



UTEQ
UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE
QUEVEDO

Revista

InGenio

Científica y Tecnológica



eISSN: 2697-3642

Volumen 7, Número 2
Julio 2024

Índice de contenido

Implementación de un sistema de generación fotovoltaica con seguidor solar y control automático (<i>Implementation of a Photovoltaic Generation System with Solar Tracker and Automatic Control</i>).....	1
Edison Jonathan Guanuche Largo, Santiago Polo Flores y Santiago Moscoso Bernal.	
Análisis de eficiencia energética de un Sistema Fotovoltaico Aislado (SFA) para una estación de carga (<i>Energy Efficiency Analysis of an Isolated Photovoltaic System (SFA) for a Charging Station</i>) 22	
Bryam Tacuri Chávez, Mayra Rivas Villa y Santiago Moscoso Bernal.	
Impacto de la Inteligencia Artificial en el aprendizaje de la ofimática (<i>Impact of Artificial Intelligence on Office Automation Learning</i>).....	37
Erick Anchundia Rodriguez y Gema Medranda Cobeña.	
Propuesta para mitigar las problemáticas administrativas de un plantel educativo mediante herramientas estadísticas de la calidad (<i>Proposal to Mitigate the Administrative Problems of an Educational Institution by Means of Statistical Quality Tools</i>).....	54
Joza Zamora Mark y Anchundia Loo Andrés.	
Innovación pedagógica en el proceso de enseñanza-aprendizaje de matemáticas para estudiantes de bachillerato general unificado considerando tecnologías de información y comunicación (<i>Pedagogical Innovation in the Teaching-Learning Process of Mathematics for Unified General High School Students Considering ICT</i>).....	70
Josué Moncayo-Redin, Johnny Jiménez-Contreras y Joe Llerena-Izquierdo.	
Diseño de un sistema de gestión de inventario para un restaurante manabita (<i>Design of an Inventory Management System for a Manabita Restaurant</i>)	85
Cinthia Zamora Saltos y Ciaddy Rodríguez Borges.	
Condiciones y segmentos de la transportación en las Galápagos: estado actual de la electromovilidad y oportunidades (<i>Conditions and Segments of Transportation in Galapagos Islands: Current State of Electromobility and Opportunities</i>)	98
Danny Ochoa-Correa y Rodrigo Sempértegui-Álvarez.	
Impacto de los sistemas de información en la agricultura inteligente: Una revision general (<i>Impact of Information Systems on Smart Agriculture: An Overview</i>)	117
Geover Bowen Quiroz y Gema Medranda Cobeña.	
Análisis de accesibilidad en los sitios web de las universidades ecuatorianas (<i>Accessibility Analysis of Ecuadorian University Web sites</i>).....	137
Washington Chiriboga-Casanova, Nuria Medina Medina, Patricia Paderewski Rodríguez.	
Simulation and conceptual design of an aniline production process from catalytic hydrogenation of nitrobenzene in ChemCAD® (<i>Simulación y diseño conceptual de un proceso de producción de anilina a partir de la hidrogenación catalítica del nitrobenceno en ChemCAD®</i>)	158
Amaury Pérez Sánchez, Yerelis Pons García, Lennis Basulto Cruz , Maria La Rosa Veliz.	

Implementación de un sistema de generación fotovoltaica con seguidor solar y control automático

(Implementation of a Photovoltaic Generation System with Solar Tracker and Automatic Control)

Edison Jonathan Guanuche Largo , Santiago Josué Polo Flores , Santiago Arturo Moscoso Bernal

Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador
edison.guanuche.12@est.ucacue.edu.ec, santiago.polo@est.ucacue.edu.ec, smoscoso@ucacue.edu.ec

Resumen: Encontrar nuevos medios que permitan la generación de energías amigables con el medio ambiente es un problema constante de las sociedades modernas. Para la presente investigación se emplean los paneles solares como recurso para producir energía, complementándolos con un sistema que permita el control para la orientación adecuada de los mismos y así captar los rayos solares de manera eficiente. El objetivo es desarrollar un sistema de control que permita mejorar la captación de energía solar y, por ende, la producción de energía. Para ello, se describe el sistema de control propuesto para la adecuada ubicación del panel solar, determinando los componentes con sus características que permitan evaluar el rendimiento del sistema. Se desarrolló un sistema de control para el aprovechamiento de la energía solar mediante una estructura que seguirá la posición del sol en determinadas horas del día, dependiendo de su intensidad lumínica; además, se determinaron las características y los componentes del mismo. En conclusión, se define un sistema para el seguimiento de un solo eje, lo que permite obtener una eficiencia mayor del 12 % al 23 % en comparación con los sistemas de posicionamiento fijo.

Palabras clave: generación fotovoltaica, panel solar, seguidor solar, radiación, eficiencia energética.

Abstract: Finding new means that allow the generation of environmentally friendly energy is a constant problem of modern societies. For this research, solar panels are used as a resource to produce energy, complementing them with a system that allows control for their proper orientation and thus captures the sun's rays efficiently. The objective is to develop a control system that allows improving the collection of solar energy and, therefore, energy production. To do this, the proposed control system is described for the appropriate location of the solar panel, determining the components with their characteristics that allow evaluating the performance of the system. A control system was developed for the use of solar energy through a structure that will follow the position of the sun at certain times of the day, depending on its light intensity; In addition, its characteristics and components were determined. In conclusion, a system is defined for tracking a single axis, which allows obtaining a higher efficiency of 12 % to 23 % compared to fixed positioning systems.

Keywords: Photovoltaic generation, solar panel, solar tracker, radiation, automatic, mechanical, algorithm.

1. INTRODUCCIÓN

La implementación de paneles solares para producir electricidad a partir de la radiación solar ha sido una tendencia en los últimos años y ha marcado uno de los mayores avances en desarrollo e investigación, puesto que este modo de generación es uno de los más amigables con el medio ambiente y surge como una nueva opción de consumo de energía frente al efecto creado por las

energías convencionales. Existen varios factores que causan reducciones significativas en la eficiencia; entre ellos, la temperatura, la calidad de la celda, la suciedad y la radiación que se obtiene en la zona. Frente a estos inconvenientes, se han realizado investigaciones para encontrar formas de reducir los efectos mencionados, como mejoras en las técnicas de creación de las celdas fotovoltaicas, la utilización de áreas disipadoras de calor y el posicionamiento de los paneles solares mediante dispositivos de seguimiento, los cuales ayudan a reducir el ángulo de incidencia, aumentando así la generación de energía por parte del sistema. La posición del sol cambia diariamente y en las diversas épocas del año, por lo que la detección de la posición del sol y la elaboración de dispositivos que logren direccionar los diversos tipos de paneles perpendiculares al sol juegan un papel importante en el funcionamiento de los mismos, ya que la radiación a captarse será máxima y, por consiguiente, se optimiza la eficiencia en el sistema en relación con los sistemas clásicos en los que los paneles están fijos, lo que nos permite aprovechar al máximo la radiación solar diaria [1]. En el presente proyecto, se desarrolló un sistema de generación fotovoltaica con seguidor solar de un solo eje usando un algoritmo de posicionamiento según la luminosidad mediante un microcontrolador Arduino uno, al cual se puede adaptar una secuencia de códigos con los cuales tenemos la posibilidad de orientar y monitorear las condiciones de desempeño del panel, en especial en cuanto a la luminosidad y proporción de energía generada, y por ende evaluar las condiciones de rendimiento del seguidor y del panel.

