) Dimensiones de la base de la silla plegable (vista frontal), b) dimensiones de la base de la silla plegable (vista inferior).

La estructura está construida utilizando tubo de aluminio de aleación 6060 T66, lo que aporta ligereza y resistencia al conjunto, las figuras 6a y 6b muestran numerados todos los elementos que componen el sistema completo, cuya descripción se muestra a continuación.

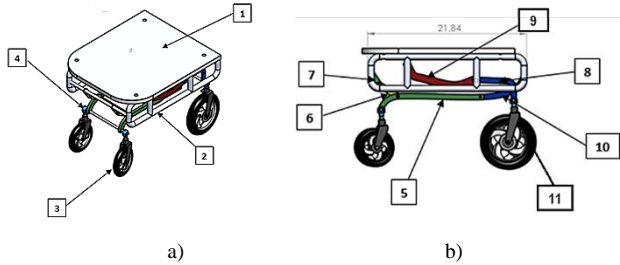


Fig. 6a y 6b. Componentes de la base de la silla de ruedas.

Compontes del sistema plegable de mecanismos en la parte baja de la silla de ruedas:

El primer elemento, muestra una placa rectangular de aluminio, redondeada en la parte frontal. Esta base está propuesta principalmente para soportar el asiento de la silla de ruedas junto con su usuario. Además, en ella se encuentran montados los eslabones del mecanismo responsable de plegar las ruedas de esta.

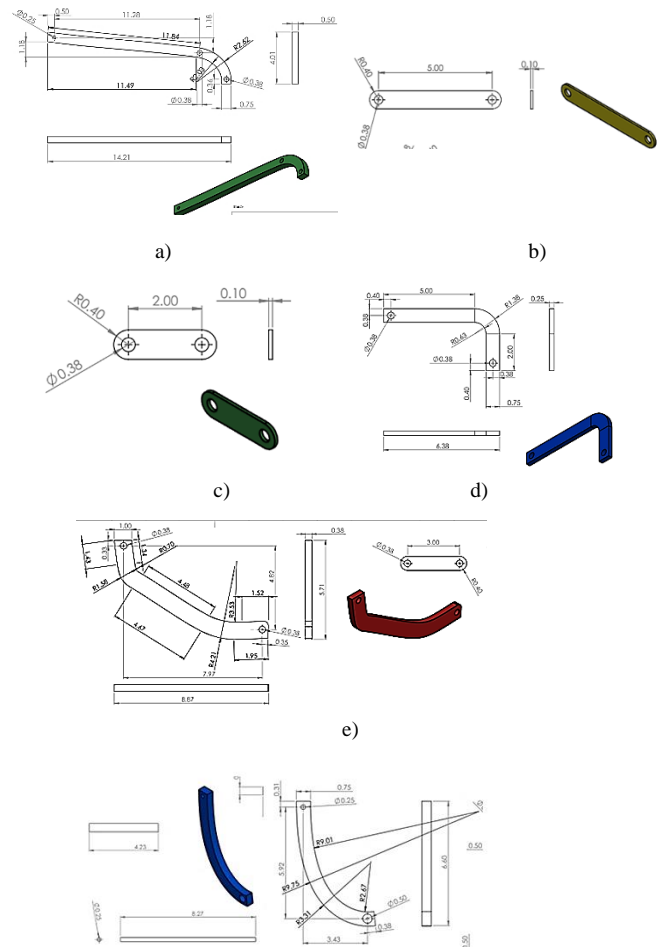
El número 2 señala una estructura tubular que cumple la función de servir como plataforma de montaje para la placa base de la silla de ruedas, contribuyendo a la distribución del peso de manera más efectiva. La estructura está construida

utilizando tubo de aluminio de aleación 6060 T66, lo que aporta ligereza y resistencia al conjunto.

El tercer elemento muestra las ruedas delanteras de goma antideslizante con una dimensión total que comprende el diámetro exterior y el ancho de la llanta, de 20 cm x 2.5 cm (8 x 1 pulgada). La distancia entre los rodamientos en ambos lados es de 5.5 cm (2.2 pulgadas). Además, el diámetro interno del rodamiento central mide 0.8 cm (0.3 pulgadas) y la longitud del tornillo del eje es de 8.5 cm (3.3 pulgadas). Estas ruedas tienen la función de proporcionar soporte para mantener el equilibrio de la silla, en colaboración con las ruedas traseras motorizadas.

El número 4 es un acoplamiento rotatorio, que tiene la función de habilitar el movimiento rotatorio de las ruedas delanteras, permitiendo que éstas se plieguen hacia el interior del mecanismo junto con los demás eslabones, está fabricado en aluminio.

Los elementos conformados por los numerales 5, 6, 7, 8, 9 y 10, indicados en la figura 6b, integran el mecanismo plegable de la silla de ruedas. Están fabricados en aluminio y tienen la función de generar el movimiento necesario para plegar las ruedas motorizadas hacia arriba, mediante un movimiento lineal. Además, en conjunto con el acoplamiento rotatorio, permiten el plegado lateral hacia el interior de las ruedas delanteras. Las dimensiones y especificaciones precisas de estos elementos se encuentran detalladas en las figuras 7a a la 7f.



f)

Fig. 7a a la 7f. Eslabones que componen el sistema plegable de la base de la silla de ruedas.

Por último, el número 11 muestra las ruedas motorizadas, cuya función es garantizar el desplazamiento autónomo de la estructura de la silla de ruedas. Cada una de ellas incorpora un servomotor integrado con un motorreductor compacto. Operando con un voltaje de 48 VCD, estos servomotores tienen la capacidad adecuada para mover el peso total tanto del mecanismo como del usuario de la silla de ruedas.

Construcción de interfaz Cerebro-Computador

Hoy en día la arquitectura del sistema BCI se utiliza con mayor frecuencia para neuro controlar dispositivos como sillas de ruedas, drones, prótesis, etc.; el uso de equipos con EEG son de bajo costo, compatibles, portátiles, es un método no invasivo que utiliza las señales fisiológicas para procesar señales EEG (medición de la actividad eléctrica del cerebro colocando un electrodo en el cuero cabelludo) y traducirlas en movimiento para controlar dispositivos a través de la mente (Ihab,2023).



Fig. 8. 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

El dispositivo utilizado para la recuperación y medición de EEG es una diadema Emotiv con cinco y 14 canales. La distribución y colocación de los sensores está bajo la norma del sistema internacional 10-20 (figura 8a). La figura 8 muestra la diadema que proporciona la lectura de señales EEG en el rango de microvoltios (μV) (GVB geliMED GmbH.), los principales ritmos de EEG se clasifican según el rango de frecuencia en alfa (α), beta (β), delta (δ), theta (θ) y gamma (Ihab,2022).

A continuación, se describe los pasos a seguir para la instalación del software, la conexión, configuración y calibración de los sensores de la diadema:

1. Para configurar, calibrar y utilizar la diadema será necesario descarga e instalar Emotiv Launcher en la siguiente dirección <https://www.emotiv.com/get-started/>
 - a. Antes de utilizarlo demás será necesario que tenga carga el 100%
 - b. Armar diadema e hidratar 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.

d. Colocar diadema en la cabeza teniendo precaución de que los sensores se coloquen respetando el sistema internacional 10-20 para lograr una lectura exitosa (figura 9a).

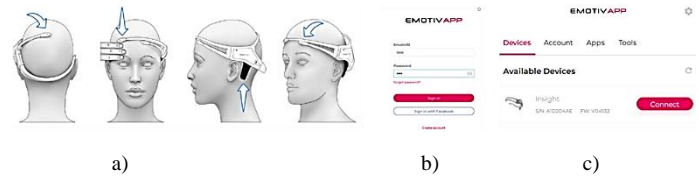


Fig. 9a) consideraciones para colocar y ajustar diadema, b) iniciar sesión, c) conexión por bluetooth

e. Crear cuenta e iniciar sesión desde la página oficial de Emotiv <https://www.emotiv.com/>

f. Ejecutar Emotiv app, iniciar sesión y ajustar diadema (figura 9).

g. Los sensores de la figura 8a deben estar en color verde para garantizar un 100% de calidad en la señal EEG.

2. Para controlar dispositivos utilizando la detección de comandos mentales será necesario instalar y ejecutar la aplicación de “Emotiv BCI” <https://www.emotiv.com/emotiv-bci/>

3. Una vez que se tiene la aplicación de BCI en ejecución y una calidad de conexión con la cadena del 100%, se puede utilizar la aplicación de BCI para entrenar el cubo y moverlo en sus cuatro direcciones (push, pull, left, right).



a)

```

276 def main():
277     # Please fill your application clientid and clientSecret before running script
278     your_app_client_id = '0f6e482f1b1f6a48991e15f5c2ab872f8c5'
279     your_app_client_secret = '4b339evdmu5f5v7a115m1a0af6f4n2ge1vbnw7558m7z3xcuoc44t6jph55tr8a1uuncs8ppl5pfo131170mj0e9p2h5m'
280
281     # Init live stream
282     l = live5dance(your_app_client_id, your_app_client_secret)
283
284     trained_profile_name = 'Jovant' # Please set a trained profile name here
285     l.start(trained_profile_name)
286
287 if __name__ == '__main__':
288     main()
289
290
291 # .....
    
```

b)

Fig. 10a) Aplicación para entrenar Cuba, b) Configuración de diadema en código de Python.

Para dar funcionalidad al BCI y neuro controlar la plataforma robótica, es necesaria la configuración del puerto serial, con el Arduino se trabajó con un algoritmo en Python con el SDK de EMOTIV el cual requiere la siguiente configuración:

1. Instalar las siguientes librerías desde la terminal:
 - a. Pip install websocket-client
 - b. Pip install python-dispatch
 - c. Pip install cortex2 o cortex (o ambas en caso de que el programa no corra)

- d. Pip install PySerial
- e. Pip install Serial
2. Obtener nombre del usuario, Client_id y Client_secret desde la página oficial de Emotiv y modificar código para establecer comunicación con la diadema EEG (figura 10a)
3. Antes de correr la aplicación será importante realizar el entrenamiento del cubo (Emotiv BCI) previamente
4. Finalmente conectar circuito y ejecutar código

Con la finalidad de llevar a cabo la integración y lograr la comunicación de la diadema para dar instrucciones neuronales y que a través de un prototipo se pueda ver su operación, se construyó el circuito con una placa de Arduino UNO, módulo bluetooth HC-06. Chasis rueda loca, 2 ruedas, 2 motores reductores TT de doble eje, módulo controlador de motores L298N, Interruptor ON/OFF de 2 pines, porta pilas

para la alimentación de la placa de Arduino, 4 pilas AA, pila de 9V para el controlador y motores (figura 11).

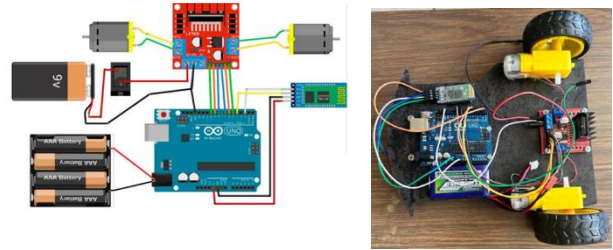


Figura 11. Esquema y prototipo para neuro controlar con la Diadema EEG

La figura 12 muestra un ejemplo del conjunto de señales que se obtienen a través de la diadema y la correlación que se realiza conserva dentro del conjunto se señales obtenidas.

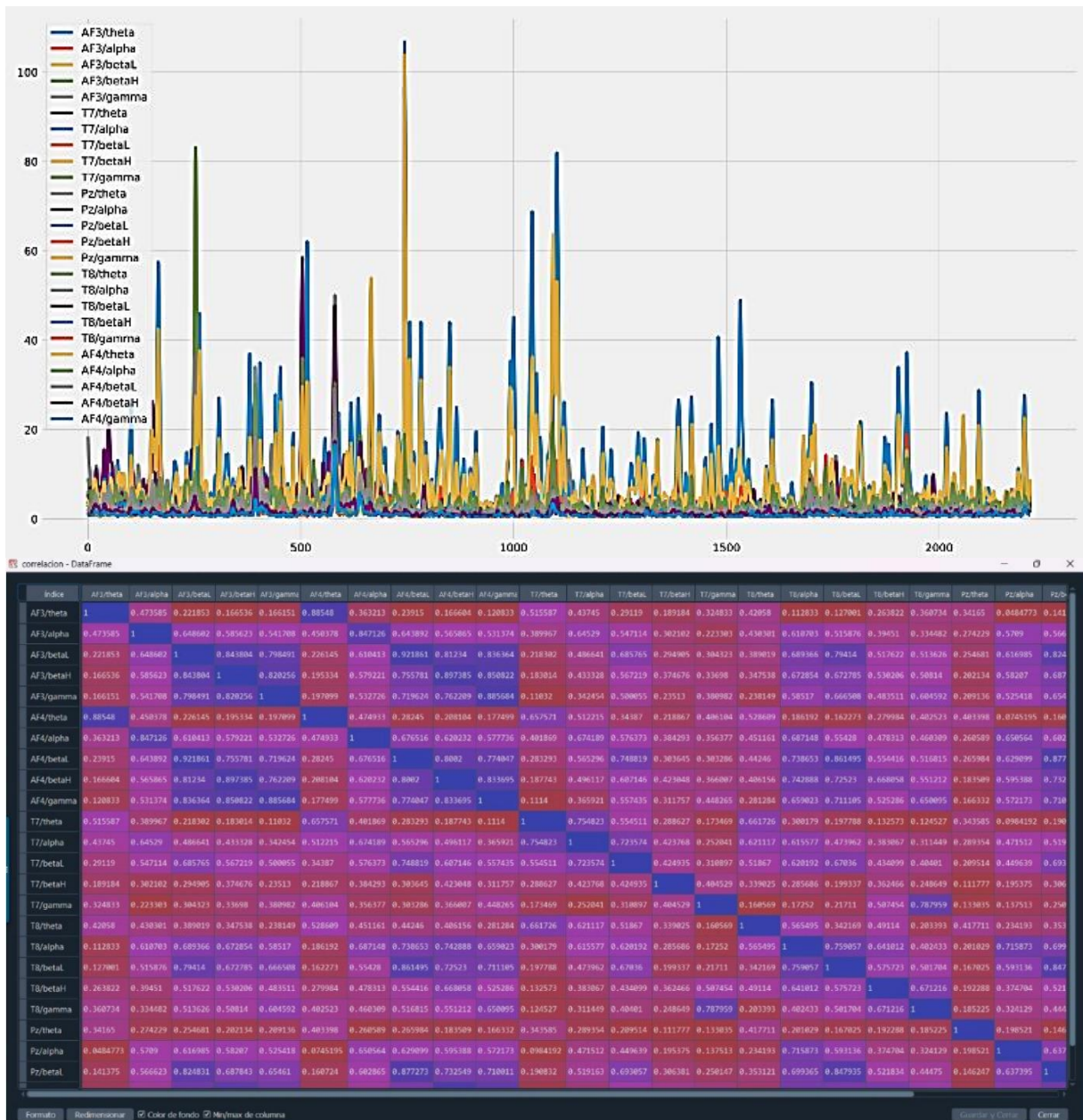


Fig. 12. Señales obtenidas por la diadema y correlación de las señales que registra cada sensor para el desplazamiento hacia atrás.

Resultados y Conclusiones

En la figura 13 se observa las señales procesadas que permiten observar la contribución de cada señal a la correlación en cada una de las direcciones en las que el móvil prototipo se desplaza.

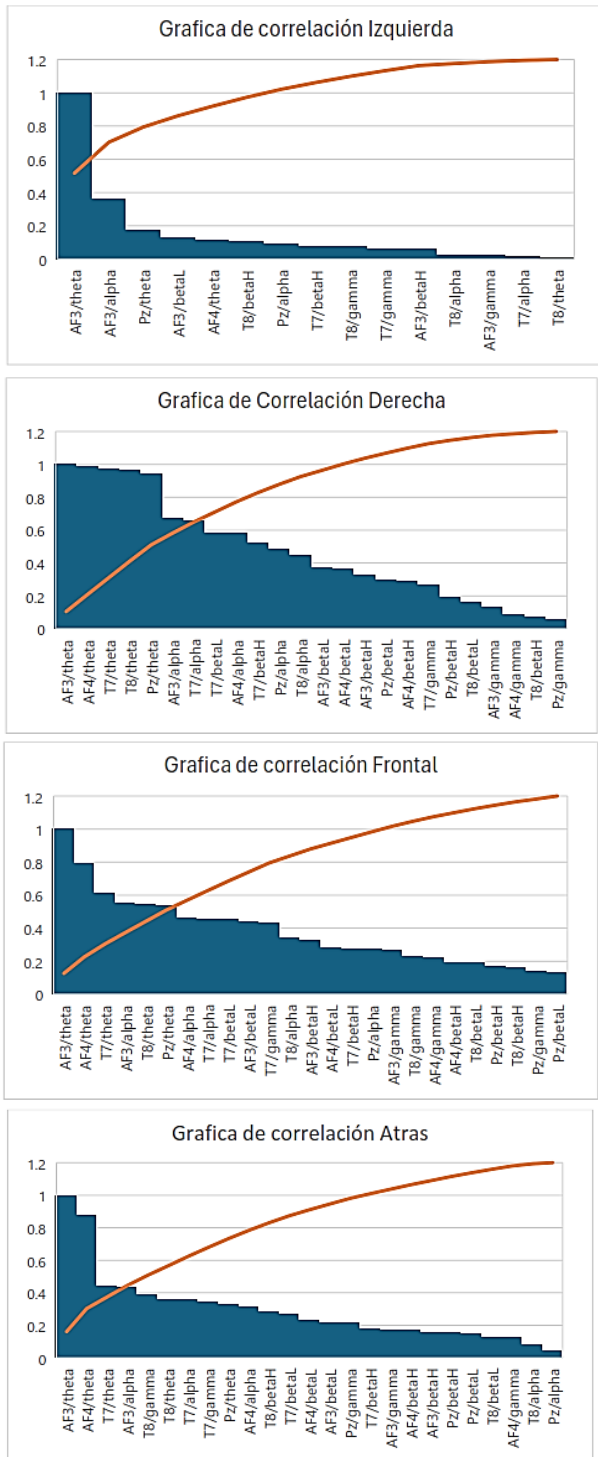


Fig. 13. Contribución a la correlación de cada una de las señales que se obtienen de la diadema, para cada una de las direcciones en las que se desplaza el móvil.