2. METODOLOGÍA

El sistema de generación fotovoltaica con seguidor solar de un eje se utilizará en la unidad académica de posgrado de la Universidad Católica de Cuenca, alimentando una bomba de agua de 650 W. El seguimiento solar se realiza en un eje para poder aprovechar los mejores niveles de radiación solar, manteniendo el panel perpendicular a los rayos del sol, los cuales durante el día van de Este a Oeste, desde el amanecer hasta el atardecer. Esto también permite visualizar parámetros del sistema como potencia nominal, corriente nominal, voltaje, etc.

Dentro de la metodología se logró establecer las siguientes etapas. En la Figura 1 se describe la metodología y las etapas para el diseño e implementación de un seguidor solar de un eje.

Etapas 1. En esta etapa se tomaron en consideración los factores ambientales que podrían afectar la estructura y el funcionamiento normal del seguidor solar.

Etapas 2. Elección del tipo de seguidor solar acorde con las condiciones físicas y ambientales. Para nuestra implementación en el lugar antes mencionado, se diseñó un tipo de seguidor activo que tendrá un grado de libertad en el movimiento. Este movimiento estará dado por medio de un motor AC que funcionará como un motor paso a paso. Del mismo modo, se acoplará al sistema de transmisión una cadena con piñón y corona.

Etapas 3. El diseño del mecanismo de orientación del panel solar, el cual mediante sensores fotoresistivos LDR ayudarán a determinar el ángulo de incidencia que se forma entre la luz solar y la placa solar. Este tipo de sensor convierte una señal física en magnitud eléctrica.

Etapas 4. Para el diseño de control automático, se utiliza un microcontrolador Arduino uno, el cual se encarga de procesar y definir mediante un algoritmo las acciones, como el movimiento del motor AC (Figura 2), la toma de mediciones de voltaje, corriente y potencia.

La programación se realiza en base a los tipos de sensores y actuadores utilizados, con el fin de orientar al seguidor solar en la posición adecuada.



Figura 1. Etapas establecidas para el diseño e implementación de un seguidor solar de un eje.

2.1. Estructura de soporte

Se realizó un modelado de la base y la estructura que soportará al seguidor solar sus sistemas mecánicos y sus respectivos dispositivos que conforman un sistema de generación fotovoltaica esta estructura deberá ser un material muy resistente ya sea de material metálico o acero galvanizado debido a que se ubicará cerca del invernadero de la unidad académica de posgrado. Observamos del siguiente modelo secundario de un seguidor fotovoltaico (Figura 2) que orienta la placa fotovoltaica hacia el sol para la captación máxima de los rayos solares:

- **Placa fotovoltaica.** Es aquel principal componente que recibe la energía solar y la convierte en energía eléctrica, está compuesta por células fotovoltaicas que son encargadas de generar la corriente eléctrica cuando recibe los rayos solares.
- **Servomotor.** Es un motor eléctrico encargado de controlar el movimiento de la placa fotovoltaica, está conectada a un sistema de control el cual determina la posición del sol.
- **Circuito eléctrico.** Conformado por cables y componentes los cuales son necesarios para la conexión de la placa fotovoltaica, el servomotor, la batería y otros elementos eléctricos.
- **Batería.** Encargado del almacenamiento de la energía eléctrica creada por la placa fotovoltaica para su uso posterior cuando no haya suficiente luz solar.
- **Estructura.** Es la base principal el cual soporta la placa fotovoltaica, el servomotor y demás componentes del sistema de seguimiento solar, este soporte o estructura debe ser de una materia robusta y debe estar diseñada para resistir las condiciones climáticas.

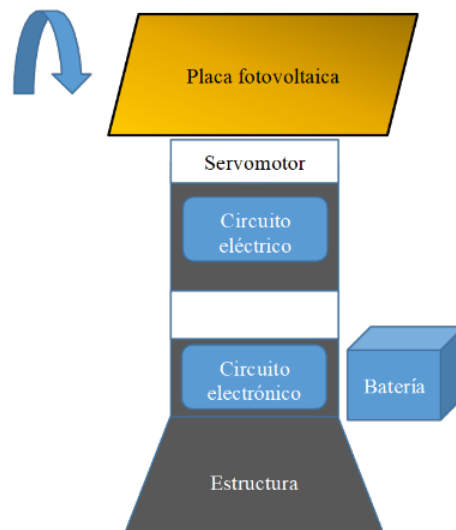


Figura 2. Modelado secundario de un seguidor solar fotovoltaico.

2.2. Cargas que Actúan

- Pesos de la estructura metálica para la placa solar.
- Paso de la placa solar, como se observa el diagrama de fuerzas en la Figura 3 y 4.

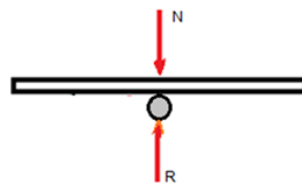


Figura 3. Etapas establecidas para el diseño e implementación de un seguidor solar de un eje.

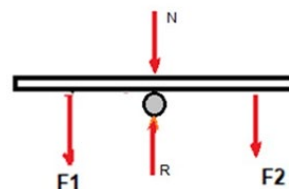


Figura 4. Modelado secundario de un seguidor solar fotovoltaico.

La placa solar tomará una orientación en torno a su eje horizontal para lograr una mayor captación de radiación solar. Esta orientación será controlada por el motor AC (Figura 2), el cual será controlado por el microcontrolador Arduino. El motor girará el panel de forma gradual, aplicando una fuerza que permitirá ajustar la posición del panel solar de acuerdo con la posición del sol.

2.3. Modelo matemático

Se debe establecer mediante el uso de un modelado matemático la posición exacta del sol con respecto a la tierra para poder conocer su exacta posición.

Ecuaciones para encontrar los ángulos del movimiento solar

Para ello, se ha utilizado la declinación solar (δ), que es el ángulo entre los rayos solares y el plano del ecuador terrestre (1), adicionalmente la fórmula para calcular el ángulo horario (ω) del

sol (2), además, se utiliza la ecuación para calcular el ángulo cenital (θ) del Sol, que es el ángulo entre la vertical local y la dirección del sol (3). Por otro lado, se utiliza para calcular el ángulo acimutal (β) del sol, que es el ángulo a lo largo del horizonte desde el norte, en el sentido de las agujas del reloj, hasta la proyección del sol en el horizonte (4).

$$\delta = \arcsen(0.39795 * \cos(0.98563(N - 173))) \quad (1)$$

$$\omega = 15(ts - 12) \quad (2)$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \arcsen(\sen\delta\sen\phi + \cos\delta\cos\omega\cos\phi) \quad (3)$$

$$\beta = \arcsen\left(-\frac{\cos\delta\sen\omega}{\cos\alpha}\right) \quad (4)$$

Ecuaciones matemáticas preestablecidas.

$$V_{polar} = \frac{V_{tr} + V_{tl}}{2} - \frac{V_{br} + V_{bl}}{2} \quad (5)$$

$$V_{azimutal} = \frac{V_{tl} + V_{bl}}{2} - \frac{V_{tr} + V_{br}}{2} \quad (6)$$

2.4. Sistema de control de movimiento

El control de movimiento del panel solar se da mediante la interacción entre los sensores LDR que captan la radiación solar para transformarla en una magnitud eléctrica y mediante el control con microprocesador, que actúa sobre el sistema de transmisión constituido por el motor AC, una cadena con piñón y corona, como se observa el esquema en la Figura 5.

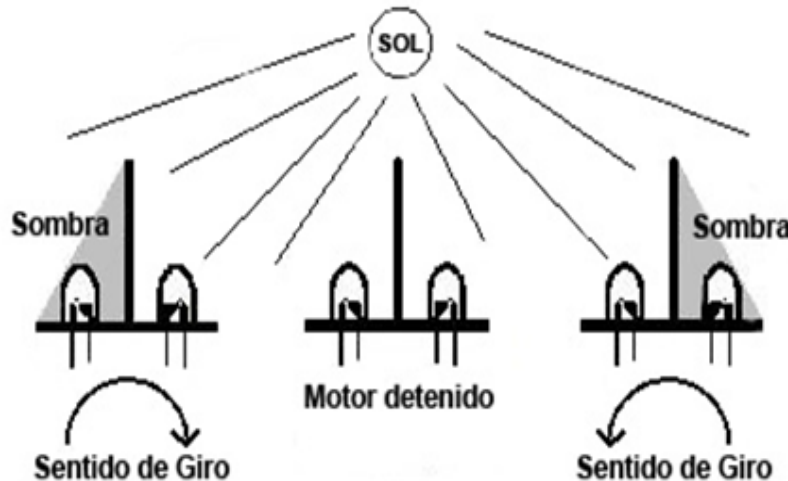


Figura 5. Control y posicionamiento del panel.

2.5. Sistema mecánico (etapa de potencia)

El dispositivo realizado está constituido por una base fija donde se acopló el panel, el motor de inclinación, el piñón, la corona y la cadena. Ya que el sistema consta de 1 grado de libertad, como se observa en la Figura 6.

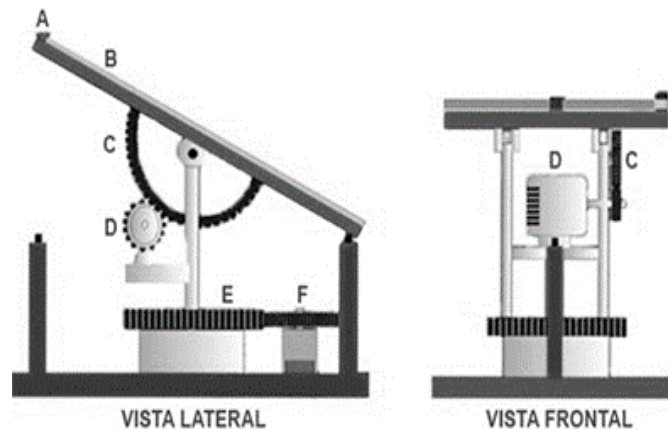


Figura 6. Representación mecánica del sistema.

- A. Sensores.
- B. Panel solar.
- C. Engranajes para movimiento de inclinación.
- D. Motor de inclinación

2.6. Sistema de adquisición de datos

Esta etapa condujo a la adquisición de datos donde se podrán notar las variaciones tanto de corriente como de tensión que produce la placa solar. Se utilizó una tarjeta Arduino uno, un regulador de carga, una batería y sensores.

2.7. Diagrama eléctrico

Se utiliza el Arduino uno como controlador programable donde se realizan las siguientes conexiones: se conectan los 2 LDR al pin analógico A0 y A1 respectivamente. El pin 9 de Arduino está conectado al motor, dado que se utiliza un motor de 5 V. Para el circuito, se instalarán las resistencias en serie para que exista un divisor de voltaje para cada resistencia, tanto la de 10K como la LDR. En la mitad de las resistencias, saldrán para el Arduino una para A0, A1, A2, A3, las cuales serán las señales analógicas variables. Una vez conectadas al Arduino, de D10 y D9 saldrán para los servomotores. D10 controlará la parte vertical y D9 controlará la parte horizontal del panel solar. Este cambio es de digital con Arduino a un analógico con los servomotores. En la Figura 7 se observa la conexión del circuito.

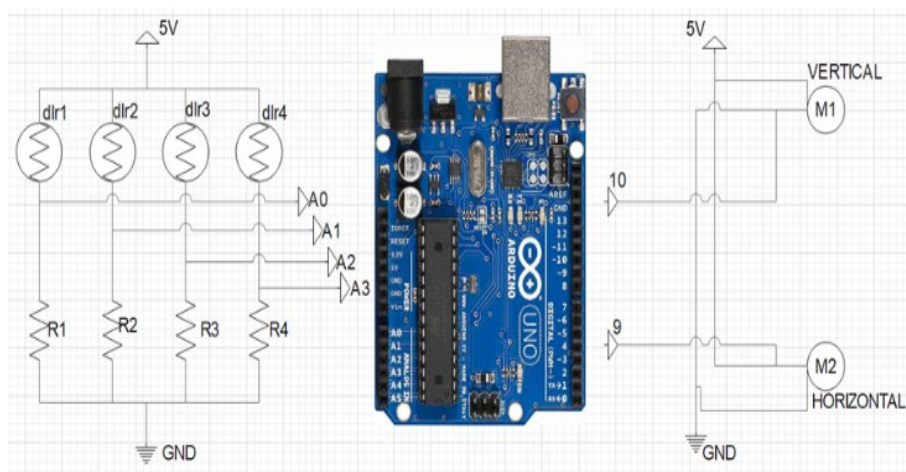


Figura 7. Diagrama eléctrico.