En relación con el desempeño de la plataforma, la figura 14 muestra su comportamiento en sus recorridos de desplazamiento y giro, considerando que la duración del movimiento es de un minuto, desde su posición inicial dentro del vehículo hasta su posición final fuera del vehículo. Los gráficos están asociados considerando que el peso del sistema es de 110 kg.

- **Posición lineal:** La gráfica superior muestra el desplazamiento de la silla hacia adelante, alcanzando un avance total de 1.5 metros en 60 segundos.
- **Ángulo girado:** La gráfica inferior muestra el ángulo de rotación de la plataforma, alcanzando 90 grados ($\pi/2$ radianes) al final del mismo tiempo.

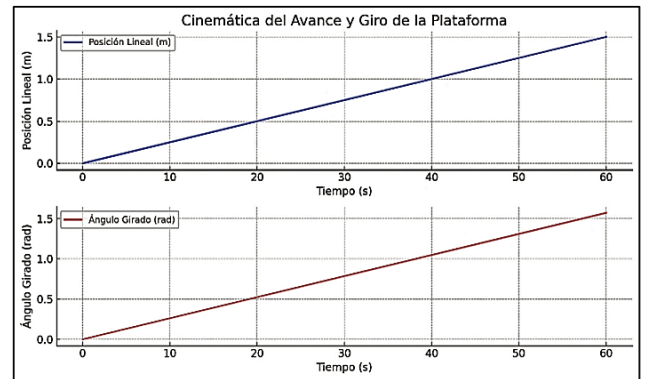


Fig. 14. Recorridos de la plataforma de elevación y giro

El esfuerzo realizado por la plataforma desde su posición inicial (dentro del vehículo) hasta la posición final (fuera del vehículo) se muestra en la figura siguiente, para ello, se consideran algunos factores clave que afectan el esfuerzo:

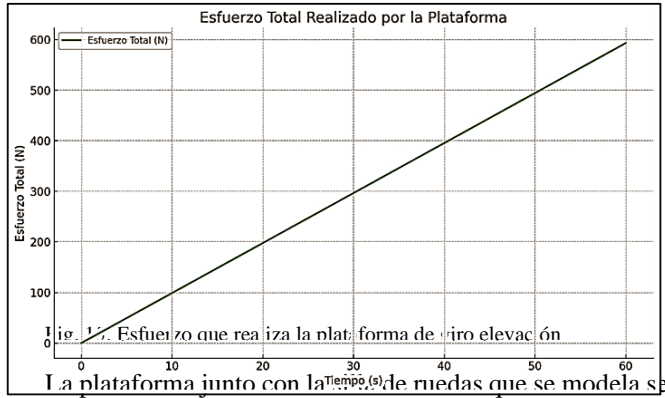
1. **Peso total (silla + ocupante):** 40 kg (silla) + 70 kg (ocupante) = 110 kg.
2. **Fuerzas involucradas:**

Peso total: $F = mg$, donde $g = 9.81 \frac{m}{m^2}$ es la gravedad.

Desplazamiento lineal: $\Delta x = 1.5 m$

Giro de la plataforma: la rotación también implica un esfuerzo adicional dependiendo del brazo de palanca y la resistencia a la rotación.

La figura 15 muestra el esfuerzo total que realiza la plataforma desde su posición inicial (dentro del vehículo) hasta la posición final (fuera del vehículo) a lo largo del tiempo, durante un minuto. Este esfuerzo incluye tanto el avance lineal como el esfuerzo de giro necesario para mover la silla de ruedas y su ocupante, con un peso combinado de 110 kg.



muestra en la figura 16, el modelado muestra los recorridos que realiza la plataforma de elevación giro desde su posición inicial hasta la final.

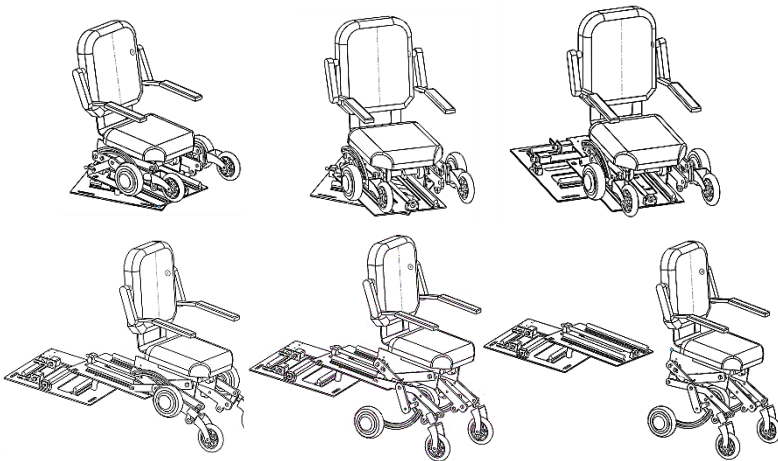


Fig. 16. Modelo del prototipo de sillas de ruedas que se construye.

Para lograr el movimiento de la plataforma se utilizan motores paso a paso NEMA 17 junto con un sistema de reducción con poleas dentadas (HTD3M) con una relación de 1/9. La figura 17 muestra el sistema de motores y poleas implementado para lograr el movimiento óptimo de la plataforma de elevación-giro.

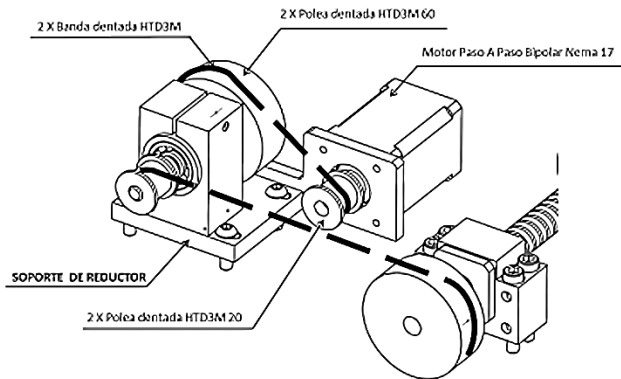


Fig. 17. Sistemas de motores y poleas considerado para controlar el movimiento de la plataforma de elevación-giro.

Esto implica que se está utilizando un motor adecuado para aplicaciones de alta precisión, donde se necesita controlar el movimiento con exactitud, como es el caso de plataformas móviles de elevación-giro. Las características clave de los motores necesarios:

1. Motor NEMA 17:

Tipo de motor: Paso a paso (bipolar).

Torque: Un motor NEMA 17 típico puede ofrecer entre 0.25 Nm y 0.5 Nm, dependiendo del modelo específico.

Precisión: Los motores paso a paso NEMA 17 ofrecen movimientos precisos debido a su naturaleza de pasos (por lo general, 200 pasos por revolución).

Corriente nominal: Los motores paso a paso NEMA 17 requieren corrientes típicas de entre 1.5 A a 2 A por fase, según el modelo específico.

Tamaño físico: El tamaño estándar es de 42 mm x 42 mm (dimensiones de la carcasa).

2. Sistema de reducción (poleas dentadas HTD3M):

Relación de reducción: La relación 1/9, por cada 9 vueltas del motor, el eje de salida realiza una vuelta. Esto permite que el motor entregue un torque más alto y mayor precisión en el control del movimiento, aunque a costa de una velocidad menor.

Aplicación: Esta reducción es útil para mover la plataforma con cargas pesadas (como el peso combinado de la silla de ruedas y su ocupante) sin que el motor se esfuerce demasiado.

3. Requisitos de Torque y Potencia:

Dado el sistema de poleas y la relación de reducción de 1/9, el torque disponible en el eje de salida será mayor que el del motor original. Esto mejora la capacidad de carga del sistema.

Potencia requerida: Para el caso analizado se necesitan motores NEMA 17 de 5W, recomendándose considerar un margen del 20 al 30% más con la finalidad de mejorar el desempeño, reducción proporcionada es suficiente para manejar pesos como el de la silla de ruedas (40 kg) y el ocupante (70 kg).

Cada parte del prototipo se modelo usando solidworks y se imprimen en 3D al 60% de su tamaño real (figura 15a), los materiales usados para la impresión fueron termoplásticos atendiendo a los costes de implementación.

La etapa de adquisición de datos y procesamiento de estos se realizan utilizando dos diademas de EMOTIV de 5 y 14 electrodos, así como el software EMOTIVPRO para la configuración de la diadema y MOTIVBCI para adquisición y procesamiento. Tanto en la fase de entrenamiento como en la de funcionamiento se observa para las 4 acciones neuronales cognitivas (avanzar, retroceder, izquierda, derecha) que es necesario que el usuario tenga una muy buena concentración y atención dado que la velocidad e intensidad de la respuesta depende en gran medida de esto; si el usuario

presenta dificultades para concentrarse no se logra generar los patrones necesarios para provocar las 4 acciones requeridas. En la figura 18a y b se muestra tanto el prototipo de la silla como las pruebas de abstracción de señales para lograr obtener las instrucciones para las 4 acciones neuronales cognitivas requeridas para el neuro control de la silla.



Fig. 18a) Plataforma robótica en impresión 3D neuro controlada con la Diadema EMOTIV EPOC X, b) entrenamiento del cubo y acciones de operación neuronal.

Las pruebas de neuro control permiten observar que el ambiente influye en el proceso de concentración del usuario y por tanto, en la calidad de la abstracción de señales necesarias para el control del movimiento de la silla. Por lo que el prototipo requiere que el usuario que va a utilizar la silla tenga un proceso de entrenamiento con el fin de generar una señal base que sirva de referencia para el módulo de control.

Para el módulo de navegación se integran: componentes de hardware como la Raspberry, Arduino y LiDAR 2D, con un programa desarrollado en ambiente ROS NOETIC en ambiente UBUNTU 20.04. Se validó la capacidad del sensor LiDAR 2D para proporcionar la percepción del entorno, así como se implementa el algoritmo SLAM para generar mapas en tiempo real. Se logró el telecontrol eficiente que permite una comunicación bidireccional efectiva entre el prototipo de la silla de ruedas y el usuario, utilizando el lenguaje de programación Python. La figura 19 proporciona el entorno real donde se realizan pruebas de mapeo y un fragmento de código para el mapeo.



Fig. 19. Ambiente real de mapeo y gráfico de un mapeo realizado por el LiDAR 2D montado en el prototipo de silla de ruedas.

Durante las pruebas se recopiló datos sobre:

- Tiempo de respuesta: Evaluación del tiempo necesario para que la silla reaccione a los comandos y a los obstáculos. El prototipo mostró una respuesta a los comandos con un tiempo promedio de reacción 20% menor en comparación con una silla de ruedas convencional.
- Tasa de colisiones: Frecuencia con la que la silla chocaba con obstáculos. La tasa de colisiones se redujo en 30% en entornos con obstáculos moderados, lo que sugiere que el mapeo mejora la capacidad de evitar obstáculos.

Agradecimientos

Este trabajo fue soportado por el trabajo colaborativo del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, el Instituto Tecnológico de Zitácuaro el centro de investigación en computación del Instituto politécnico nacional; instituciones pertenecientes LNC-IACD, mismas que agradecen al COMECYT por el soporte económico otorgado a través de la convocatoria de redes de colaboración en el 2023 para el desarrollo del proyecto. Asimismo, los autores expresan total gratitud a los investigadores y estudiantes por las contribuciones realizadas en esta investigación.

Referencias

- 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>
- GVB geliMED GmbH. (s.f.). Sistema de electrodos 10-20 en electroencefalografía (EEG). Recuperado de <https://gvb-gelimed.com/es/10-20-elektrodensystem-in-der-elektroenzephalografie-eeg/>
- 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_
- Kübler, A., & Birbaumer, N. (2008). Brain-computer interfaces and communication in paralysis: Extinction of goal directed thinking in completely paralysed patients? Clinical

- Neurophysiology, 119(11), 2658-2666. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.06.019>
- Millan, J. d. R., Rupp, R., Müller-Putz, G. R., Murray-Smith, R., Giugliemma, C., Tangermann, M., ... & Leeb, R. (2010). Combining brain-computer interfaces and assistive technologies: State-of-the-art and challenges. *Frontiers in Neuroscience*, 4, 161. <https://doi.org/10.3389/fnins.2010.00161>
- Leeb, R., Tonin, L., Rohm, M., Desideri, L., Carlson, T., & Millan, J. d. R. (2015). Towards independence: A BCI telepresence robot for people with severe motor disabilities. *Proceedings of the IEEE*, 103(6), 969-982. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2419736>
- Clerico, A., Kofman, J., & Aghvami, M. (2021). Autonomous wheelchair systems: State of the art and future trends. *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, 3(1), 3-15. <https://doi.org/10.1109/TMRB.2021.3059832>
- Putrino, D., & Smith, B. A. (2018). The future of brain-machine interfaces: Advances in neural engineering for neurorehabilitation and beyond. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 15(1), 85. <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0418-9>
- López, E., Zúñiga, E., & Díaz, A. (2019). Wheelchair control through brain-computer interfaces for people with motor disabilities: A review. *Journal of Advanced Research*, 20, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.06.002>
- Cortés, J. A., Montero, C. E., & Díaz, J. M. (2020). Integration of autonomous wheelchairs with vehicle systems for improved mobility: A review of assistive technologies. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, 7, 2055668320933030. <https://doi.org/10.1177/2055668320933030>
- Tanaka, S., & Hirata, K. (2018). Robotic wheelchair design for automated vehicle integration: Challenges and future perspectives. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 15(3), 848-858. <https://doi.org/10.1109/TASE.2018.2795019>
- Rodríguez, J., & García, P. (2019). Intelligent autonomous systems for integrating wheelchairs into automobiles. *Autonomous Robots and Systems Journal*, 14(2), 175-192. <https://doi.org/10.1007/s11964-019-00245-1>
- Chou, H. P., Lin, W. T., & Tsai, C. J. (2020). Automated wheelchair docking systems for vehicles: Review and future directions. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 98(3), 483-495. <https://doi.org/10.1007/s10846-020-01250-6>
- Tanaka, K., Okuda, H., & Oshima, T. (2018). Robotic platforms for autonomous wheelchair docking in vehicles: A novel approach. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 23(5), 2213-2223. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2018.2834640>
- Rodríguez, M., García, S., & Llamas, R. (2019). Autonomous docking systems for wheelchair integration in vehicles. *International Journal of Intelligent Transportation Systems*, 14(2), 95-107. <https://doi.org/10.1109/IJITS.2019.8890346>

Aplicación de la tecnología AMTEC para la gestión de datos del cultivo de arroz en Côte d'Ivoire: Application of AMTEC technology for rice cultivation data management in Côte d'Ivoire:

Laura-Mercedes Arteaga-Rojas ^a, John-Monje ^b, Edgar-Alirio Aguirre ^c

^aIngeniería de Sistemas, UNIMINUTO, 111311, Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia.

^aIngeniería de Agroecología, UNIMINUTO, 111311, Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia.

^aIngeniería de Electrónica, UNIMINUTO, 111311, Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia.

Resumen

La transferencia del modelo tecnológico AMTEC de cultivo de arroz se realizó en cuatro veredas rurales de Costa de Marfil. El objetivo fue implementar prácticas agroecológicas y tecnológicas para mejorar la producción y el cuidado del arroz. Se desarrolló una página web bajo la modelo vista controlador (MVC) para que los productores ingresen datos durante los procesos de monitoreo manual. Las actividades incluyeron levantamientos topográficos, monitoreos con drones y análisis de datos satelitales y climáticos. En el Territorio 1, se observó una predominancia de lluvias en junio y baja precipitación en diciembre, recomendando el uso de drones para el monitoreo. En el Territorio 2, se destacó la necesidad de sistemas de riego debido a la disminución de lluvias desde 2021. En los Territorios 3 y 4, se identificaron áreas de vegetación escasa y vegetación, utilizando sensores para mejorar la precisión de los datos. El monitoreo mostró índices de vegetación (NDVI) variando de 0.4 a 0.7 en diciembre, con predicciones de precipitaciones futuras de 0.577803 mm en 2025, -1.035868 mm en 2035 y -2.649539 mm en 2045. Datos satelitales indicaron que en el Territorio 1, los índices de vegetación aumentaron cada año, con un NDVI cercano a 1 para diciembre. Los datos de monitoreo en el Territorio 2 mostraron un NDVI estable entre 0.6 y 0.7 desde 2016, aunque las lluvias disminuyeron significativamente en 2023. La página web facilita la recopilación y gestión de estos datos, mejorando las decisiones agrícolas basadas en información precisa y actualizada.

1. *Palabras clave: Cultivo de arroz, Monitoreo satelital, Dron de datos, NDVI*

Abstract

The transfer of the AMTEC technological model for rice cultivation was carried out in four rural areas of Côte d'Ivoire. The objective was to implement agroecological and technological practices to improve rice production and care. A web platform was developed under the Model-View-Controller (MVC) model for producers to enter data during manual monitoring processes. Activities included topographic surveys, drone monitoring, and analysis of satellite and climatic data. In Territory 1, a predominance of rain was observed in June and low precipitation in December, recommending the use of drones for monitoring. In Territory 2, the need for irrigation systems was highlighted due to the decrease in rainfall since 2021. In Territories 3 and 4, areas of drought and vegetation were identified, using sensors to improve data accuracy. Monitoring showed vegetation indices (NDVI) ranging from 0.4 to 0.7 in December, with future precipitation predictions of 0.577803 mm in 2025, -1.035868 mm in 2035, and -2.649539 mm in 2045. Satellite data indicated that in Territory 1, vegetation indices increased each year, with an NDVI close to 1 for December. Monitoring data in Territory 2 showed a stable NDVI between 0.6 and 0.7 since 2016, although rainfall decreased significantly in 2023. The web platform facilitates the collection and management of these data, improving agricultural decisions based on precise and updated information.