2.8. Programación del microcontrolador

Se la realiza introduciendo códigos al microcontrolador Arduino uno usando como lenguaje de programación C++, de manera de cumplir con el propósito de dar movilidad al seguidor solar con los actuadores utilizados.

2.9. Componentes que se utilizaron

A. Panel solar. El panel solar mostrado en la Figura 8 se colocará sobre una estructura, asegurando así su estabilidad en todo momento. Las características del panel de muestran en la Tabla 1.



Figura 8. Panel monocristalino.

Tabla 1. Panel solar EGE-350M-72.

Numero de células	72
Tipo de células	Monocristalino
Tensión máxima del sistema	1500 V
Potencia nominal	322.72 W
Corriente nominal	8.93 A
Corriente de corto circuito	9.11 A
Eficiencia del módulo	18,04 %
Dimensión	1956x992x40 mm
Peso	22,5 kg

B. Regulador de carga. Para implementar el sistema de generación fotovoltaica, se utilizó un regulador de carga tipo MPPT. Las características de este regulador se detallan en la Tabla 2 y se pueden observar en la Figura 9.



Figura 9. Regulador de carga.

Tabla 2. Regulador de carga MPPT.

Voltaje máximo de batería	12/24 V
Voltaje panel	100 V(25 C), 90 V(-25 C)
Corriente de carga	20 ^a
Corriente de descarga	20 ^a



Figura 10. Batería de Litio.

Tabla 3. Batería.

Voltaje nominal	12V
Capacidad constatada	100 Ah
Corriente máxima de descarga	1000A (5 Segundos)

C. Almacenamiento de energía. Para realizar el sistema de generación fotovoltaica se utilizó una batería de litio donde en la Tabla 3 se describen sus características, esto representado en la Figura 10.

D. Microcontrolador. Para el control de movimiento y programación se utilizó un microcontrolador Arduino uno. En la Tabla 4 se describen sus características, como se muestra a continuación, en la Figura 11.

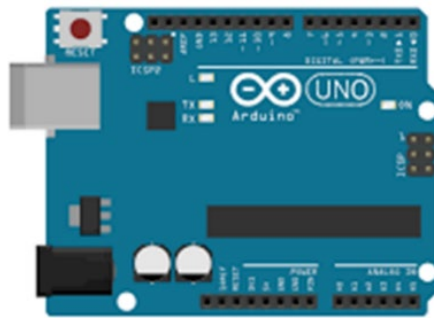


Figura 11. Microcontrolador.

Tabla 4. Microcontrolador Arduino uno.

Voltaje de operación:	5 V
Pines de E/S digitales:	14
Pines de entrada analógica:	6
Corriente DC por pin de E/S:	40 mA
Velocidad de reloj:	16 Hz

E. Sensores LDR. Para determinar la posición del sol se usaron 4 fotorresistores donde en la siguiente Tabla 5 y Figura 12 se describen sus características.

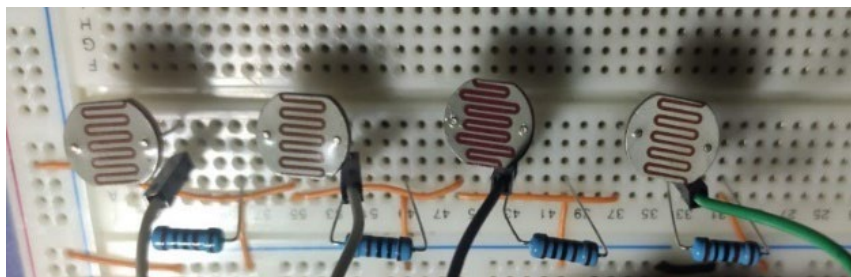


Figura 12. Sensores LDR.

Tabla 5. Sensor LDR.

Sensibilidad ajustable	
Tensión de funcionamiento	3.3 V-5 V
Salidas de conmutación digitales	(0 y 1) -D0

F. Motores AC. El motor necesario para accionar la estructura del módulo de SSFV, será de corriente alterna que mediante la incorporación de un circuito inversor trabajar con corriente continua. El motor posee una caja de reducción y multiplicador de torque de forma que la transmisión de los mismos hace que aumente el torque, pero se reduzca la velocidad angular. En la Tabla 6 y Figura 13 se describen sus características.



Figura 13. Motor AC.

Tabla 6. Motor AC

Tipo de motor	Bipolar
Pasos por revolución	200
Corriente de operación	1.7 A
Tensión de operación	1 – 4 V
Torque de retención	52 N.cm (4.6 lb.in) (5,3 kgf cm)
Peso	350 g

G. Engranajes. El acoplamiento del eje del motor con el eje se realiza con una transmisión por cadena con piñón y corona, como se demuestra en la Figura 14.



Figura 14. Engranajes piñón corona y cadena.

En el presente diagrama de bloques del sistema se detalla la metodología aplicada, como se representan en la Figura 15.

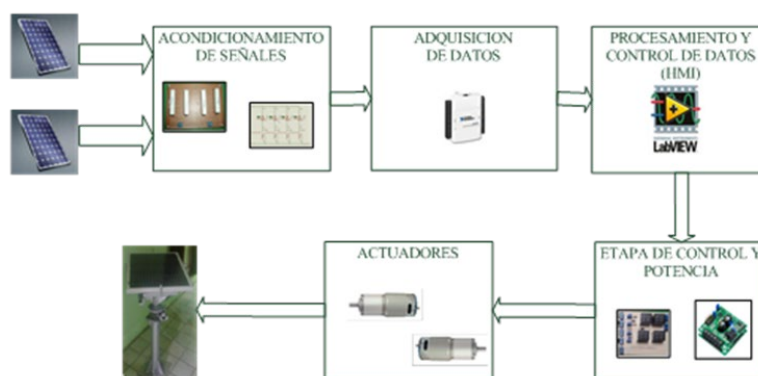


Figura 15. Programa de bloques del sistema seguidor solar.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. Sistema fotovoltaico.

La energía fotovoltaica forma parte del conjunto de las energías renovables, el sistema fotovoltaico es un procedimiento de generación eléctrica que convierte la radiación solar fuente inextinguible en energía eléctrica a través de una célula solar, donde se crea el impacto fotovoltaico [2]. El esquema del efecto fotoeléctrico se representa en la Figura 16.