Keywords: Rice Cultivation, Satellite Monitoring, Data Dron, NDVI

*Autor para la correspondencia: laura.artega-r@uniminuto.edu.co

Correo electrónico: laura.artega-r@uniminuto.edu.co (Laura Mercedes Arteaga Rojas), jmonje@uniminuto.edu (John Monje), eaaguirreb@correo.udistrital.edu.co (Edgar Alirio Aguirre).

1. Introducción

La implementación de tecnologías agrícolas avanzadas es crucial para mejorar los rendimientos de los cultivos y la sostenibilidad en las zonas rurales. En Costa de Marfil, la formación a productores de arroz de la transferencia del modelo tecnológico AMTEC para cultivos de arroz se llevó a cabo en cuatro áreas rurales que producen arroz con técnicas de prácticas agroecológicas y tecnológicas. El proyecto tenía como objetivo aprovechar herramientas modernas, incluidos aeronaves no tripuladas UAS y datos satelitales, para monitorear y gestionar el cultivo de arroz.[1]

Adicional, se plantea el desarrollo de un piloto de una página web utilizando el modelo Vista-Controlador (MVC), permitiendo a los productores ingresar datos durante los procesos de monitoreo manual de precipitaciones, condiciones del suelo, temperatura, etc. Esta web facilita la recopilación y gestión de datos, proporcionando información precisa y actualizada para mejorar las decisiones agrícolas.

Las actividades incluyeron levantamientos topográficos, monitoreo con drones y análisis de datos satelitales y climáticos. En el Territorio 1, se observó una predominancia de lluvias en junio, mientras que la baja precipitación en diciembre destacó la necesidad de monitoreo basado en drones. El Territorio 2 experimentó una disminución significativa en las precipitaciones desde 2021, enfatizando la necesidad de sistemas de riego. En los Territorios 3 y 4, se identificaron áreas de vegetación escasa y vegetación utilizando sensores para mejorar la precisión de los datos.[2, 4]

El monitoreo reveló índices de vegetación (NDVI) que variaban de 0.4 a 0.7 en diciembre, con predicciones futuras de precipitación que indican un declive, con valores de 0.577803 mm en 2025, -1.035868 mm en 2035 y -2.649539 mm en 2045. Los datos satelitales mostraron un aumento anual en los índices de vegetación en el Territorio 1, con NDVI cercano a 1 en diciembre. En el Territorio 2, se observó un NDVI estable entre 0.6 y 0.7 desde 2016, aunque 2023 vio una reducción significativa en las precipitaciones. Este enfoque integral demuestra la importancia de integrar tecnologías avanzadas de monitoreo para apoyar la agricultura sostenible en Costa de Marfil. [3,4]

2. Materiales y Método

Para comprender el análisis del territorio se hizo uso de imágenes satélites, que permitieron identificar variables de las condiciones del suelo y climatológicas durante los últimos 25 años. Y en complemento a las imágenes satelitales, se realizó un monitoreo con fotogrametría con el uso del dron DJI MINI 2 con el fin de correlacionar los datos de satélite y dron. Por consiguiente, se realizó un análisis a través de técnicas de procesamiento supervisadas de la data set de datos de UAS y

satelital de acuerdo con las condiciones de cada territorio investigado [5,6]. por lo cual el área de estudio abordado en este artículo se enfocó en cuatro territorios productores de arroz de Costa de Marfil de acuerdo con las orientaciones y directrices de la Agencia para el Desarrollo del Sector ARROZ (ADERIZ) de Costa de Marfil y la Agencia Presidencial de Cooperación Internacional de Colombia.[7]

Los factores que influyen las condiciones del suelo son los cambios de la temperatura, precipitaciones, el uso de la tierra y la concentración de CO². [4]

El modelo de regresión lineal, se enfoca en el análisis multitemporal de vegetación se describe bajo tres fases.

La primera fase, es la adquisición de los datos de acuerdo con el área de estudio, la segunda fase es el procesamiento y correlación de los datos fenológicos del data set de las imágenes de los satélites Landsat 5,7 y 8 y el orto mosaico de datos de dron por cada territorio visitado con los resultados del data set de imágenes del satélite IDAHO meteorológicos y la última fase es el análisis de los datos y visualización, aplicando modelos de Machine Learning de aprendizaje automático de predicción. , como se apreciar en la Figura 1.

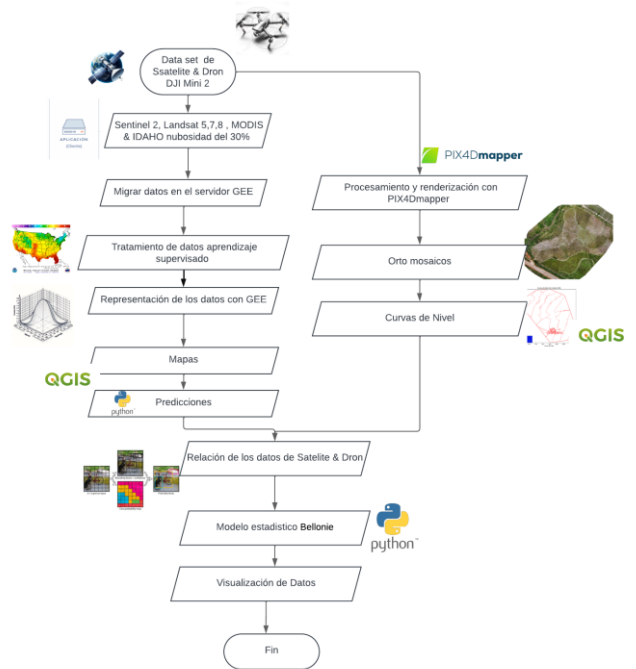


Figura 1: Modelo de análisis multitemporal de vegetación.

En la primera fase se adquirieron las coordenadas del polígono de los cuatro territorios. También se representan las Coordenadas por cada territorio, usando el Geoportail (GEE) Google Earth Engine (<https://code.earthengine.google.com/>) que aloja un data set de imágenes captadas por diferentes satélites, almacenados en el servidor de GEE contiene la

interfaz de JavaScript que proporciona información de diferentes bandas, entre esas, las infrarrojas (SWIR), las rojas (NIR) y entre otras. Permitiendo, combinarse entre sí obteniendo índices de vegetación como NDVI, EVI, NDWI, SAVI mensuales desde 1984 hasta 2023.

Y en esta primera fase, también se toman los datos topográficos con fotogrametría con el uso del dron DJI Mini 2 de cada uno de los territorios de Costa de Marfil en África. Los estudios con UAV se llevaron a cabo entre mediados (Diciembre). Luego, se digitaliza en el programa de procesamiento de datos de UAS Pix4D permitiendo obtener los orto mosaicos y datos RGB obtenidos del dron por cada territorio visitado.

En la segunda fase, los datos satelitales, se delimitan con el uso de un método de regresión lineal limitada de las imágenes de Landsat 5,7,8 y Sentinel 2, se seleccionaron datos satelitales de acuerdo con el año de monitoreo de cada satélite para una meta data de nubosidad del 30% entre los años 1984 y 2023.

También se normalizan los datos utilizando el entorno de servidor de Google Earth Engine (GEE), que opera mediante la interfaz de JavaScript. Esto permite que la recopilación y el alojamiento de datos meteorológicos de cada uno de los años en relación con el resultado de los datos vegetativos bajos o altos de acuerdo con las coordenadas de cada territorio. Ver Tabla 1. Coordenadas de los territorios.

Tabla 1: Coordenadas de los territorios

Lugar	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
Divo	-5.3228	5.8501
Sakassou	-5.0588	7.9000
África R	-5.3149	7.4719
M'Bahioakro	-4.3068	7.477

La tercera fase, el algoritmo de clasificación supervisada para determinar el comportamiento fenológico del ecosistema terrestre, se han desarrollado varios índices que emplean diferentes bandas de longitud de onda obtenidas de imágenes satelitales. Para este estudio se destacan los índices de NDVI, EVI, NDWI y SAVI, que son dependientes de las condiciones del áreas de estudio, permitiendo identificar la relación normalizada del rojo. Los métodos usados para identificar las propiedades de reflectancia espectral de la vegetación K-Means. [8].

Adicional, se utilizaron estadísticas descriptivas e histogramas, calculados con el software R, para una comparación preliminar de los datos de imagen con resoluciones. Luego se investigó el grado de correlación entre pares con el uso de Python y el software QGIS para el procesamiento de mapas, histogramas y de curvas de nivel del análisis de las bandas RGB y ortofotos adquiridas de la UAS

y data set satelital conforme a las condiciones del sensor remoto del Dji mini 2 que solo tiene tres bandas. [1,9]

Otra técnica, para alertar a las comunidades del estado actual de la vegetación, se realizan predicciones usando el modelo de aprendizaje automático del data set satelital e histogramas encontrados de las bandas RGB de las aeronaves UAS.

Además, las condiciones actuales de cada territorio, los autores participes cualitativamente observaron el bajo uso de herramientas tecnológicas, productores no contaban con maquinaria y se produce bajo a los requerimientos de ADERIZ, para que los productores diligencien los datos meteorológicos en la web, provenientes de pluviómetros, permiten alertar los conocimientos del estado actual climático de cada uno de los territorios visitados y monitoreados en Costa de Marfil de acuerdo con los requerimientos de ADERIZ.

Por ello, la adquisición de datos ingresados por los productores en la web, se basa en el modelo vista controlador, patrón de diseño que separa una aplicación en tres componentes: Modelo (gestiona datos y lógica), Vista (presenta la información) y Controlador (intermediario que procesa entradas y actualiza la Vista). Facilita el mantenimiento y la escalabilidad.. Ver Figura 2 Diagrama de despliegue

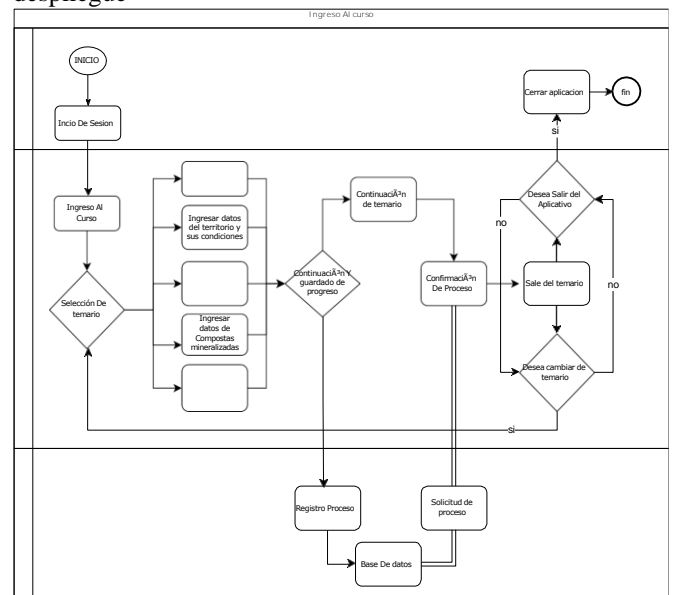


Figura 2: Diagrama de despliegue

3. Resultados

Se evidencian problemas en Costa de Marfil en los territorios investigados como también en Colombia debido a la falta de insumos y herramientas especializada para la producción de arroz.

Los resultados actuales se enfocan el monitoreo tecnológico en sitio del ciclo de vida del conjunto de datos

incluye un proceso de ETL (Extracción, Transformación y Carga) que implica la extracción, transformación y carga de datos para su análisis en cada territorio. Primero, se limpian y organizan los datos en bruto para prepararlos para el almacenamiento, el análisis y las aplicaciones de aprendizaje automático para las predicciones. Este proceso abarca el análisis de la relación entre los datos de precipitación y temperatura, la correlación de los datos de vegetación (NDVI) con las precipitaciones y la temperatura, la generación de mapas, curvas de nivel y ortomosaicos a partir de datos de drones y satélites, y la realización de predicciones específicas para cada territorio. Por último, se muestra el resultado de la web creada para ingresar los datos meteorológicos de cada territorio por parte de los productores de arroz.

3.1. Resultados Precipitaciones en relación con la temperatura.

A continuación se muestra la relación entre la temperatura y las precipitaciones por cada uno de los territorios visitados e investigados. Como se puede apreciar en la siguiente Figura 3. En cada uno de los territorios se pueden observar cambios máximos y mínimos, como en el territorio de Divo presenta un patrón climático con máximas precipitaciones entre abril y junio, superando los 200 mm, mientras que los mínimos se dan de diciembre a febrero, con valores entre 2 y 40 mm. Las temperaturas más altas ocurren en febrero y marzo, llegando a superar los 35 °C, mientras que las más bajas se registran entre junio y agosto, rondando los 26 °C.

En Sakassou, las temperaturas muestran una variación significativa a lo largo del año. Los meses más cálidos son febrero y marzo, con temperaturas máximas que superan los 40 °C, mientras que los meses más frescos, como mayo, junio, julio y septiembre, tienen mínimos por debajo de 25 °C. Esta variación sugiere un clima marcado por períodos de intenso calor y otros más moderados.

El análisis de los datos de precipitación y temperatura una de las piscinas de África Raice muestra variaciones notables a lo largo de los años. Los meses con mayores precipitaciones suelen ser abril, mayo y septiembre, con registros máximos que superan los 300 mm, mientras que los meses con menos lluvias se encuentran entre diciembre y febrero, con algunos registros mínimos cercanos a 0 mm. En cuanto a la temperatura, los valores más altos se observan durante los meses de febrero y marzo, alcanzando los 40°C, mientras que los más bajos se presentan en junio y julio, rondando los 26°C.

El análisis de M’bahiakro muestra variaciones significativas en precipitaciones y temperatura por meses. Las lluvias más intensas se presentan en septiembre y abril, mientras que los valores mínimos se dan en enero y diciembre. Las temperaturas alcanzan máximos en febrero, superando los 42 °C, y son más bajas en julio y agosto, cerca de 25 °C. Esto

indica una estacionalidad, con lluvias y temperaturas altas coincidiendo en ciertos periodos del año.

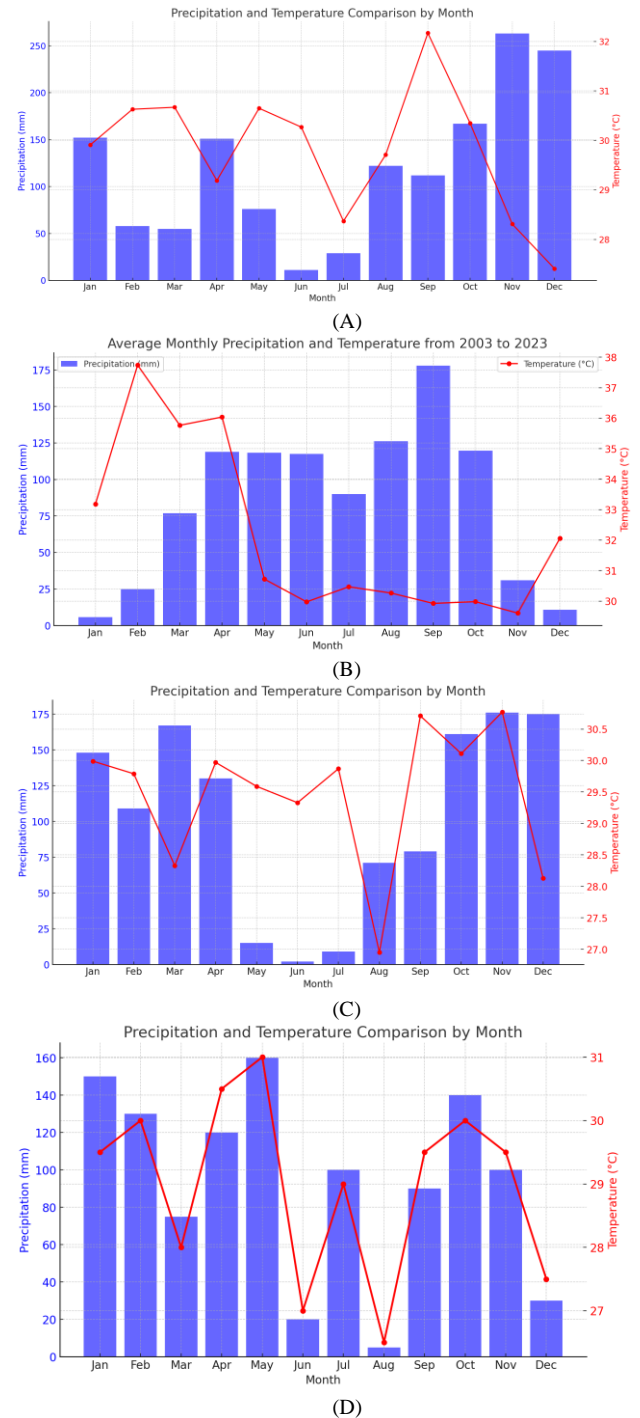


Figura 3 : Histogramas y relación de precipitaciones (mm) y temperatura (°C) de cada territorio. (A) DIVO(B) Sakassou (C) África Raice (D).M’Bahioakro.

3.1 Resultados de índices de vegetación normalizada (NDVI) en comparación precipitaciones y temperatura

A continuación se muestra uno de los territorios que sirven para mostrar la estadística usada de regresión lineal y R^2 , que permite correlacionar y determinar la vegetación escasa del territorio con referente a al NDVI (vegetación normalizada) en relación con la temperatura en relación con el dato de 30% de las nubes que toman a 0.5% de las imágenes satelitales y la cobertura vegetal. Ver Figura 4

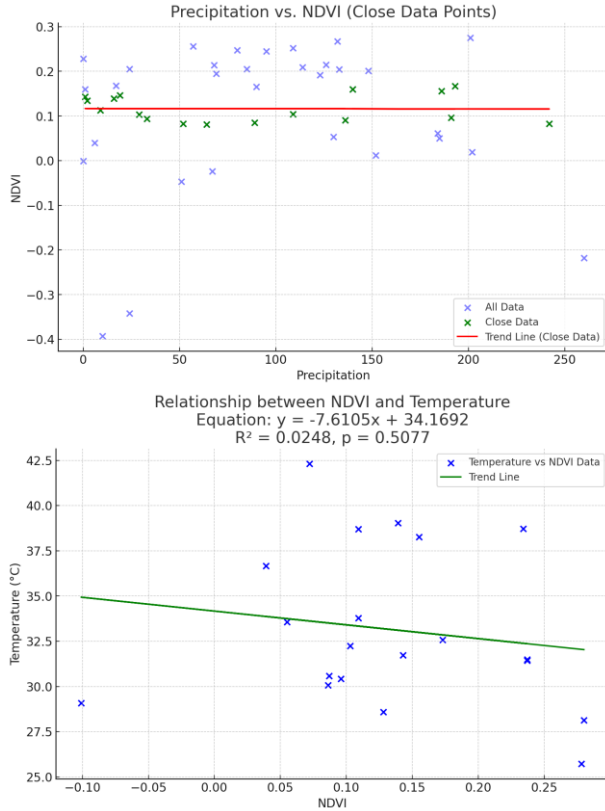
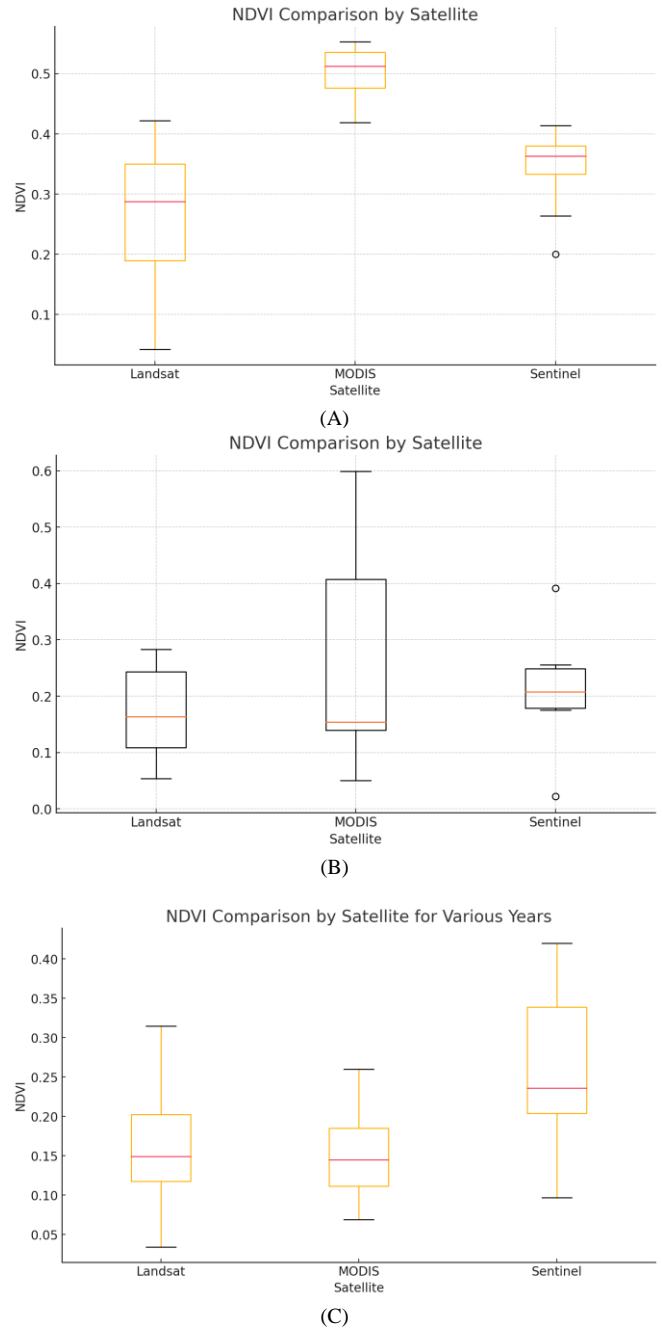


Figura 4: Línea de regresión temporal de M’Bahioakro del NDVI en relación con la Temperatura (°C) y precipitaciones (mm).

El análisis en M’Bahioakro muestra fluctuaciones significativas en los valores máximos, principalmente en marzo, abril, mayo, julio y agosto, y mínimos en diciembre, enero y febrero. La línea de tendencia indica una variabilidad considerable, con un R^2 bajo, lo que sugiere una correlación limitada y la influencia de factores adicionales en los datos. Identificar estos patrones puede ser clave para comprender las dinámicas subyacentes. Y de temperatura indica que la relación es negativa, ósea, débil entre NDVI y temperatura, con la ecuación ($y = -7.6105x + 34.1692$), ($y = -7.6105x + 34.1692$), ($y = -7.6105x + 34.1692$). El R^2 de 0.0248 sugiere que el NDVI apenas explica el 2.48% de la variabilidad en la temperatura. Los puntos cercanos a la línea de tendencia muestran una temperatura media de 32.4°C y un NDVI medio de 0.151, lo que indica una correlación baja en este conjunto de datos.

3.2 Resultados de distribución de NDVI para los satélites Landsat, MODIS y Sentinel.

A continuación, se pueden observar las escenas adquiridas de los satélites Landsat 5,7,8 ; Sentinel-2 y MODIS permitiendo determinar el índice de vegetación por cada satélite. Ver Figura 5.



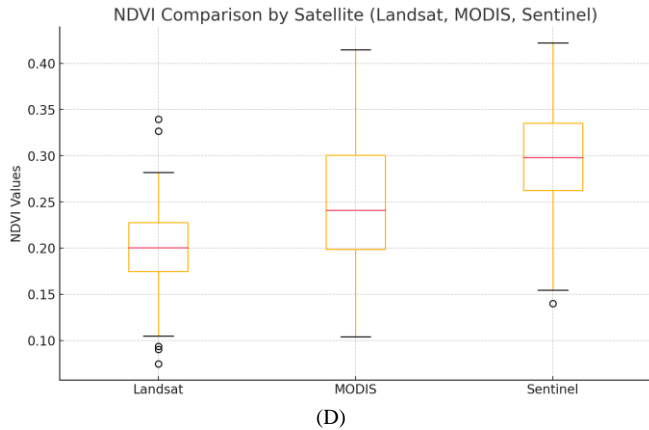


Figura 5 : Diagrama de cajas de los territorios. (A) Divo(B) Sakassou (C) África Raice (D).M’Bahioakro.

En África Raice, la comparación del NDVI por satélite revela diferencias en la monitorización de la vegetación. MODIS muestra la mayor variabilidad, con valores que van de 0.1 a más de 0.6, lo que lo hace adecuado para ecosistemas dinámicos. Landsat presenta una mediana de NDVI cercana a 0.20 y un rango más consistente, indicando estabilidad en la salud de la vegetación. Sentinel, con una mediana alrededor de 0.25, muestra una distribución más estrecha y algunos valores atípicos por debajo de 0.0, reflejando ocasionales desviaciones en las condiciones vegetativas.

En M’Bahioakro, Landsat tiene una mediana de 0.20 y poca variación, aunque se observan algunos valores atípicos bajos. MODIS muestra una mediana cercana a 0.25 y mayor variabilidad con pocos valores atípicos. En Sakassou, Sentinel captura la mayor dispersión de NDVI, de 0.05 a 0.45, mientras que Landsat presenta una mediana de 0.15 y una distribución más uniforme. MODIS, en esta región, muestra menor variabilidad y una mediana similar a Landsat.

3.3 Mapas, curvas de nivel, orto mosaicos de los datos de dron y satélite, y su relación.

A continuación, se muestra uno de los orto mosaicos elaborados y de calidad de acuerdo a las condiciones del territorio las curvas de nivel y los datos obtenidos de la fotogrametría en el territorio de Sakassou como se puede observar en la Figura 6.

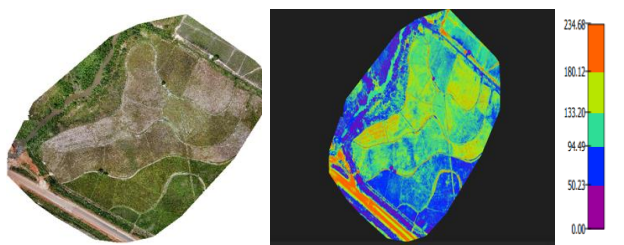


Figura 6: Orto mosaicos de Sakassou

En la siguiente figura 7, se aplica el método de Bellini para comparar las bandas Rojo, verde y azul (RGB) de la cámara del dron y del satélite

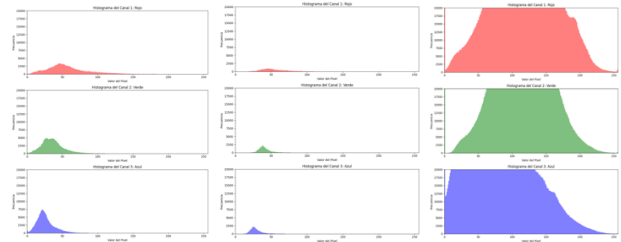


Figura 7: Histograma de datos Sentinel 2 del año 2016 (A), 2019 (B) y 2023 (C) con el uso de Dron.

Para poder empezar el trazado de Taipa, sirve para marcar los lugares donde se plantan las semillas de arroz. Y antes de, se toman las medidas con el Dron, que gracias a su sensor de altura permite nivelar el trazado de la Taipa. Ver Figura 8.

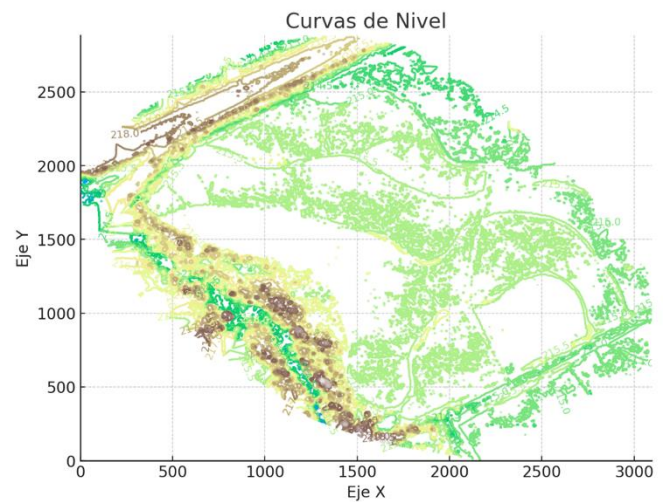


Figura 8: Curvas de nivel de Sakassou

3.4 Predicciones de NDVI

Las predicciones para los diferentes territorios muestran una tendencia general de crecimiento a lo largo de los años. En África Raice, los datos predicen valores moderados con Landsat (0.2959) y Sentinel (0.2941), mientras que MODIS registra un valor más alto de 0.5539, indicando una observación relativamente significativa en la región. El **RMSE promedio** entre Landsat y Sentinel 2 es de **0.032**, indicando una baja dispersión en las predicciones. El **MAE promedio** es de **0.026**, reflejando un error promedio bajo en los valores pronosticados. Estas métricas sugieren una alta precisión en las proyecciones de NDVI para los años 2025, 2035 y 2045, demostrando una buena cercanía a los datos históricos.

En Sakassou, se observa un incremento gradual en los valores: 0.311 para 2025, 0.361 para 2035 y 0.410 para 2045, lo que refleja un crecimiento sostenido en las próximas décadas.

Por otro lado, M’Bahioakro también muestra un aumento continuo con predicciones de 0.278 en 2025, 0.328

en 2035 y 0.379 en 2045 la validación del modelo se realizó usando técnicas RMSE (Raíz del Error Cuadrático Medio): 0.1002. Un RMSE bajo sugiere que el modelo es capaz de aproximar razonablemente bien los valores reales del NDVI Y MAE (Error Absoluto Medio): 0.0872. El MAE sugiere una precisión razonable del modelo.

En Divo se destaca con los valores más altos en comparación con los otros territorios, empezando con una predicción de 0.7858 en 2025, subiendo a 0.9453 en 2035 y llegando a 1.1049 en 2045. Esto sugiere un notable y sostenido crecimiento en esta región a lo largo de las dos décadas siguientes, indicando una tendencia más pronunciada que en los demás territorios analizados. Un RMSE de 0.132 indica que, en promedio, las predicciones del modelo se desvían de los valores reales en aproximadamente 0.132 unidades en términos de NDVI. Y un MAE (Error Absoluto Medio) igual a 0.127, bajo indica que el modelo es consistente, con un error promedio mínimo.

3.4 Página web

Es una herramienta interactiva que permite a los usuarios ingresar y registrar datos ambientales clave relacionados con diferentes territorios. A través de un formulario fácil de usar, se pueden introducir valores como la temperatura, la humedad, la cantidad de agua por mm de lluvia, el tipo de vegetación, datos químicos, datos biológicos y características del suelo, todos vinculados a una fecha específica (día, mes y año). La interfaz, diseñada con HTML y estilizada con CSS, facilita el ingreso de la información de manera organizada y eficiente, mientras que el backend desarrollado en PHP procesa y muestra los datos ingresados, permitiendo su manejo y análisis posterior. Ver figura 9 de la página web con el uso del servicio EC2 de Amazon S3 alojando el dominio y hosting del mismo. Esta nos permite al productor estar al tanto a ADERIZ del estado climatológico del territorio, permitiendo tomar de decisiones a mediano y largo plazo permitiendo complementar los datos satelitales y de UAS. Ver Figura 9.

Territory Data Entry

Temperature (°C):
1

Humidity (%):
40

Rainfall (mm):
100

Vegetation Type:
0.2

Chemical Data:
34- zinc

Biological Data:
44-na

Soil Data:
DIVO

Date:
13/12/2023

Submit

Figura 9: La página web del ingreso de datos agroecológicos.

4. Discusión

Los resultados y análisis de NDVI proporcionan a los agricultores información clave para ajustar sus prácticas agrícolas en función de las condiciones ambientales proyectadas. Con esta información, los agricultores pueden anticipar cambios en la vegetación y la disponibilidad de agua, lo cual les permite optimizar el uso de recursos como el riego y la fertilización. Las políticas agrícolas que podrían implementarse incluyen incentivos para la adopción de tecnologías de monitoreo satelital y drones, capacitación en prácticas de agricultura de precisión y el desarrollo de página web de visualización del monitoreo ambiental. La implementación de estas prácticas tecnológicas contribuirá a

una agricultura más sostenible y eficiente, adaptada a los cambios climáticos y a la disponibilidad de recursos.

5. Conclusiones

La implementación del modelo tecnológico AMTEC y el uso de herramientas avanzadas como drones y monitoreo satelital han demostrado ser efectivos para optimizar la producción de arroz en las zonas rurales de Costa de Marfil, permitiendo una toma de decisiones más informada y precisa sobre el manejo de los cultivos.

La variabilidad en los índices de vegetación y precipitaciones sugiere la necesidad de adaptar prácticas agrícolas específicas en cada territorio. La introducción de sistemas de riego y tecnologías de monitoreo en áreas con baja precipitación podría mitigar los efectos del cambio climático en la producción agrícola.

La página web desarrollada bajo el modelo MVC permite a los productores gestionar datos de monitoreo de manera sencilla, mejorando la accesibilidad a información actualizada y facilitando la toma de decisiones basadas en datos, lo cual podría ser un modelo replicable para otras regiones con necesidades similares.

6. Referencias

1. Román A, Tovar-Sánchez A, Gauci A, et al. Water-Quality Monitoring with a UAV-Mounted Multispectral Camera in Coastal Waters. *Remote Sens (Basel)*. 2023;15(1). doi:10.3390/rs15010237
2. Kemper T, Mudau N, Mhangara P, Pesaresi M. Towards a country-wide mapping & monitoring of formal and informal settlements in South Africa. *Pilot-study in cooperation with the South African National Space Agency (SANSA)* DOI:10.2788/970905. 2015.
3. Avtar R, Saito O, Singh G, et al. Monitoring responses of terrestrial ecosystem to climate variations using multi temporal remote sensing data in Ghana. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. ; 2014. doi:10.1109/IGARSS.2014.6946535
4. Avtar R, Yunus AP, Saito O, Kharrazi A, Kumar P, Takeuchi K. Multi-temporal remote sensing data to monitor terrestrial ecosystem responses to climate variations in Ghana. *Geocarto Int.* 2022;37(2). doi:10.1080/10106049.2020.1723716
5. Li D, Wu B, Chen B, et al. Open-surface river extraction based on sentinel-2 MSI imagery and DEM Data: Case study of the upper yellow river. *Remote Sens (Basel)*. 2020;12(17). doi:10.3390/RS12172737
6. Cuellar Y, Perez L. Multitemporal modeling and simulation of the complex dynamics in urban wetlands: the case of Bogota, Colombia. *Sci Rep.* 2023;13(1). doi:10.1038/s41598-023-36600-8
7. Rodríguez D, Jordi G, Roquet V. *Metodología de La Investigación*.
8. Avtar R, Saito O, Singh G, et al. Monitoring responses of terrestrial ecosystem to climate variations using multi temporal remote sensing data in Ghana. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. ; 2014. doi:10.1109/IGARSS.2014.6946535
9. G. Messina, J. M. Peña, M. Vizzari, y G. Módica, "Comparación de imágenes multiespectrales obtenidas por drones y satélites en el seguimiento del cultivo de cebollas. Una aplicación en la 'Cipolla Rossa di Tropea' (Italia)," *Sensores Remotos*, vol. 12, no. 20, p. 3424, 18 de octubre de 2020. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/rs12203424>

Los Estilos de Aprendizaje de la Programación Neurolingüística de Bandler y Grinder (Visual, Auditivo y Kinestésico), en la asignatura Emplea Frameworks para el Desarrollo de Software en el Nivel Medio Superior.

The Learning Styles of Bandler and Grinder's Neurolinguistic Programming (Visual, Auditory and Kinesthetic), in the subject Employs Frameworks for Software Development at the Higher Secondary Level.