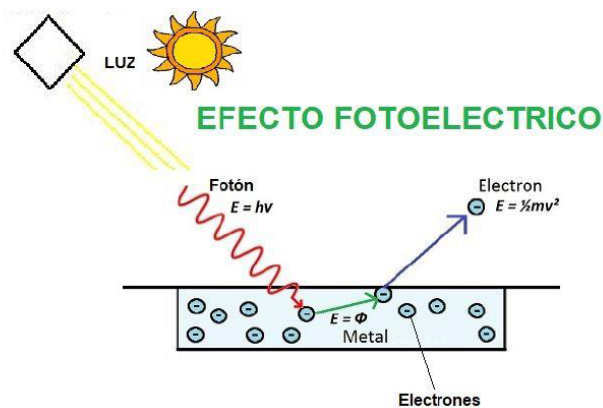


Figura 16. Efecto fotoeléctrico.

Los elementos característicos de un sistema aislado son:

3.2. Módulo fotovoltaico.

Es un dispositivo que aprovecha la energía del sol y convertirla en electricidad.

3.3. Tipo de paneles más comunes.

Hay varios tipos de tecnologías para las células solares: arseniuro, galio, entre otros.

a) **Policristalino.** Su rendimiento es bajo y se estima entre el 11 % y 15 % su costo es más barato, su color es azul, a continuación, se representa en la Figura 17.

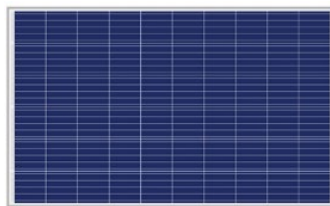


Figura 17. Panel Policristalino.

b) **Monocristalino.** Destacan por su rendimiento y eficiencia, estos alcanzan rendimiento del 17 % pero es más caro, su apariencia es negra [3]. La representación de un panel monocristalino se muestra en la Figura 18.



Figura 18. Panel Monocristalino.

3.4. Banco de baterías sistema solar.

Método que se emplea para almacenar energía y luego distribuirla a toda la red mediante el inversor [1]. Los parámetros y características de este se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Tipo de batería.

Parámetro	Ni-Cd	Ni-MH	Li-Ion
Ciclo de vida	Largo: más de 1000 cargas	Variable: puede ser igual que ni NI-Cd si se almacena y carga correctamente	Corto: 300-500 ciclos o 2-3 años
Autodescarga	Moderada: 15% - 20%	Rápido: 20% -30%	Muy lenta o nula
Capacidad	Baja: 1,2 Ah - 2,2 Ah	Moderada: 2,2 Ah - 3,0 Ah	Alta: más de 3,0 Ah
Tiempo de carga optima	Rápido	Rápido	Moderado
Mantenimiento	Alto: descarga total recomendada una vez al mes	Moderado: descarga total recomendada una vez cada tres meses	Ninguno
Efecto memoria	Alto si no se mantiene adecuadamente	Moderado: se puede evitar con una carga adecuada	
Sensibilidad	Muy resistente	Muy sensible a la temperatura	Sensible al calor y al impacto

3.5. Regulador de carga sistema solar

Tipos más usados:

- Controlador de carga PWM. Estos se caracterizan por ser económicos y dan muchas pérdidas de voltaje.
- Controlador de carga MPPT. Son los más utilizados ya que no permite que haya fallos en el sistema y controla mejor la potencia máxima [4]. El esquema de regulador utilizado se representa en la Figura 19.



Figura 19. Tipos de reguladores de carga.

3.6. Inversor solar

Es el encargado de convertir la corriente continua de 12 v o 24 v que viene de las baterías en corriente alterna que se suministra en la red de 220 v [5]. Su funcionamiento se esquematiza en la Figura 20.

Tipos de inversor:

- Onda cuadrada
- Onda modificada
- Onda senoidal



Figura 20. Inversor solar.

La radiación solar es aquella energía que libera el sol en diferentes formas como el calor y la luz visible [6]. Esto se puede detallar en la Figura 21.

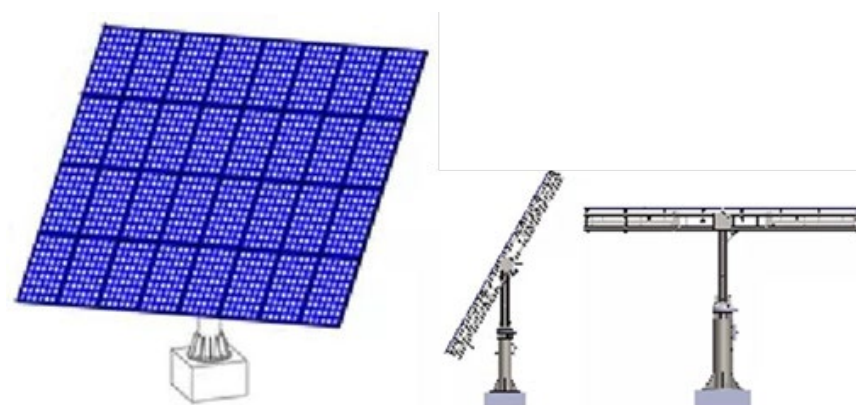


Figura 21. Ángulos de rayos solares que impacta en la tierra.

3.7. Recurso solar en la Ecuador

El sol como recurso energético en el Ecuador tiene altos niveles de radiación solar al estar en la línea equinoccial [7].

3.8. Inclinación y orientación de un Panel Solar

La orientación idónea para dirigir los paneles solares es hacia el sur (ángulo azimutal de 180°). Si orientamos los módulos hacia esta dirección, la instalación de módulos fotovoltaicos recibirá la máxima irradiación solar posible durante el día y, por tanto, el rendimiento del sistema será óptimo. Asimismo, es importante verificar que no haya sombras sobre nuestro sistema fotovoltaico [8].

3.9. La estructura del panel

La estructura es uno de los componentes más importantes, porque debe soportar su propio peso y el peso de los paneles solares fotovoltaicos, y si es de un eje tener la posibilidad mecánica de girar en el eje vertical u horizontal [9]. A continuación, se esquematiza en la Figura 22.

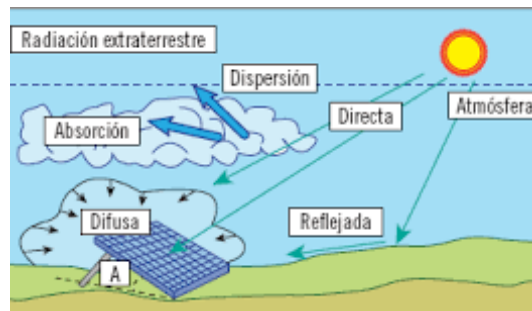


Figura 22. Estructura del panel.

3.10. Sistema de seguimiento solar

Un sistema de seguimiento solar es un dispositivo mecánico capaz de orientar los paneles solares de forma perpendicular a los rayos solares para un mejor aprovechamiento de la radiación solar, ya sea siguiendo al sol desde el Este al amanecer hasta el Oeste en la puesta, o bien empleando el punto de máxima potencia [10]. Lo cual se puede representar en la Figura 23.

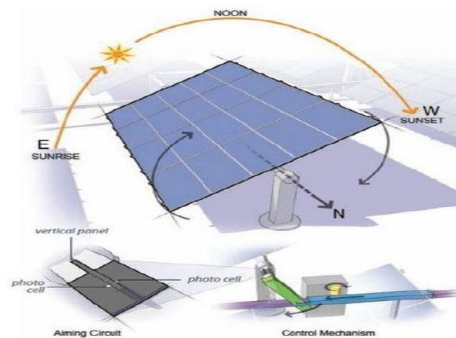


Figura 23. Seguidor solar de un eje.

La clasificación de los tipos de seguidores solares se evidencia en el diagrama presentado en la Figura 24 y los tipos de seguidores solares con sus respectivas características se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8. Ventajas y desventajas.

Ventajas	
UN EJE	DOS EJES
Representa un menor costo.	Seguimiento solar más preciso.
Simplicidad.	Incremento de la producción en tomo al 35% con respecto a un panel fijo.
Posibilidad de adaptación a cubiertas.	Generalmente dificultan el robo de paneles.
Desventajas	
Seguimiento solar impreciso.	Representa un mayor costo.
Menor energía captada.	

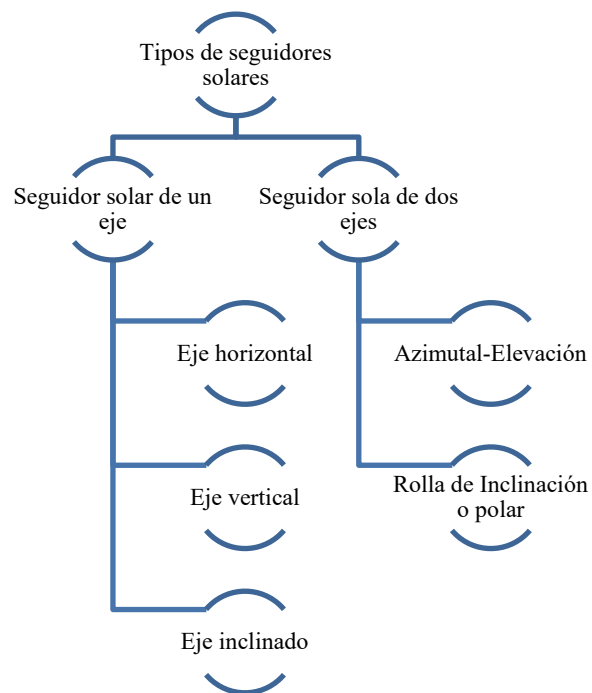


Figura 24. Tipos de seguidores solares.

3.11. Bombeo fotovoltaico

Los sistemas de bombeo fotovoltaicos se caracterizan por ser de alta confiabilidad, larga duración y mínimo mantenimiento. Un sistema de bombeo FV es similar a los sistemas convencionales excepto por la fuente de potencia. Los componentes principales que lo constituyen son: un arreglo de módulos FV, un controlador, un motor y una bomba [11]. A continuación, se representa en la Figura 25.

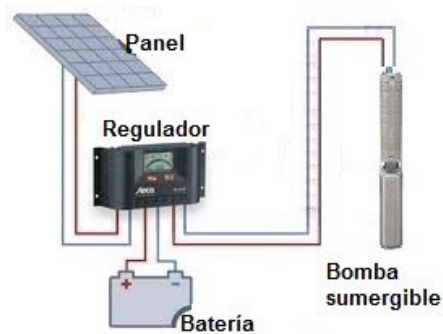


Figura 25. Bombeo fotovoltaico.

3.12. Tarjeta y software Arduino

Arduino es una de estas plataformas la cual simplifica el proceso de trabajo con microcontroladores, que ofrece algunas ventajas a los estudiantes, unas de ellas serán descritas a continuación [10]. El diagrama de la tarjeta y software se evidencia en la Figura 26.



Figura 26. Microcontrolador Arduino.

3.13. Relé

Los relés son dispositivos que se usan para hacer cadenas de control y para controlar el accionamiento o desconexión de diferentes máquinas y equipos eléctricos. Esto se demuestra en la Figura 27.



Figura 27. Relevador o relé.

3.14. Sensores

a) **Sensor LDR.** Permite realizar el cálculo de la dirección del sol, para que el procesador del controlador reaccione haciendo operar los actuadores, lo cual puede observarse en la Figura 28.

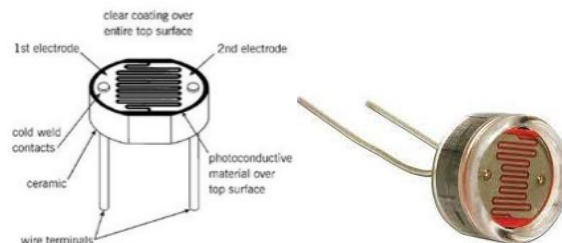


Figura 28. Sensor LDR.

3.15. Actuadores

Los actuadores son en general motores eléctricos trifásicos, cuando la estructura del módulo es demasiado grande con paneles fotovoltaicos de más de un número de 5, también se utilizan motores de corriente continua y para un control de precisión motores paso a paso [11]. Esto se demuestra en las Figuras 29 y 30.



Figura 29. Motor AC.



Figura 30. Motor a pasos.

3.16. Mecanismos de transmisión de movimiento

Son mecanismos que transmiten el movimiento, fuerza y potencia de un punto a otro sin cambiar la naturaleza del movimiento, pueden ser de dos tipos:

- A. Mecanismos de transmisión lineal.
- B. Mecanismos de transmisión circular.

3.17. Engranajes de cadena

Este sistema de transmisión circular consiste en dos ruedas dentadas de ejes paralelos, situadas a cierta distancia la una de la otra, y que giran a la vez por efecto de una cadena que engrana a ambas [9].