Javier Norberto Gutiérrez Villegas¹, Israel Isaac Gutiérrez Villegas², Víctor Hugo Martínez Flores³, Esiquio Martín Gutiérrez Armentas⁴, Marco Antonio Gutiérrez Villegas⁵, Liliana Niño Monroy⁶

¹ Departamento Académico de Programación, cetis119-DGETI, México. ² División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tese - Tecnm, México
³ Departamento Académico de Programación, cetis119-DGETI, México, ^{4,5} Departamento de Sistemas, Área de Sistemas Computaciones, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, México, ⁶ Departamento Académico de Programación, cetis119-DGETI, México

Resumen

Existen diferentes autores que han realizado investigaciones para poder contestar la siguiente pregunta ¿Por qué los estudiantes no alcanzan el aprendizaje esperado?, para poder dar contestación a esta pregunta tenemos que tener conocimiento que los estudiantes tienen diferentes canales de percepción cognitivo para aprender y adquirir nuevos conocimientos, para cada uno de los estilos de aprendizajes se tendrían que realizar actividades y estrategias didácticas diferentes para que puedan alcanzar las competencias genéricas, disciplinares y profesionales que están enmarcadas en el perfil de egreso y asimismo alcanzar el aprendizaje esperado. Una de las problemáticas a la cual se enfrenta los sistemas de nivel medio superior, no solo es la implantación del nuevo modelo de la escuela mexicana, sino también que se apliquen actividades y estrategias didácticas que permitan el aprendizaje de los estudiantes en la asignatura Emplea Frameworks para el Desarrollo de Software, ya que a través del conocimiento adquirido le permitirá al estudiante adquirir el aprendizaje esperado. La preocupación actual de los profesores es encontrar actividades y estrategias didácticas que sean desafiantes, para que los estudiantes dentro del proceso enseñanza- aprendizaje pueda alcanzar el aprendizaje significativo. El objetivo de este proyecto es conocer los diferentes canales de percepción de los estudiantes de la asignatura Emplea Frameworks para el Desarrollo de Software de tercer semestre de la Carrera de Técnico en Programación en la escuela CETIS 119 dentro del Subsistema de la DGETI, dicha investigación permitirá conocer las ventajas y desventajas de los diferentes estilos de aprendizaje de los estudiantes, y con ello poder reducir los índices de reprobación y de deserción.

Palabras clave: Estilos de Aprendizaje, Estilos de Enseñanza, Estrategias.

Abstract

There are different authors who have carried out research to be able to answer the following question: Why do students not achieve the expected learning? In order to answer this question, we have to be aware that students have different channels of cognitive perception to learn and acquire new knowledge, for each of the learning styles, different didactic activities and strategies would have to be carried out so that they can achieve the generic, disciplinary and professional competencies that are framed in the graduation profile and also achieve the expected learning. One of the problems faced by high school systems is not only the implementation of the new model of the Mexican school, but also the application of teaching activities and strategies that allow students to learn in the Emplea Frameworks subject. for Software Development, since through the knowledge acquired it will allow the student to acquire

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

Correo electrónico: victorhugo.martinez.ce119@dgeti.sems.gob.mx (Víctor Hugo Martínez Flores), javiernorbrto.gutierrez.ce119@dgeti.sems.gob.mx (Javier Norberto Gutiérrez Villegas), iigv@hotmail.com (Israel Isaac Gutiérrez Villegas), emga@azc.uma.mx (Esiquio Martín Gutiérrez Armentas), magv@correo.azc.uam.mx (Marco Antonio Gutiérrez Villegas), liliana.nino.ce119@dgeti.sems.gob.mx (Liliana Niño Monroy).



Historial del manuscrito: recibido el 11/09/2024, última versión-revisada recibida el 02/10/2024, aceptado el 11/10/2024, en línea (postprint) desde el 15/11/2024, publicado el 15/11/2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14194090>

the expected learning. The current concern of teachers is to find activities and teaching strategies that are challenging, so that students within the teaching-learning process can achieve meaningful learning.

The objective of this project is to know the different channels of perception of the students of the subject Employ Frameworks for Software Development of the third semester of the Programming Technician Career at the CETIS 119 school within the DGETI Subsystem, this research will allow Know the advantages and disadvantages of the different learning styles of students, and thus be able to reduce failure and dropout rates.

Keywords: Learning Styles, Teaching Styles, Strategies.

1. Introducción

El término “estilo de aprendizaje” se refiere al hecho de que cada persona utiliza su propio método o estrategias para aprender. Aunque las tácticas varían según lo que se quiera aprender, cada uno tiende a desarrollar ciertas preferencias o tendencias globales, tendencias que definen un estilo de aprendizaje. Son los rasgos cognitivos, afectivos y fisiológicos que sirven como indicadores relativamente estables de cómo los estudiantes perciben interacciones y responden a sus ambientes de aprendizaje, es decir, tienen que ver con la forma en que los estudiantes estructuran los contenidos, forman y utilizan conceptos, interpretan la información, resuelven los problemas, seleccionan medios de representación (visual, auditivo, kinestésico), etc. Los rasgos afectivos se vinculan con las motivaciones y expectativas que influyen en el aprendizaje, mientras que los rasgos fisiológicos están relacionados con el género y ritmos biológicos, como puede ser el de sueño-vigilia, del estudiante [1].

Modelo de la Programación Neurolingüística de Bandler y Grinder

Este modelo, también llamado visual-auditivo-kinestésico (VAK), toma en cuenta que tenemos tres grandes sistemas para representar mentalmente la información, el visual, el auditivo y el kinestésico. Utilizamos el sistema de representación visual siempre que recordamos imágenes abstractas (como letras y números) y concretas. El sistema de representación auditivo es el que nos permite oír en nuestra mente voces, sonidos, música. Cuando recordamos una melodía o una conversación, o cuando reconocemos la voz de la persona que nos habla por teléfono estamos utilizando el sistema de representación auditivo. Por último, cuando recordamos el sabor de nuestra comida favorita, o lo que sentimos al escuchar una canción estamos utilizando el sistema de representación kinestésico.

A continuación, se especifican las características de cada uno de estos tres sistemas [2].

Sistema de representación visual. - Los estudiantes visuales aprenden mejor cuando leen o ven la información de alguna manera. En una conferencia, por ejemplo, preferirán leer las fotocopias o transparencias a seguir la explicación oral, o, en su defecto, tomarán notas para poder tener algo que leer.

Cuando pensamos en imágenes (por ejemplo, cuando “vemos” en nuestra mente la página del libro de texto con la información que necesitamos) podemos traer a la mente mucha información a la vez. Por eso la gente que utiliza el sistema de representación visual tiene más facilidad para absorber grandes cantidades de información con rapidez.

Visualizar nos ayuda a demás a establecer relaciones entre distintas ideas y conceptos. Cuando un estudiante tiene problemas para relacionar conceptos muchas veces se debe a que está procesando la información de forma auditiva o kinestésica.

La capacidad de abstracción y la capacidad de planificar están directamente relacionadas con la capacidad de visualizar.

Sistema de representación auditivo.- Cuando recordamos utilizando el sistema de representación auditivo lo hacemos de manera secuencial y ordenada. Los estudiantes auditivos aprenden mejor cuando reciben las explicaciones oralmente y cuando pueden hablar y explicar esa información a otra persona. El estudiante auditivo necesita escuchar su grabación mental paso a paso. Los estudiantes que memorizan de forma auditiva no pueden olvidarse ni una palabra, porque no saben seguir.

El sistema auditivo no permite relacionar conceptos o elaborar conceptos abstractos con la misma facilidad que el sistema visual y no es tan rápido. Es, sin embargo, fundamental en el aprendizaje de los idiomas, y naturalmente, de la música.

Sistema de representación kinestésico.- Cuando procesamos la información asociándola a nuestras sensaciones y movimientos, a nuestro cuerpo, estamos utilizando el sistema de representación kinestésico.

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

Correo electrónico: victorhugo.martinez.ce119@dgeti.sems.gob.mx (Víctor Hugo Martínez Flores), javiernorbrto.gutierrez.ce119@dgeti.sems.gob.mx (Javier Norberto Gutiérrez Villegas), iigv@hotmail.com (Israel Isaac Gutiérrez Villegas), emga@azc.uma.mx (Esiquio Martín Gutiérrez Armentas), magv@correo.azc.uam.mx (Marco Antonio Gutiérrez Villegas), liliana.nino.ce119@dgeti.sems.gob.mx (Liliana Niño Monroy).



Utilizamos este sistema, naturalmente, cuando aprendemos un deporte, pero también para muchas otras actividades.

Aprender utilizando el sistema kinestésico es lento, mucho más lento que con cualquiera de los otros dos sistemas, el visual y el auditivo.

El aprendizaje kinestésico también es profundo. Una vez que sabemos algo con nuestro cuerpo, que lo hemos aprendido con la memoria muscular, es muy difícil que se nos olvide.

Los estudiantes que utilizan preferentemente el sistema kinestésico necesitan, por tanto, más tiempo que los demás. Decimos de ellos que son lentos. Esa lentitud no tiene nada que ver con la falta de inteligencia, sino con su distinta manera de aprender.

Los estudiantes kinestésicos aprenden cuando hacen cosas como, por ejemplo, experimentos de laboratorio o proyectos. El estudiante kinestésico necesita moverse. Cuando estudian muchas veces pasean o se balancean para satisfacer esa necesidad de movimiento. En el aula buscarán cualquier excusa para levantarse o moverse.

Así como cada persona tiene distintas maneras de aprender, también tienen distintas conductas que pueden ayudar a determinar su aprendizaje: [3]

Visual:

- ✓ Organizado, ordenado, observador y tranquilo.
- ✓ Preocupado por su aspecto.
- ✓ Se le ven las emociones en la cara.

Auditivo:

- ✓ Habla solo, se distrae fácilmente.
- ✓ Mueve los labios al leer.
- ✓ Facilidad de palabra, no le preocupa especialmente su aspecto.
- ✓ Monopoliza la conversación.
- ✓ Le gusta la música.
- ✓ Modula el tono y timbre de voz.
- ✓ Expresa sus emociones verbalmente.

Kinestésico:

- ✓ Responde a las muestras físicas de cariño, le gusta tocarlo todo, se mueve y gesticula mucho.
- ✓ Sale bien arreglado de casa, pero en seguida se arruga porque no para.
- ✓ Tono de voz más bajo, porque habla alto con la barbilla hacia abajo.
- ✓ Expresa sus emociones con movimientos.

Estrategias para estudiantes según su estilo de aprendizaje:

1. Visual: [4]

- ✓ Mapas conceptuales
- ✓ Esquemas conceptuales
- ✓ Mapas mentales
- ✓ Cuadros sinópticos

- ✓ Redes o telarañas
- ✓ Mapas de ideas
- ✓ Líneas de tiempo
- ✓ Diagramas causa-efecto
- ✓ Diagramas de Venn
- ✓ Diagramas de flujo
- ✓ Organigramas
- ✓ Cuadros comparativos
- ✓ Gráficas circulares
- ✓ Presentaciones

2. Auditivo: [5]

- ✓ Leer en voz alta o con lectura sublingual (entre labios, escuchándose levemente) Animar a que expresen sus opiniones
- ✓ Motivar sus respuestas y participaciones orales
- ✓ Usar equipo de grabación para fijar el aprendizaje basado en lectura.
- ✓ Comparta su proceso de aprendizaje con quien es más visual.
- ✓ Aprender las cosas en poemas o canciones.
- ✓ Repetir el mismo, las cosas para escucharlas

3. Kinestésico: [6]

- ✓ Mostrar cómo hacer algo
- ✓ Utilización de sus manos al hacer las cosas
- ✓ Experimentación en prácticas
- ✓ Fichas con letras
- ✓ Realización de juegos (de mesa y de memoria)
- ✓ Tocar los objetos con sus manos al momento de aprender
- ✓ Poner en prueba lo que se esté aprendiendo

2. Planteamiento del problema

Con la Globalización, la demanda de recursos humanos por parte de empresas públicas y privadas, es un tema importante para estas, las cuales requieren de egresados de instituciones públicas y privadas con un alto conocimiento de egreso de su especialidad, se requiere de un buen perfil de egreso para que estos puedan dar soluciones para cada una de las diferentes necesidades y problemáticas específicas de la industria.

Los diferentes estilos de aprendizaje de la Programación Neurolingüística de Bandler y Grinder (VAK), permite que el estudiante desarrolle sus competencias genéricas, competencias disciplinares y sus competencias profesionales, asimismo permitirá a los estudiantes enfrente su labor profesional en la que se enfrentará a problemas de la vida cotidiana y profesional, en los cuales va requerir analizar, diseñar y construir, sabiendo que a través de los canales de percepción el estudiante va poder construir su propio conocimiento, mediante el proceso de resolver problemas vinculados con los intereses propios del estudiante y aplicando a la vida cotidiana.

En la actualidad dentro de la Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales y muy específico en la materia de Tópicos Avanzados de Programación se ha observado que los estudiantes cuentan con diferentes canales de percepción, por lo que se decidió realizar esta investigación para conocer los diferentes estilos de aprendizaje de los estudiantes

Conociendo los diferentes estilos de aprendizaje de sus estudiantes los maestros podrán diseñar actividades y estrategias didácticas desafiantes dependiendo del canal de percepción de cada uno de los estudiantes y con ello poder lograr desarrollar las diferentes competencias de egreso y lograr el aprendizaje esperado.

3. Delimitación de la problemática:

A continuación, a través del pescado de Ishikawa se identifican los diferentes modelos de estilos de aprendizajes.

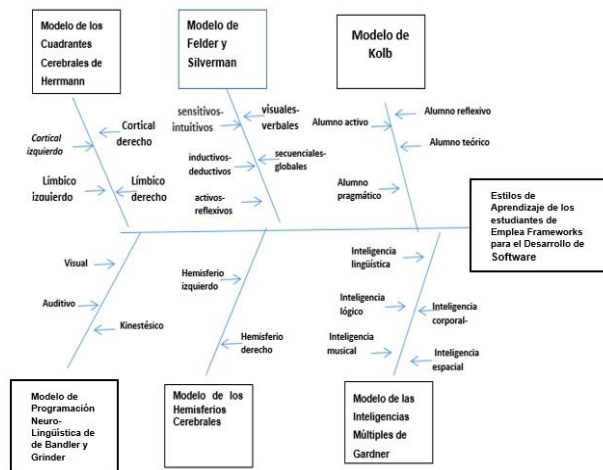


Fig. 1 Pescado de Ishikawa

4. Hipótesis

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó el Modelo de Programación Neurolingüística de Bandler y Grinder (Visual, Auditivo, Kinestésico) para evaluar y clasificar los estilos de aprendizaje de los alumnos, con el fin de diseñar estrategias pedagógicas en la asignatura Emplea Frameworks para el Desarrollo de Software

5. Justificación

La problemática del aprendizaje de la programación en el proceso enseñanza-aprendizaje en la asignatura Emplea Frameworks para el Desarrollo de Software dentro del aula ha sido, desde hace muchos años, una constante en el CETIS 119. Esta situación no es exclusiva de dicha institución; la problemática se puede apreciar en otras instituciones, también, de educación media superior. Una de las manifestaciones de esta situación es lo relativamente bajo del éxito escolar en los estudiantes, principalmente las materias

de programación que se imparten dentro de la carrera de Técnico en Programación.

De tal manera que el problema de investigación surge como respuesta a la necesidad de conocer sobre el impacto de los diferentes estilos de aprendizaje Visual, Auditivo y Kinestésico, en la asignatura Emplea Frameworks para el Desarrollo de Software y las adecuadas estrategias didácticas para cada uno de los canales de aprendizaje de los estudiantes. Lo que permitirá contribuir a dejar atrás la creencia entre los estudiantes, de que la programación es difícil de aprender y de aplicar en la vida profesional.

Determinar el canal de aprendizaje de los estudiantes, permite conocer cómo el estudiante se hace del conocimiento significativo cuando se enfrenta a un problema de contexto y de la vida cotidiana, en un escenario de su interés, principalmente el aprendizaje ocurre en escenarios en base al planteamiento de problemas en contexto y de la aplicación de estos a resolver problemas de la vida real. Por lo tanto, resulta importante atender y estudiar lo que sucede con los estilos de aprendizaje, porque finalmente intervienen factores como hábitos, creencias, costumbres y otros factores sociales y culturales en forma individual, que por su importancia no pueden ser ignorados.

El objetivo de este proyecto es conocer los estilos de aprendizaje que tienen los estudiantes de en la asignatura Emplea Frameworks para el Desarrollo de Software y fomentar el gusto por la programación.

6. Materiales y Método

A continuación, se muestra en la figura la metodología que se utilizara para el desarrollo de la investigación con sus correspondientes fases y actividades correspondientes.



Fig. 2 Metodología a usar

Como se puede observar en la figura las fases con sus respectivas actividades para el desarrollo de esta investigación son:

- 1.-Análisis: Problemática, Delimitación de la problemática, Justificación
- 2.-Aplicación del cuestionario de estilos de aprendizaje de VAK a los estudiantes.
- 3.- Procesamiento de la información: Determinar el número de estudiantes Visuales, Auditivos y Kinestésicos
- 4.- Conclusiones: Conclusiones, Estrategias didácticas que se utilizarán

predominantes de una muestra de los estudiantes en la asignatura Emplea Frameworks para el Desarrollo de Software, el grupo de 3 semestre de la materia de Emplea Frameworks para el Desarrollo de Software de la carrera de Técnico en Programación se compone de 30 estudiantes, 15 mujeres y 15 hombres, donde sus edades están entre los 15 y 17 años de edad. Se aplicó al grupo un test de acuerdo al modelo de VAK (Visual, auditivo, kinestésico) para identificar los estilos de aprendizaje de cada estudiante, de este test se emana que el grupo se conforma con estudiantes con preponderancia de estilos de aprendizaje heterogéneo entre visuales, auditivos y kinestésicos.

En la figura 3 se muestra los estilos de aprendizaje de los estudiantes, de acuerdo al cuestionario aplicado, como se puede observar en la figura los estilos visuales y auditivos son los de mayor predominancia en la clase.