Ecuación para relación de transmisión:

$$r = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2} \quad (7)$$

4. RESULTADOS

Para el diseño y la construcción del sistema de generación fotovoltaica con seguidor solar de un solo eje se debe hacer:

Para realizar el dimensionamiento de la potencia que generara el panel solar partimos de los datos de las Tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9. Factores físicos y medioambientales.

Parámetros	Mínimo	Máximo
Temperatura	7 °C	19 °C.
Humedad.	78,96 %	86,56 %
Velocidad del Viento.	10 m/s	50 m/s
Rango de Lluvia	14 mm	94 mm

Tabla 10. La insolación mensual promedio que incide sobre una superficie horizontal (Kwh / m² / día) en la unidad académica de posgrado.

Latitud -3.034 Lon-78.928	Promedio anual
Enero	4,17
Febrero	3,97
Marzo	4,17
Abril	4,05
Mayo	4,01
Junio	3,98
Julio	3,9
Agosto	4,2
Septiembre	4,41
Octubre	4,56
Noviembre	4,76
Diciembre	4,41
Media Anual	4,216

Tabla 11. Consumo de energía promedio de bomba de agua.

Descripción	Bomba de agua de 650 W	Energía Total
Potencia (W)	650	
Cantidad	1	
Tiempo de operación (h)	5	
Tiempo de operación / semana	7	
Potencia (KW)	0,65	
KWh	3,25	3,25
KWH/Semana	22,75	22,75

Para realizar el cálculo del sistema fotovoltaico se toma como referencia el consumo diario de la bomba; los mismos que se representan en las Ecuaciones 8, 9, 10, 11, 12 y 13.

- Hora solar promedio (HSP) 3,99.

$$P_{GENERADOR} = \frac{Ed}{n_{panel} * HSP} \quad (8)$$

$$P_{GENERADOR} = \text{Potencia del Generador} \quad (9)$$

$$Ed = \text{Energía Máxima Diaria} \quad (10)$$

$$HSP = \text{Hora Solar Pico} \quad (11)$$

$$n_{\text{panel}} = \text{Eficiencia del Panel a utilizar. (0.9 por normativa)} \quad (12)$$

$$P_{\text{GENERADOR}} = \frac{3.250 \text{ Wh/dia}}{0.9 * 3.99} = 905.04W \quad (13)$$

Dentro de los resultados obtenidos de la instalación del sistema de generación fotovoltaica determinamos que se procedió a cumplir con todas las etapas planificadas y se logró construir una estructura resistente a condiciones ambientales imprevistas, como muestra en la Figura 31.



Figura 31. Engranajes con cadena.

Seguidamente instalado el sistema de generación fotovoltaica se condujo a poner en funcionamiento el sistema de seguimiento solar de tal forma de realizar pruebas de funcionamiento electromecánicas y con el fin de monitorear los parámetros eléctricos.

Se puso a primera prueba el montaje o soporte del panel solar con el motor instalado con catalinas la cual, el motor instalado no tuvo la suficiente fuerza para poder mover el peso del panel solar, la cual encontramos que el motor no es tan eficiente para el movimiento del panel solar ya que se necesita más potencia para el seguimiento al sol.

Sobre el circuito Arduino tenemos datos que nos da los componentes LDRS, en esta ocasión se tomó muestras de los rayos UV en la facultad de ingeniería, industria y construcción la cual nos dio resultados de la reflexión solar dentro de la institución, como se evidencia en la Figura 32.

```
17:47:17.485 -> SENSOR_LDR 503
17:47:19.451 -> SENSOR_LDR 533
17:47:21.423 -> SENSOR_LDR 544
```

Figura 32. Datos UV del circuito LDRS.

Realizando un estudio comparativo el sistema de generación fotovoltaica más eficiente en la captación y generación de energía eléctrica es el sistema de seguidor solar de un solo eje, debido a que tiene una eficiencia de captación que va a partir del 12 % al 23% de eficiencia comparativamente con el sistema de posicionamiento fijo dichos datos son tomados en días a lo

largo de una semana, la eficiencia de captación variara dependiendo del día y los componentes climáticos, de tal forma que se log de esta forma que con el uso de este sistema optimizaremos de un sistema solar fotovoltaico el mejoramiento de captación de rayos UV mejorando así la eficiencia y potencia al 100 % del panel solar.

5. CONCLUSIONES

- Se realizó el sistema de generación fotovoltaica con seguidor solar y la programación del mismo de una manera satisfactoria cumpliendo con el funcionamiento esperado que optimizará el aprovechamiento de la energía solar mediante una estructura que seguirá la posición del sol en determinadas horas del día dependiendo de su intensidad lumínica.
- Se cumplió con los objetivos planteados de desarrollar un mecanismo capaz de mejorar la captación de energía solar a un bajo costo y con ayuda de un microcontrolador como lo es Arduino, de igual manera se implementó de manera comprensible el uso de modelos matemáticos para describir el funcionamiento dinámico del sistema propuesto.
- La estructura diseñada tiene características de resistencia a la intemperie y orientara al panel solar siempre perpendicularmente a los rayos del sol.
- Se pudo comprobar que los dispositivos seleccionados para este tipo de generación fotovoltaica son fundamentales para abastecer la demanda energética de la bomba de agua haciéndolo autónomo energéticamente.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha sido desarrollado en el Laboratorio de Gestión de Calidad Educativa dentro del Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología de la Universidad Católica de Cuenca forma parte de los proyectos de investigación formativa en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Católica de Cuenca, pertenece al proyecto de investigación “INSTALACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO EN EL CENTRO DE HIPOTERAPIA KAWALLU” con código PIFCIV22-22.

REFERENCIAS

- [1] E. Martínez, “Diseño y construcción de prototipo de seguidor solar fotovoltaico con sistema mecatrónico autónomo”, Tesis de grado, Universidad Antonio Nariño, Tunja, Colombia, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2526>
- [2] S. V. Arpi Puga y B. G. Prado Bermeo, “Diseño de un seguidor solar de doble eje para un sistema de energía fotovoltaica en el centro de salud de la comunidad de Yaapi”, Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21948>
- [3] Á. Campero, I. Ventura, G. Martínez, y G. Yáñez, “Implementación de equipo de ruta solar didáctico para optimizar la captación solar fotovoltaica,” *Rev. Ingeniantes*, vol. 1, no. 2, pp. 12–17. [En línea]. Disponible en: <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes2no2vol1/2>. Implementación de Equipo Solar Didáctico para Optimizar la Captación Solar Fotovoltaica..pdf
- [4] A. Escobar, M. Holguín, y J. Osorio, “Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico,” *Sci. Tech.*, vol. 16, no. 44, pp. 245–250, abr. 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917316046>
- [5] G. Vera, y D. Ramos, “Implementación de un módulo para el análisis de la trayectoria solar en paneles fotovoltaicos”, Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20021>
- [6] C. Zúñiga y J. Granda, “Diseño e implementación de un prototipo medidor de radiación ultra