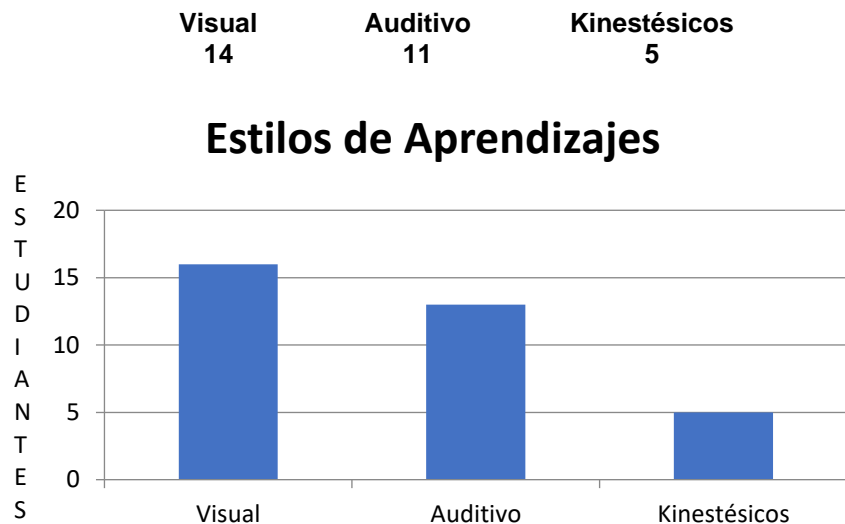


Fig. 3 Estilos de aprendizajes grupal

7. Resultados de la aplicación del cuestionario de aprendizaje de VAK a los estudiantes.

Como se mencionó anteriormente, el propósito de esta investigación es identificar los estilos de aprendizaje

En la figura 4 se muestra los estilos de aprendizaje de acuerdo con el género y como se puede mostrar hay una preponderancia al estilo visual y auditivo tanto en hombres como en mujeres.

Visual	Audi-tivo	Kinesté-sicos
--------	-----------	---------------

Hombres	8	4	3
Mujeres	7	4	4

Estilos de Aprendizajes por Genero

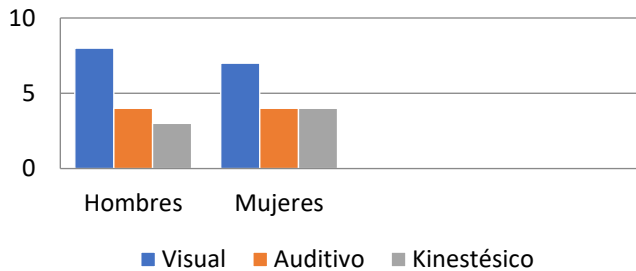


Fig. 4 Estilos de aprendizajes por genero

Estilos de Aprendizajes Mujeres

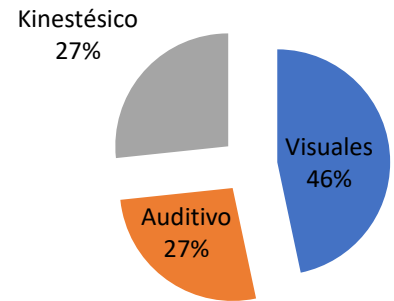


Fig. 6 Estilos de aprendizajes mujeres

En la figura 5 representamos el porcentaje de los estilos de aprendizaje que se presentan en los hombres del grupo de 3 semestre de la materia de Emplea Frameworks para el Desarrollo de Software Teniendo como mayor al aprendizaje Visual, con un 53%, seguido por el Auditivo con un 27% y el menos pero no menos importante, el Kinestésico con el 20%.

Estilos de Aprendizajes Hombres

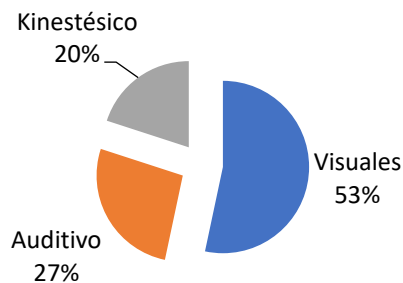


Fig. 5 Estilos de aprendizajes hombres

En la figura 6 se representan los porcentajes de los tipos de aprendizajes más frecuentes en las mujeres del grupo de cuarto semestre de la materia de Tópicos Avanzados de Programación. Siendo el estilo de aprendizaje Visual el más usual entre ellas, con un 46% por otra parte con el aprendizaje auditivo, con un 27% y el kinestésico, con un 27%

Estrategias de Enseñanza

Como se puede observar en la figura la mayoría de los estudiantes se encuentra en el estilo de aprendizaje visual y auditivo.

Asimismo una vez conocidos los estilos de aprendizaje de los estudiantes, algunas de las estrategias para aplicar al grupo de la materia de Emplea Frameworks para el Desarrollo de Software de la carrera de Técnico en programación:

- ✓ Mapas conceptuales
- ✓ Mapas mentales
- ✓ Cuadros sinópticos
- ✓ Líneas de tiempo
- ✓ Organigramas
- ✓ Cuadros comparativos
- ✓ Presentaciones
- ✓ Leer en voz alta o con lectura sublingual (entre labios, escuchándose levemente) Animar a que expresen sus opiniones
- ✓ Motivar sus respuestas y participaciones orales
- ✓ Mostrar cómo hacer algo
- ✓ Experimentación en prácticas
- ✓ Poner en prueba lo que se esté aprendiendo

8. Discusión

Conocer los canales de aprendizaje de cada uno de los estudiantes, permite organizar diversas estrategias didácticas y actividades que permitan poder desarrollar las competencias de los estudiantes de acuerdo a los diferentes estilos de aprendizajes y con ello alcanzar el aprendizaje esperado.

Se aprovecha en la clase la diversidad de estrategias didácticas y de actividades, por lo que se realizan trabajos en equipo en donde los estudiantes pueden compartir sus saberes y habilidades, estableciendo con claridad en forma conjunta las normas de convivencia para el desarrollo de las mismas y su relación entre compañeros.

9. Conclusiones

De acuerdo al resultado del test en el cual sabemos el tipo de canal de aprendizaje que tienen los estudiantes, se tendrá que programar actividades para los tres tipos de aprendizajes (visuales, auditivos y kinestésicos).

En cuanto a las estrategias didácticas y actividades de acuerdo a los estilos de aprendizajes de los estudiantes, y a sus habilidades cognitivas y sus ritmos de aprendizajes, se propondrán que las estrategias didácticas y actividades sean más dinámicas, atractivas y desafiantes para los estudiantes, y que sean pertinentes para el desarrollo de sus competencias genéricas, disciplinares y profesionales de los estudiantes, y el aprendizaje esperado.

Las estrategias seleccionadas responden a las características de edad, desarrollo y aprendizaje de los estudiantes de tipo visuales, auditivos y kinestésico, además de que propician selección, clasificación, síntesis de la información y al aprendizaje no lineal que se enfoca en el empoderamiento significativo desde la necesidad de aprender algo y una reflexión a mayor profundidad sobre el tema teniendo como base para la elaboración de los productos la práctica social de lenguaje sobre texto expositivo permitiendo que el estudiante reflexione, contraste, analice y argumente sus ideas y propuestas.

Las actividades de aprendizaje colaborativas permiten desarrollar competencias que posibilitan al estudiante

integrarse en una nueva sociedad, mediadas por las nuevas tecnologías digitales, donde el docente cumple con una labor fundamental, dinamizador, orientador y asesor de todo el proceso de enseñanza y aprendizaje.

10. Referencias

- [1] Woolfolk A, *Psicología Educativa*, Ed. Prentice-Hall, México, 1996
- [2] www.pcazau.galeon.com/guia_esti.htm
- [3] De la Parra Paz, E. *Herencia de vida para tus hijos. Crecimiento integral con técnicas PNL*, Ed. Grijalbo, México, 2004.
- [4] Lindstrom, Robert L., *Being Visual, Chapter 3: Multimedia Literacy. A Guidebook for Strategic Presentation in the Rich-media Communications Era*.
- [5] Zepeda G. (2013) Recuperado de: http://www.ehowenespanol.com/estilos-aprendizaje-kinestesico-auditivo-visual-ninos-info_365240/
- [6] Valenza J. (2000) México, Sin Editorial, *Estrategias de aprendizaje kinestésico*

Redes Neuronales Recurrentes para la detección de noticias falsas cuentas Bot en Twitter

Recurrent Neural Networks for fake news and Bot accounts detection on Twitter

Sandra Paulina Castillo Cárdenas ^{a,b,d} , Francisco Jacob Ávila Camacho ^{a,c} 

^a División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México /TES Ecatepec, 55210, Ecatepec, Estado de México, México. ^b Programa Investigadoras e Investigadores COMECYT, Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología, 50120, Toluca, Estado de México, México. ^c Centro de Cooperación Academia Industria, Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec, 555210, Ecatepec, Estado de México, México. ^d Doctorado en Sistemas Computacionales, Universidad Da Vinci, 11520, CDMX, México

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo e implementación de un modelo de Inteligencia Artificial (IA) para la detección de cuentas bot y noticias falsas en Twitter (ahora X). El modelo combina técnicas de Análisis de Sentimiento (AS), Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN), Redes Neuronales Simples (RNS) y Redes Neuronales Recurrentes (RNR), diseñadas para identificar bots a nivel de tweet y diferenciar entre noticias verdaderas y falsas. El objetivo principal es proporcionar un sistema capaz de detectar cuentas operadas por bots de manera rápida y eficiente, al mismo tiempo que genera un repositorio y un catálogo de medios que diseminan información falsa. El proyecto fue desarrollado en la plataforma Google Colab, utilizando bibliotecas especializadas para el análisis de datos y el procesamiento de texto en Python, como NLTK, TextBlob y spaCy. El modelo también integra la herramienta Botometer, un algoritmo basado en IA que facilita la identificación de bots mediante el análisis de patrones de comportamiento y contenido en cuentas sospechosas. El sistema emplea algoritmos de aprendizaje automático para procesar grandes volúmenes de tweets, y su implementación permite la detección automatizada de bots en tiempo real. Los resultados obtenidos muestran una precisión del 75.96% en la detección de bots, validando la eficacia de las Redes Neuronales Recurrentes utilizadas en el modelo. Adicionalmente, se analizaron métricas como retweets y likes, lo que evidencia la funcionalidad y viabilidad del enfoque propuesto para combatir la desinformación en redes sociales.

Palabras clave: Análisis de Sentimientos, Bots, Redes Neuronales Recurrentes y Redes Sociales.

Abstract

This paper presents the development and implementation of an Artificial Intelligence (AI) model for the detection of bot accounts and fake news on Twitter (now X). The model combines Sentiment Analysis (SA), Natural Language Processing (NLP), Simple Neural Networks (SNN) and Recurrent Neural Networks (RNR) techniques, designed to identify bots at the tweet level and differentiate between true and fake news. The main objective is to provide a system capable of detecting bot-operated accounts quickly and efficiently, while generating a repository and catalog of media that disseminate false information. The project was developed on the Google Colab platform, using specialized libraries for data analysis and text processing in Python, such as NLTK, TextBlob, and spaCy. The model also integrates the Botometer tool, an AI-based algorithm that facilitates the identification of bots by analyzing behavioral and content patterns on suspicious accounts. The system employs machine learning algorithms to process large volumes of tweets, and its implementation allows for automated detection of bots in real time. The results obtained show a 75.96% accuracy in detecting bots, validating the effectiveness of the Recurrent Neural Networks used in the model. Additionally, metrics such as retweets and likes were analyzed, which demonstrates the functionality and viability of the proposed approach to combat misinformation on social networks.

Keywords: Analysis of Sentiments, Bots, Neural Networks and Social Networks.

1. Introducción

Hoy en día las personas utilizan cada vez más las redes

sociales, ya que son uno de los medios de comunicación preferidos [1], debido a que tienen un impacto social decididamente fuerte [2] como Twitter o X, que es un servicio de red social [3], donde muchos usuarios se convierten en

*Autor para la correspondencia: zandy.castillo@gmail.com

Correo electrónico: zandy.castillo@gmail.com (Sandra Paulina Castillo Cárdenas), fjacobavila@tese.edu.mx (Francisco Jacob Ávila Camacho).

Historial del manuscrito: recibido el 28/6/2023 última versión-revisada recibida el 9/08/2024 aceptado el 22/08/2024, en línea (postprint) desde el 15/11/2024, publicado el 15/11/2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14194198>



portadores de información, mediante este sitio las personas se pueden expresar y compartir opiniones, lamentablemente puede haber difusión de información dañina, a través de diferentes cuentas mediante el intercambio de tweets y retweets [4], publicados por usuarios [5] debido a que la información se propaga a una velocidad extremadamente alta. Las noticias falsas que se difunden pueden influir en las personas e inferir en la toma de decisiones, los usuarios reciben tweets, algunos de los cuales son enviados por bots. La mayoría de los estudios sobre los bots sociales se centran en Twitter [6] ya que se puede acceder fácilmente a sus datos y donde la desinformación ha cobrado un gran protagonismo [7].

Los bots mal intencionados pueden causar daño antes de ser detenidos, la propagación de noticias falsas en las redes sociales origina confusión dentro de la sociedad, por lo tanto, es importante detectarlo para reconocerlos. En este trabajo se hace uso del método de análisis de datos, Redes Neuronales Simples y Redes Neuronales Recurrentes RNR (o en inglés Recurrent Neural, Network RNN) [8], para su estudio e identificación entre otras, así como el procesamiento automático de los textos a través del análisis de sentimientos AS (o SA por sus siglas en inglés, Sentiment Analysis) [9] [10] o minería de opinión [11], usando el dataset del repositorio Cresci, donde todo se inició desde cero.

En este estudio, se propone el diseño de un modelo inteligente para la identificación de bots en Twitter, en el cual se realizó la extracción y análisis de sentimientos de nuestro dataset. Para la visualización de los datos se utilizó la librería Matplotlib ya que realiza la interpretación gráfica para facilitar la comprensión del comportamiento. El modelo fue entrenado por medio de dos tipos de redes neuronales: una red simple y una red neuronal recurrente, en la cual se implementó una arquitectura LSTM (Long Short Term Memory) para optimizar la capacidad de la red al trabajar con secuencias de datos y gestionar dependencias temporales de los datos, mejorando así el análisis de secuencias en la detección de patrones característicos de cada cuenta.

En la clasificación de los datos se utilizó la API de Twitter, junto con el Dashboard de Twitter, con el fin de obtener las claves de acceso a nuestras API Key necesarias para acceder a los datos, creando una cuenta en Twitter específicamente con las que se hizo las pruebas, desarrollado internamente, sumando a esto, se instaló del dataset Cresci, esto para hacer la extracción de los tweets de datos para detectar bots, estos datos se prueban en tiempo real, optimizando el proceso para alcanzar la mayor precisión posible.

I. ESTADO DEL ARTE

A medida que han aparecido nuevos métodos de detección de bots más eficaces y complejos, los bots también han evolucionado para adaptarse, por ello existen diferentes métodos de detección de bots.

Los primeros trabajos que introdujeron el término de análisis de sentimientos fue el presentado por [12], en su publicación definen como encontrar expresiones de sentimientos para un sujeto dado y determinar la polaridad de

cada sujeto mencionado en el texto. El análisis de sentimientos también se ha utilizado para la detección de bots, los autores [13] aplicaron el análisis de sentimientos como métodos para la verificación y clasificación de cuentas, usando algoritmos de aprendizaje automático, dando como resultado satisfactorio la precisión para la identificación de bots.

El autor P. Burgos [14] para la detección de usuarios falsos en Twitter, se empleó el DataSet Cresci-2017 y como método Random Forest, definiéndolo como una de las mejores técnicas de clasificación supervisadas, para determinar tipos de bots, clasificando la información extraída de los metadatos del usuario empleando información derivada de sus tweets.

Los autores [15] aplicaron un método exploratorio no supervisado donde identifica de manera adaptativa el comportamiento de los bots a medida que evolucionan. La implantación de este método da un 30% en la precisión de manera inteligente en el espacio de funciones, proponiendo el algoritmo BotWall este algoritmo exploración adaptativa de Twitter realiza una detección con una precisión de 90% de bots no descubiertos.

En los trabajos [16], [17] emplearon el conjunto de algoritmos de aprendizaje automático, analizando y etiquetando usuarios manualmente, para la detección de falsos seguidores de Twitter, dando como resultado que los modelos Random Forest y las máquinas de vectores soporte (SVM) logran un 97% de precisión. Wang [18] combina métodos similares, llevando a cabo características basadas en gráficos para identificar bots en Twitter y cuatro clasificadores de aprendizaje automático.

Vander Walt & Eloff van der Walt & Eloff [19] detectaron con éxito cuentas falsas creadas por bots, con el uso de modelos de aprendizaje automático supervisado, dando como resultado una predicción de cuentas falsas generadas por humanos con un 49,75% de efectividad.

En 2012 [20] utilizaron un conjunto de datos con usuarios etiquetados manualmente, para identificar características que diferencian a bots, humanos y cyborg en Twitter, el sistema se basó en varios modelos que determina la clase mediante la regla de Bayes obteniendo una precisión del 96%, en el modelo.

Los autores [21] implementaron un algoritmo de aprendizaje automático, tiene como características que incluyen longitud de los nombres, tasa de reenvío, patrones temporales, expresión de sentimientos y variedad de mensajes para la detección de bots. Esta técnica de detección de Twitter es efectiva para detectar bots con una tasa de clasificación errónea del 2,25%.

Los autores Chu, Zi, Gianvecchio, Steven y Wang, Haining [20] diseñaron un sistema de clasificación automatizado, que consta de cuatro partes el componente de antropía (verifica patrones de tiempo de tweet), el componente de aprendizaje automático (comprueba el contenido de spam) y el componente de propiedades de la cuenta (verifica los valores anormales de la cuenta de Twitter) y tomador de decisiones (resume las características identificadas de usuario para

determinarla probabilidad de ser humano, bot o cyborg) para la clasificación de cuentas humanas, bots o cyborg en Twitter, con resultados satisfactorios

En [22] desarrollaron un método de cuatro técnicas para detectar bots, el cual consiste en detección de inconsistencias y modelado de comportamiento, análisis de texto, análisis de red y aprendizaje automático, con resultados satisfactorios.

Por otro lado [23] proponen un marco de referencia y evaluación de detección de bots de Twitter TwiBot-22, con un método basado en gráficos, con resultados satisfactorios.

En 2016 en el proyecto Truthy [24] desarrollaron una técnica supervisada de manera exitosa, para evaluar la probabilidad de que una cuenta sea un bot.

Este trabajo se enfoca en analizar los metadatos del contenido de los tweets en tiempo real para identificar cuentas bots en Twitter. Se diseñó y entrenó una red neuronal simple y una red neuronal recurrente, para mayor eficacia en los resultados. Nuestro trabajo es un complemento valioso para la investigación existente sobre la detección de Bots en Twitter

Los bots de Twitter [25] incluyen:

Spambots: (bots de spam), difundir spam sobre diferentes temas.

Paybots: Ganan dinero ilícitamente. Algunos bots de pago, copian el contenido de los tweets de fuentes respetadas, pagan micro-URL que guían a los usuarios a sitios que pagan al creador del bot, por guiar el tráfico al sitio.

Influencia: Los bots intentan influir en las conversaciones de Twitter sobre un tema específico

II. ANTECEDENTES TEORICOS

Este apartado se aborda el tema principal de este trabajo, el modelo de RNR, este sistema usa una arquitectura LSTM, una variante de las RNN, la red recurrente simple y análisis de sentimientos. En nuestro modelo se emplean la red neuronal simple, RNR y el modelo neuronal de memoria a corto plazo LSTM.

A. Redes Neuronales Recurrentes

El modelo de Redes Neuronales Recurrentes es muy utilizado en multitud de dispositivos de uso frecuente en la actualidad.

Las RNR son los modelos de redes de neuronas artificiales (RNA) en el cual las conexiones entre unidades forman un ciclo dirigido, se usan específicamente para el reconocimiento de voz y escritura [26] para procesar datos de estructura, está conformada por neuronas recurrentes que presentan un bucle de retroalimentación [27]. Puede tomar simultáneamente una secuencia de entradas y producir una secuencia de salidas [28], utilizan su razonamiento de experiencias anteriores, para informar los próximos eventos [29], analizan secuencias temporales, y el procesamiento secuencial de datos [30] que cambian con el tiempo. Su principal ventaja es la posibilidad de almacenar una representación de la historia reciente de la

secuencia [31].

Las RNR engloban la capacidad de analizar secuencias temporales de datos de tamaño variable y predecir cuál será el siguiente valor en la serie, en este caso las RNR toman como entrada una serie temporal de datos y predicen con cierta probabilidad, cuál será el siguiente valor para saber si es una cuenta bot en Twitter o no.

Las RNR hacen uso de información secuencial, para procesar datos. Tienen capacidad para procesar y obtener información de datos secuenciales [32]. Son modelos de redes de neuronas artificiales, en la que las conexiones entre unidades forman un ciclo dirigido, esto es una secuencia en la caminata a lo largo tanto de vértices como bordes. Tiene capa de entrada, capa oculta y capa de salida, como se ilustra en la figura 1.

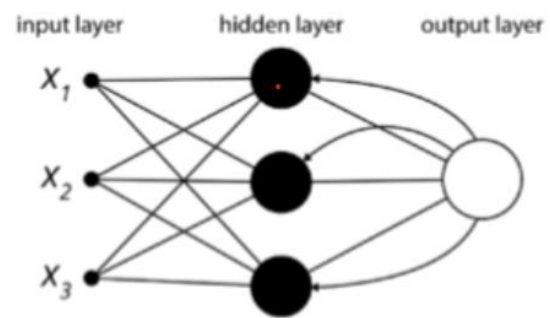


Figura 1: Red Neuronal Recurrente RNR [26].

Según [26], los ciclos dentro de la estructura de la red, se pueden analizar secuencias de tiempo. Frecuentemente se realiza el despliegue de la estructura, para obtener una versión de la red que dependa de una secuencia de entradas, conforme lo visto en la figura 2. Donde los pesos y los sesgos del bloque S son compartidos, la salida es h_t , las entradas x_i con $i \in [0; t]$. El número de bloques depende de la longitud de la secuencia a analizar.

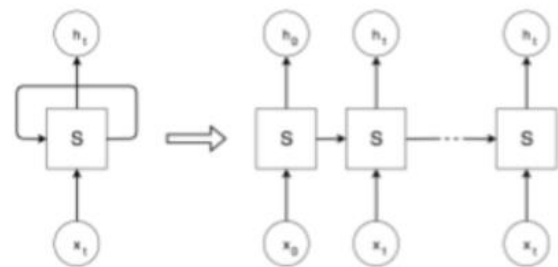


Figura 2: Despliegue de una RNR [26].

Una RNN puede ser clasificada en parcial o totalmente recurrente, las totalmente recurrentes son las que cada neurona puede estar conectada a cualquier otra y sus conexiones recurrentes son fijas, las parcialmente recurrentes son las que sus conexiones recurrentes son fijas, reconocen o reproducen secuencias las conexiones son hacia adelante, incluyen un conjunto de conexiones retroalimentadas [33], tienen

conexiones recurrentes [34], guardan una copia de los valores anteriores de la capa que contiene los nodos recurrentes y los usa como entrada adicional para el siguiente paso, permitiendo que la red muestre un comportamiento temporal dinámico para una secuencia de tiempo [35].

En el desarrollo de este modelo utilizado para implementar la RNR es secuencial, se compone de dos capas, una oculta con nodos recurrentes y una de salida con uno o dos nodos lineales.

B. Memoria a corto plazo a largo plazo

En 1997 surgen las redes LSTM [36]. Es un tipo de RNN, que contiene celdas especiales que son capaces de aprender dependencias a largo plazo. El uso de las LSTM en RNN ayuda a resolver el problema del gradiente de desaparición, puesto que las celdas LSTM permiten que los gradientes fluyan sin cambios [37]. El componente principal de un modelo LSTM es un bloque de memoria, que consta de una o más celdas de memoria, una compuerta de entrada y una compuerta de salida [38]. En la figura 3 se muestran la estructura de una celda LSTM con puertas y funciones de activación.

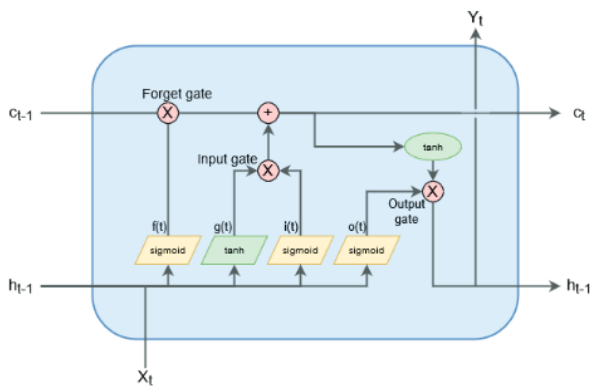


Figura 3: Estructura de una LSTM [39].

2. Materiales y Método

El Proyecto se desarrollo dentro de la plataforma Google Colab, ya que ofrece un entorno de programación basado en la nube, la utilizamos por su integración con Python e instalamos las librerías NLTK, TextBlob y spaCy para realizar el análisis de sentimientos, la librería Pandas se utilizó en el análisis de datos, para el procesamiento de una gran cantidad de tweets a la vez y la identificación de patrones en el comportamiento de cuentas sospechosas se basó en el modelo de red neuronal, utilizando Botometer ya que es un algoritmo basado en Machine Learning que se usa en Inteligencia Artificial para la detección de bots o en este caso humanos.

C. Extracción de datos de Twitter

La extracción de datos se llevó a cabo mediante Tweepy API con el fin de recopilar datos de Twitter incluyendo la

autenticación y extracción de tweets, adicionalmente, se utilizó Botometer con el propósito de hacer una evaluación de cuentas sospechosas que pudieran ser bots.

D. Recopilación de datos

Se utilizó el Dataset Cresci, que contiene varios dataset seleccionando el Botometer feedback 2019, este repositorio contiene tweets, con el objetivo de recopilar un listado de usuarios, tanto reales como falsos para etiquetar si es bot o humano, se sacaron todos los metadatos en una tabla para exportarlos en un archivo Excel para hacer el arreglo en una tabla y se sacaron los más importantes lo que nos permitió conocer acerca de la descripción de la cuenta, si la cuenta es de una persona que estuvo retuiteando, compartiendo información y esos datos se colocaron en un arreglo para saber si es un humano o bot, con los siguientes datos: Nombre de la cuenta, de donde proviene la cuenta, descripción, seguidores que tiene, si es una cuenta humana o bot, si tiene verificación o si está protegida la cuenta, con la extracción de estos metadatos se entrenó la red neuronal recurrente.

Para garantizar que los datos estuvieran listos con el fin de ser procesados por el modelo neuronal, se llevó a cabo un proceso de limpieza de datos. Este proceso consistió en la eliminación de información irrelevante que podría afectar la precisión en la clasificación de los tuits, los elementos eliminados incluyen caracteres especiales, direcciones URLs, emojis y menciones a usuarios, etiquetas, que no aportaban valor significativo al análisis del contenido textual, de esta manera, se optimizó la calidad de los datos de entrada, mejorando el desempeño del modelo para su clasificación, después de la limpieza de datos se aplicó el método de extracción de características Tf-idf (es un cálculo estadístico), para transformar los datos cualitativos en representaciones cuantitativas, este proceso permitió convertir el texto en vectores numéricos, asignando un peso a cada término interpretados y procesados de manera eficiente facilitando la clasificación y análisis preciso de la información.

E. Clasificación de noticias falsas

Se creo un archivo en Excel que incluye noticias recopiladas, conjunto de datos de artículos de noticias falsas y noticias verdicas, noticias de diferentes temas, para evitar el ajuste excesivo de los clasificadores y proporcionar más datos de texto para mejorar el modelo y poder entrenar la red neuronal. El conjunto de datos (noticias) contiene cuatro columnas las cuales son:

- Número (partiendo desde 0).
- Título (Encabezado de la noticia).
- Texto (Contenido de la noticia).
- Etiqueta (0=falso, 1=real).

Con la finalidad de tener una mejor predicción en la

detección de bots se recopilaron 1000 noticias.

F. Entrenamiento de la red

Se creó un archivo de Excel, donde se incluyen noticias recopiladas para poder entrenar la red neuronal. En la creación de la red neuronal se utilizó la biblioteca para aprendizaje automático Tensor Flow, se instaló e importo las librerías, para poder cargar los datos (el Excel que se creó con las noticias) y se añadió al entorno de Google Colab (es una plataforma para ejecutar código en la nube).

Para el preprocesamiento de los datos se utilizaron dos herramientas de detección de bots, API de Twitter y Botometer, con el fin de revisar la evaluación que hace cada cuenta de manera más gráfica y categorizar algunas cuentas de Twitter que no estaban etiquetadas, nos apoyamos con la plataforma de Botometer, con el propósito de revisar la evaluación que hace cada cuenta. Se creó un arreglo, el cual incluye una lista de cuentas de Twitter que comparten noticias, ingresamos los metadatos, para obtener el nivel de bot de cada cuenta que tiene cada arreglo e importamos Twitter con RapidAPI. Cabe mencionar que Botometer trabaja con la API de Twitter y con RapidAPI, con los metadatos extraídos manualmente se genera el nivel de bot, de cada cuenta que tenemos en el arreglo, esta clasificación permite que el algoritmo de aprendizaje automático clasifique un conjunto de cuentas de prueba. Se crearon variables para poder almacenar la información obtenida de cada metadato, en el archivo de Excel creado que incluye noticias recopiladas, esto para poder entrenar la red neuronal.

Para la creación de la red neuronal, utilizamos la biblioteca para aprendizaje automático Tensorflow, donde se cargaron los datos (nuestro Excel que se creó con las noticias) y se cargó a Google Colab, para ejecutar el entrenamiento y prueba con un 80% del contenido del archivo con noticias. Al finalizar el proceso de prueba se generan matrices para hacer uso de la red.

Con ayuda del repositorio de Cresci, se utilizó el DataSet Botometer feedback, para la implementación de una red neuronal recurrente. Adicionalmente, se instaló la AIP de Botometer para crear un arreglo que incluye una lista de cuentas de Twitter que comparten noticias, se ingresaron los metadatos de estas cuentas que fueron procesados para determinar el nivel de actividad bot de cada una de ellas. En un arreglo se guardaron algunos de las cuentas que se trabajan en Twitter que comprende noticias para su posterior análisis.

Las siguientes secciones describen el marco general para la recopilación de datos y el análisis metodológico de nuestro estudio.

La Metodología desarrollada proporciona un porcentaje de efectividad, detecta con precisión las cuentas de bots en Twitter y la combinación de una red LSTM, encargada de procesar el texto de los tuitst y una RNR que toma como entrada las palabras procesadas.

La arquitectura del sistema representada en la figura 4, resume de manera integral todo el recorrido de los datos recopilados, para detectar cuentas bot en Twitter.

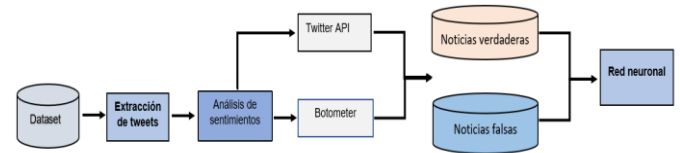


Figura 4 Proceso de reconocimiento de noticias falsas, (fuente propia).

Con ayuda del DataSet se realizó la extracción de los tweets, importamos las librerías nltk y hunspell con el objetivo de clasificar las palabras en categorías como negativas, positivas o neutras, con el fin de iniciar el análisis de sentimientos, nos apoyamos en la plataforma API Twitter y Botometer. Se importaron los datos de Botometer en un arreglo, que incluye una lista de cuentas de Twitter que comparte una colección de noticias, con esa información se implementó y entreno la red neuronal.

Con la creación de la red neuronal y la instalación e importación de las librerías, se cargaron los datos que se añadieron al entorno de Google Colab, donde se subió a nuestro DataSet para su procesamiento en la aplicación, a partir de este paso, se comenzó a codificar, para trabajar con el DataSet y ver su contenido. Se verifico cada cuenta de Twitter para extraer sus datos y revisar la evaluación que hace de cada cuenta de manera más gráfica.

Se inicio el análisis de sentimientos e importamos la librería nltk y texblob, con nuestro código introducimos el análisis de sentimientos a la tabla de Tweets, en la figura número 7, se presentan los resultados obtenidos de este análisis (los datos que nos arrojó).

	Tweets	SA
0	@JoseExotico Peacock es el streaming de Univer...	-1
1	Encuesta publicada en El Universal refleja que...	0
2	@El_Universal_Mx Quien será el grupo Firme? 🤔	0
3	Tuve el gusto de participar en la #113Asamblea...	1
4	RT @MarkDeReborn: Si se confirma que @Claudias...	0
5	RT @El_Universal_Mx: 🚨 #ULTIMAHORA 🚨 Confirmad...	0

Figura 5: Resultado con análisis de sentimientos.

En el código se crearon y las variables para guardar los valores de análisis de sentimiento de cada noticia, clasificando como positiva, negativa o neutral, posteriormente se implementó una función que calcula e imprime el porcentaje que da el análisis de sentimientos.

Para identificar cuentas potencialmente automatizadas, se integró la herramienta Botometer donde se creó una matriz que almacena una lista de cuentas de Twitter (para obtener los datos de Twitter se utilizó Twitter API) dedicadas a compartir noticias, y se ingresaron los metadatos para obtener el nivel del bot de cada cuenta en el arreglo, con los resultados

obtenidos se desarrolló un semaforo de clasificación donde rojo para indicar noticias potencialmente falsas, verde para indicar noticias verdaderas y amarillo para noticias neutrales. Este sistema de clasificación se logró por medio de un arreglo, para que el programa identifique que tipo de color le corresponde a cada una de las cuentas, estas se basan en el análisis del autor y de cada una de las fuentes de las noticias, la implementación de este semáforo como se visualiza en la figura 6.

Cuenta	Nivel de bot	Semáforo	S.A	C.F	C.A
0	Foro_TV	4.4	Rojo	0	Twitter for iPhone Veronica Sanchez
1	El_Universal_Mx	3.5	Amarillo	0	Twitter Web App Veronica Sanchez
2	lajornadaonline	4.0	Amarillo	0	Twitter for iPhone Veronica Sanchez
3	OVIALCDMX	3.6	Amarillo	0	TweetDeck Veronica Sanchez
4	infodemiaMex	4.0	Amarillo	0	Twitter for Android Veronica Sanchez
5	SergioyLupita	3.6	Amarillo	0	Twitter Web App Veronica Sanchez
6	E1OpinadorTV	1.3	Verde	0	Twitter for iPhone Veronica Sanchez
7	SASMEX	3.6	Amarillo	1	Twitter Web App Veronica Sanchez
8	MXvsCORRUPCION	3.4	Amarillo	0	Twitter Web App Veronica Sanchez
9	FiscaliaCDMX	4.1	Rojo	0	Twitter for Android Veronica Sanchez
10	AztecaDeportes	4.5	Rojo	0	Twitter for Android Veronica Sanchez
11	warkentin	1.0	Verde	0	Twitter for Android Veronica Sanchez

	Cuentas	Nivel de Bot	Verificada
0	@foro_TV	3.8/5	Si
1	@El universal_Mx	2.8/5	Si
2	@lajornadaonline	3.7/5	Si
3	@OVIALCDMX	3.2/5	Si
4	@infodemiaMex	3/5	Si
5	@SergioyLupita	1.1/5	No
6	@E1OpinadorTV	0.6/5	No
7	@SASMEX	2.9/5	Si

Figura 6: Semáforo de noticias (fuente propia).

G. Clasificación de noticias falsas

Se creo un archivo en Excel que incluye noticias recopiladas, el conjunto de datos de artículos de noticias falsas y noticias verdícas, noticias de diferentes temas para evitar el ajuste excesivo de los clasificadores y proporcionar más datos de texto para mejorar el modelo y poder entrenar la red neuronal.

El conjunto de datos se compone de artículos provenientes de diversas fuentes y temas, para minimizar el sesgo hacia un tema específico, así como mejorar la robustez del modelo de clasificación. La estructura del conjunto de datos se organiza en cuatro columnas clave:

- Número: Un identificador único asignado a cada artículo, comenzado desde 0.
- Título: El encabezado de la noticia.
- Texto: Contenido de la noticia.
- Etiqueta. Es la clasificación binaria donde 0 indica

que la noticia es falsa y 1 que es real.

Se combinaron diferentes noticias para obtener información certera en el semáforo, se agregó un porcentaje de confiabilidad a la fuente y el autor, este resultado lo obtenemos con tablas como se muestra la figura 7, donde se encuentra el nombre de cada autor, cada una de las fuentes, si los autores son reales o falsos y envase a eso se obtienen un porcentaje.

3. Resultados

Con la extracción de tweets se crearon variables para poder almacenar la información obtenida de cada metadato y se creó una gráfica partir de los datos obtenidos de los retweets. Donde muestra el comportamiento y comparación de una serie temporal de likes y retweets, destacando la disparidad en la interacción, mientras que los likes permanecen constantes en nivel bajo a lo largo del tiempo y los retweets muestran picos pronunciados, lo que nos indica una mayor participación en comparación de contenido de los likes. Como se puede observar en la figura 7.

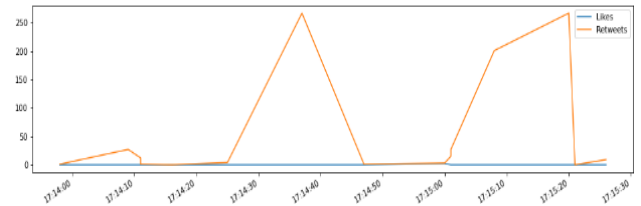


Figura 7: Gráfica de likes y retweets (fuente propia).

En la siguiente figura 8, se muestra las cuentas que tenemos en nuestro arreglo y su nivel de bot correspondiente.

Cuenta	Nivel de bot	
0	Foro_TV	4.6/5
1	El_Universal_Mx	3.6/5
2	lajornadaonline	3.7/5
3	OVIALCDMX	4.4/5
4	infodemiaMex	4.0/5
5	SergioyLupita	4.0/5
6	E1OpinadorTV	1.7/5
7	SASMEX	3.8/5
8	MXvsCORRUPCION	3.2/5
9	FiscaliaCDMX	4.2/5
10	AztecaDeportes	1.6/5
11	warkentin	1.4/5
12	MetroCDMX	4.0/5
13	BBCWorld	3.1/5
14	Profeco	3.1/5
15	hdemauleon	1.4/5
16	ricardomraphael	1.8/5
17	TESE_ISC	4.0/5
18	lopezobrador_	3.8/5

Figura 8: Clasificadores (fuente propia).

En la figura 9, la línea azul representa la precisión obtenida en la red. Dando los resultados que obtuvimos del entrenamiento de la red neuronal recurrente.

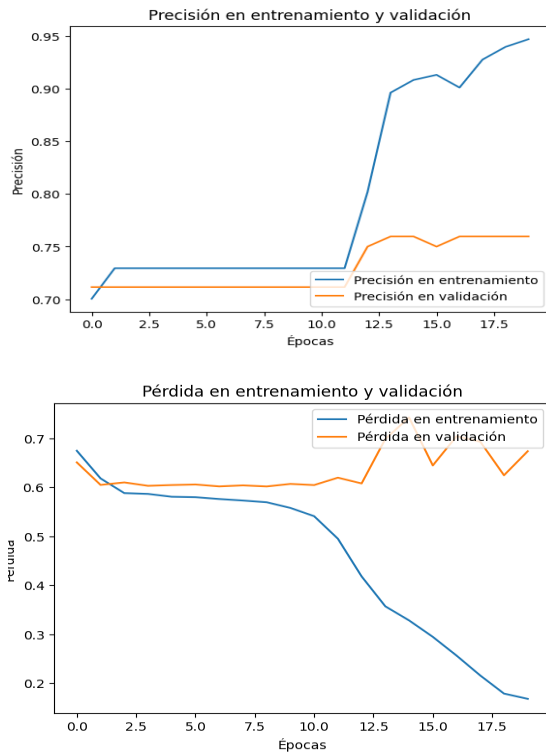


Figura 9: Gráfica de precisión y pérdida

Se logró ejecutar cada componente y funcionalidad de manera correcta. Al final se realizaron las pruebas de calidad de la red neuronal para visualizar la precisión de esta en las cuentas bot y publicaciones falsas.

Los resultados de detección son satisfactorios ya que se puede detectar si es un bot con aproximadamente de 75.96% de efectividad, lo que demuestra su eficiencia en tareas de clasificación.

4. Discusión

La investigación tuvo como propósito identificar y describir aquellas experiencias dentro de la plataforma de Twitter para detectar las noticias falsas y cuentas bot, lo cual influye para alternar la opinión pública frente a un tema en específico que puede convertirse en tendencia.

Se generó un sistema en el cual se detectaron noticias falsas, para que el modelo pudiera entrenar la red neuronal y clasificar las cuentas en bot o humanos.

Los resultados resaltan la importancia del análisis de sentimientos, el aprendizaje profundo y redes neuronales recurrentes en la detección de bots y contenido falso, clasificando las cuentas en bot o humano. Comparado con métodos tradicionales, el modelo implementado ofrece una solución más precisa y adaptable, capaz de manejar grandes

volúmenes de datos en tiempo real. Sin embargo, encontramos limitaciones en la variedad de los datos de entrenamiento, lo que sugiere la necesidad de ampliar el dataset.

Este método permitió el desarrollo de un modelo viable para detectar noticias falsas y cuentas bots, creando un conjunto de datos valiosos que pueden utilizarse para futuras investigaciones.

5. Conclusión

El estudio demuestra la viabilidad de utilizar redes neuronales y análisis de sentimientos para detectar bots y noticias falsas en las redes sociales específicamente en Twitter. La precisión obtenida respalda la aplicación del modelo en sistemas de monitoreo de medios digitales, contribuyendo a la mitigación de la desinformación en línea.

El proyecto demuestra el potencial de las redes neuronales para la detección de noticias falsas y cuentas automatizadas en redes sociales. Sin embargo, también destaca las limitaciones actuales, principalmente relacionadas con la dificultad de obtener y manejar datos explorando técnicas que puedan mejorar la precisión y reducir el sesgo en este tipo de aplicaciones.

El algoritmo que se desarrolló se aplicó a un conjunto de datos recopilados durante un periodo prolongado, ya que aquello que realmente aportaba valor a la hora de identificar una cuenta como buena o mala, era la tendencia obtenida a partir de las puntuaciones finales de cada usuario a lo largo del tiempo.

Los resultados obtenidos sugieren que las redes neuronales recurrentes y en particular las LSTM, son herramientas poderosas para la identificación de patrones temporales en la actividad de las cuentas lo que es esencial para la detección precisa de bots.

6. Agradecimientos

Agradezco al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología COMECYT por su respaldo y financiamiento, que hicieron posible la realización de este trabajo.

7. Referencias

- [1] E. Van Der Walt and J. Eloff, "Using Machine Learning to Detect Fake Identities: Bots vs Humans," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 6540–6549, Jan. 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2796018.
- [2] S. Sharma and V. Kumar Sharma, "Análisis de Delitos Cibernéticos en Redes Sociales," *BSSS Journal of Computer*, May 2020, doi: 10.51767/jc1104.
- [3] M. Parselis, "Función e innovación social: el caso Twitter Social function and social innovation: the Twitter case," 2014. [Online]. Available: <http://www.lanacion.com.ar/>
- [4] G. Udge, M. Mohite, S. Bendre, Y. Birnagal, and D. Wankhede, "Statistical Analysis for Twitter Spam Detection," *Int J Sci Res Sci Eng Technol*, pp. 624–629, May 2019, doi: 10.32628/ijrsrset1962170.
- [5] Mr. G. Kumar D, "Spam Detection in Twitter," *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 8, no. 7, pp. 783–787, Jul. 2020, doi: 10.22214/ijraset.2020.30337.
- [6] K. C. Yang, E. Ferrara, and F. Menczer, "Botometer 101: práctica de bots sociales para científicos sociales," *J Comput Soc Sci*, vol. 5, no. 2, pp. 1511–1528, nov. 2022, doi: 10.1007/s42001-022-00177-5.
- [7] M. Esther and R. Martínez, "Distinción de bots y humanos en Twitter con Inteligencia Artificial."

- [8] I. Grau, G. Nápoles, I. Bonet, and M. M. García, “Backpropagation through Time Algorithm for Training Recurrent Neural Networks using Variable Length Instances,” vol. 17, no. 1, pp. 15–24, 2013. [30]
- [9] C. Henríquez, P. Ferran, L.-F. Hurtado, and J. Guzmán, “Análisis de sentimientos a nivel de aspecto usando ontologías y aprendizaje automático,” España, pp. 49–56, 2017. Accessed: Feb. 06, 2023. [Online]. Available: [31] <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=515754427005>
- [10] J. Carlos and S. Sande, “Análisis de sentimientos en Twitter.” [32]
- [11] M. T. Khan, M. Durrani, A. Ali, I. Inayat, S. Khalid, and K. H. Khan, “Análisis de sentimientos y el lenguaje natural complejo,” *Complex Adaptive Systems Modeling*, vol. 4, no. 1. Springer, Dec. 01, 2016. doi: 10.1186/s40294-016-0016-9. [33]
- [12] T. Nasukawa and J. Yi, “Análisis de sentimiento: captura de la favorabilidad mediante el procesamiento del lenguaje natural,” in *Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Capture, K-CAP 2003*, Association for Computing Machinery, Inc, Oct. 2003, pp. 70–77. doi: 10.1145/945645.945658. [34]
- [13] J. P. Dickerson, V. Kagan, and V. S. Subrahmanian, “Using Sentiment to Detect Bots on Twitter: Are Humans more Opinionated than Bots?” Aug. 2014. doi: 10.1109/ASONAM.2014.6921650. [35]
- [14] P. Burgos Gonzalo, “Análisis y detección de bots en Twitter,” 2021. [Online]. Available: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/698001> [37]
- [15] A. Minnich, N. Chavoshi, D. Koutra, and A. Mueen, “BotWalk: exploración adaptativa eficiente de las redes de bots de Twitter,” in *Proceedings of the 2017 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, ASONAM 2017*, Association for Computing Machinery, Inc, Jul. 2017, pp. 467–474. doi: 10.1145/3110025.3110163. [38]
- [16] S. Cresci, R. di Pietro, M. Petrocchi, A. Spognardi, and M. Tesconi, “Fama en venta: detección eficiente de seguidores falsos en Twitter,” Sep. 2015, doi: 10.1016/j.dss.2015.09.003. [40]
- [17] S. Cresci, A. Spognardi, M. Petrocchi, M. Tesconi, and R. di Pietro, “The paradigm-shift of social spambots: Evidence, theories, and tools for the arms race,” in *26th International World Wide Web Conference 2017, WWW 2017 Companion*, International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2017, pp. 963–972. doi: 10.1145/3041021.3055135. [41]
- [18] C. Yang, R. C. Harkreader, and G. Gu, “Die Free or Live Hard? Empirical Evaluation and New Design for Fighting Evolving Twitter Spammers,” Jul. 2013. Accessed: Jan. 16, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-642-23644-0_17 [42]
- [19] E. van der Walt and J. Eloff, “Uso del aprendizaje automático para detectar identidades falsas: bots vs humanos,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 6540–6549, Jan. 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2796018. [43]
- [20] Z. Chu, S. Gianvecchio, H. Wang, and S. Jajodia, “Detecting automation of Twitter accounts: Are you a human, bot, or cyborg?” *IEEE Trans Dependable Secure Comput*, vol. 9, no. 6, pp. 811–824, 2012, doi: 10.1109/TDSC.2012.75. [44]
- [21] F. G. Eftthimion1, S. Payne1, and N. Profers2, “Técnicas supervisadas de detección de bots de aprendizaje automático para identificar bots de redes sociales en Twitter,” 2018. [Online]. Available: <https://scholar.smu.edu/datasciencereview/vol1/iss2/5> [45]
- [22] V. Subrahmanian, “El DESAFÍO DEL BOT DE TWITTER DE DARPA,” vol. 49, no. 6, pp. 38–46, 2016, doi: 10.1109/MC.2016.183. [46]
- [23] S. Feng et al., “TwiBot-22: Towards Graph-Based Twitter Bot Detection.” [Online]. Available: <https://twibot22.github.io/>. [47]
- [24] E. Ferrara, O. Varol, C. Davis, F. Menczer, and A. Flammini, “The rise of social bots,” *Commun ACM*, vol. 59, no. 7, pp. 96–104, Jul. 2016, doi: 10.1145/2818717. [48]
- [25] V. Subrahmanian et al., “THE DARPA TWITTER BOT CHALLENGE,” Pacific Social, Jun. 2016. doi: 10.1109/MC.2016.183. [49]
- [26] J. Pérez Guerrero Sevilla, J. de, T. por, and R. Pino Mejias, “REDES RECURRENTE.” [50]
- [27] V. E. García-Moreno, U. Nacional, S. Marcos, and C. R. Alvarez-Caicedo, “Análisis de sentimientos en la predicción de resultados de elecciones presidenciales,” 2021, doi: 10.15381/risi.v14i1.21866. [51]
- [28] A. Géron, “Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems,” 2017. [Online]. Available: <http://oreilly.com/safari> [52]
- [29] D. E. Maqueda Bojorquez, “DE REDES NEURONALES RECURRENTE A MODELOS DE LENGUAJE: LA EVOLUCIÓN DEL PLN EN LA GENERACIÓN DE TEXTOS.” [Online]. Available: <https://www.ties.unam.mx/> [53]
- L. Deng and D. Yu, “Deep learning Methods and applications,” *Foundations and Trends in Signal Processing*, vol. 7, no. 3–4. Now Publishers Inc, pp. 197–387, 2013. doi: 10.1561/20000000039.
- J. Antonio, P. Ortiz, D. Por, M. L. Forcada, and J. C. Rubio, “MODELOS PREDICTIVOS BASADOSEN REDES NEURONALES RECURRENTESEDE TIEMPO DISCRETO,” 2002.
- D. de Trabajo and C. Arana, “UNIVERSIDAD DEL CEMA Buenos Aires Argentina Serie,” 2021. [Online]. Available: www.cema.edu.ar/publicaciones/doc_trabajo.html
- I. Bonet Cruz, S. Salazar Martinez, A. R. Abed, G. Abalo, and M. M. G. Lorenzo, “Redes neuronales recurrentes para el análisis de secuencias,” *Revista cubana de ciencias informáticas*, cuba, pp. 48–57, 2007.
- Paul J. Werba, “Backpropagation Through Time: What It Does and How to Do It,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 78, pp. 1550–1560, Oct. 1990.
- S. Makridakis, E. Spiliotis, and V. Assimakopoulos, “Statistical and Machine Learning forecasting methods: Concerns and ways forward,” *PLoS One*, vol. 13, no. 3, Mar. 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0194889.
- Sepp Hochreiter, “Long Short-Term Memory”.
- D. Banks, M. Jordan, R. Kannan, C. Ré, R. J. Tibshirani, and L. Wasserman, “Springer Series in the Data Sciences Series Editors.” [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/13852>
- J. Antonio, P. Ortiz, D. Por, M. L. Forcada, and J. C. Rubio, “MODELOS PREDICTIVOS BASADOSEN REDES NEURONALES RECURRENTESEDE TIEMPO DISCRETO,” 2002.
- Juan Julián Cea Morán, “Redes neuronales recurrentes para la generación automática de música,” 2020.
- D. de Trabajo and C. Arana, “REDES NEURONALES RECURRENTESEDE TIEMPO DISCRETO,” 2021. [Online]. Available: www.cema.edu.ar/publicaciones/doc_trabajo.html
- O. B. Sezer, M. U. Gudelek, and A. M. Ozbayoglu, “Financial time series forecasting with deep learning: A systematic literature review: 2005–2019,” *Applied Soft Computing Journal*, vol. 90, May 2020, doi: 10.1016/j.asoc.2020.106181.
- J. de Lucio, “Estimación adelantada del crecimiento regional mediante redes neuronales LSTM,” *Investigaciones Regionales*, vol. 2021, no. 49, pp. 45–64, 2021, doi: 10.38191/iirr-jorr.21.007.
- A. Rafael Sabino Parmezan, V. M. A Souza, and G. E. A P A Batista, “Supplementary Material for Evaluation of Statistical and Machine Learning Models for Time Series Prediction: Identifying the State-of-the-art and the Best Conditions for the Use of Each Model,” 2019.
- R. Montañés, R. Aznar, and R. del Hoyo, “Aplicación de un modelo híbrido de aprendizaje profundo para el Análisis de Sentimiento en Twitter,” pp. 51–56, 2018.
- X. B. Olabe, “Redes neuronales artificiales y sus aplicaciones.” Bilbao, p. 4.
- L. F. S. Navarro, “APROBACIÓN DEL PRESIDENTE DE PERÚ BASADO EN ANÁLISIS DESENTIMIENTOS EN TWITTER,” *TECHNO Review. International Technology, Science and Society Review / Revista Internacional de Tecnología, Ciencia y Sociedad*, vol. 11, 2022, doi: 10.37467/revtechno.v11.4396.
- J. C. Pereira-Kohatsu, L. Quijano-Sánchez, F. Liberatore, and M. Camacho-Collados, “Detecting and monitoring hate speech in twitter,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 21, Nov. 2019, doi: 10.3390/s19214654.
- X. Liu, “A big data approach to examining social bots on Twitter,” *Journal of Services Marketing*, vol. 33, no. 4, pp. 369–379, Sep. 2019, doi: 10.1108/JSM-02-2018-0049.
- L. U. I. de la R. (UNIR), Luis de la F. V. P. U. I. de la R. Ernesto del Valle Martín, “Sentiment analysis methods for politics and hate”.
- I. Latin and A. Transactions, “Sentiment Analysis of Tweets Related to SUS Before and During COVID-19 Pandemic,” 2022.
- M. Angel Rosales Quiroga, D. Vilaríño Ayala, D. Pinto, M. Tovar, and B. Beltrán, “Análisis de sentimientos basado en aspectos: un modelo para identificar la polaridad de críticas de usuario,” 2016. [Online]. Available: <http://www.lke.buap.mx/>
- W. McKinney, “Data Structures for Statistical Computing in Python,” 2010.
- D. Cao, “Cloud Computing Based Plant Classifiers and Their Real-Life Research Applications,” [Online]. Available: www.slayte.com

RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación

Edición semestral volumen 2, número 4, octubre 2024

ISSN 2992-7315



9 772992 731002