- violeta alimentado por paneles solares”, Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17253>
- [7] M. B. Gonzales, A. E. Cohaila, y E. C. Paredes, “Diseño De Un Sistema De Seguimiento Solar De Un Eje Para El Aprovechamiento De La Energía Solar En Sistemas Fotovoltaicos,” *Ciencia y Desarrollo*, no. 10, pp. 43–46, abr. 2019. [En línea]. Disponible en: [10.33326/26176033.2006.10.196](https://doi.org/10.33326/26176033.2006.10.196).
- [8] L. Guachún, “Estudio de factibilidad de un sistema de energía renovable aplicado a un nodo de servicio de telecomunicaciones”, Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30378>
- [9] M. Pacheco, I. Tapia, and E. Guevara, “Diseño e implementación de un seguidor solar de un eje para la optimización de un sistema fotovoltaico de 100 W aplicando cálculos matemáticos y automatización industrial,” *Ciencia Digital*, vol. 4, no. 3, pp. 336–354, aug. 2020. [En línea]. Disponible en: [10.33262/cienciadigital.v4i3.1359](https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i3.1359).
- [10] J. Pelayo, A. Luna, F. Bernabe, y B. Guzmán, “Comparativa de la eficiencia entre un sistema fotovoltaico con seguimiento solar y un sistema fotovoltaico fijo / Comparison between a photovoltaic solar tracker efficiency and a fixed photovoltaic system,” *CIBA Rev. Iberoam. las Ciencias Biológicas y Agropecu.*, vol. 7, no. 13, pp. 105–129, jul. 2018. [En línea]. Disponible en: [10.23913/ciba.v7i13.76](https://doi.org/10.23913/ciba.v7i13.76).
- [11] R. Arreola, A. Quevedo, M. Castro, Á. Bravo, and D. Reyes, “Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico,” *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*, vol. 6, no. 8, pp. 1715–1727, 2017, doi: [10.29312/remexca.v6i8.490](https://doi.org/10.29312/remexca.v6i8.490).



Análisis de eficiencia energética de un Sistema Fotovoltaico Aislado (SFA) para una estación de carga

(Energy Efficiency Analysis of an Isolated Photovoltaic System (SFA) for a Charging Station)

Bryam José Tacuri Chávez, Mayra Gabriela Rivas Villa, Santiago Arturo Moscoso Bernal
Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador
bryam.tacuri.63@est.ucacue.edu.ec, mayra.rivas.52@est.ucacue.edu.ec, smoscosob@ucacue.edu.ec

Resumen: La energía renovable nace de fuentes naturales inagotables, por lo que su uso disminuirá la operación excesiva de fuentes no renovables. En Ecuador, por ley se promueve el uso de energías renovables no convencionales. El objetivo del presente trabajo es analizar la eficiencia y factibilidad de un Sistema Fotovoltaico Aislado (SFA) fijo con un SFA móvil. Esto se logró con el uso de: paneles solares, baterías, controladores de carga MPPT, estructuras metálicas, cables, modulo Arduino Uno, transformador y un servomotor MG996R para el control del panel, además se usó PVGIS para realizar la simulación de cada sistema. Como resultado se obtuvo que un SFA móvil, el cual, a nivel energético es más eficiente que un SFA fijo, con un 13 % más de producción. Sin embargo, el costo de implementación no se compensa con la producción obtenida. Por otro lado, comparando un SFA fijo con doble potencia con un SFA móvil y un SFA fijo, a nivel energético es superior, sin embargo, se necesita más espacio para la implementación al contar con dos paneles. En conclusión, un SFA fijo con doble potencia es superior a todos los sistemas anteriormente planteados, puesto que, el costo de implementación se compensa con la cantidad de energía producida.

Palabras clave: energías renovables, sistema fotovoltaico, estaciones de carga, dispositivos móviles.

Abstract: Renewable energy comes from inexhaustible natural sources, so its use will reduce the excessive operation of non-renewable sources. In Ecuador, the use of non-conventional renewable energies is promoted by law. The objective of this work is to analyze the efficiency and feasibility of a fixed Isolated Photovoltaic System (SFA) with a mobile SFA. This was achieved with the use of: solar panels, batteries, MPPT charge controllers, metal structures, cables, Arduino Uno module, transformer and an MG996R servomotor to control the panel. PVGIS was also used to simulate each system. As a result, a mobile SFA was obtained, which, at an energy level, is more efficient than a fixed SFA, with 13 % more production. However, the implementation cost is not offset by the production obtained. On the other hand, comparing a fixed SFA with double power with a mobile SFA and a fixed SFA, at an energy level it is superior, however, more space is needed for implementation as it has two panels. In conclusion, a fixed SFA with double power is superior to all the previously proposed systems, since the implementation cost is compensated by the amount of energy produced.

Keywords: renewable energies, photovoltaic system, charging stations, mobile devices.

1. INTRODUCCIÓN

La energía renovable nace de fuentes naturales inagotables, donde su explotación reduciría en enorme medida la sobre explotación de fuentes no renovables. Una de las fuentes de energía más visibles actualmente es la energía solar, lograda por la captación de la radiación electromagnética del sol mediante celdas fotovoltaicas, logrando convertir esa radiación en energía eléctrica [1].

En este sentido, el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, a través de la ley orgánica del servicio público de energía eléctrica, en su artículo 26, promueve el uso de las “energías renovables no convencionales”, mediante tecnologías limpias y energías alternativas, de conformidad con lo señalado en la Constitución que propone desarrollar un sistema eléctrico sostenible, sustentado en el aprovechamiento de los recursos renovables de energía [2].

La zona geográfica del Ecuador en relación al sol se puede considerar óptima, debido que se encuentra sobre la línea equinoccial. En este punto los rayos solares son recibidos de forma perpendicular y en un ángulo definido, todas estas condiciones benefician la utilización de esta fuente de energía [3]. Por esta razón, en tiempos de crisis ambiental, la generación de energía eléctrica usando recursos renovables ha adquirido una trascendencia mayor, y se ha inducido el progreso de diferentes medios de aprovechamiento de estos recursos [4].

En consecuencia, usando el software PVGIS, se analiza tres Sistemas Fotovoltaicos Aislados (SFA); en el primer sistema se utiliza un panel solar de 280 W (SFA fijo); en el segundo sistema se utiliza dos paneles de 280 W (SFA fijo con doble potencia); por último, se utiliza un panel solar de 280W, con la diferencia que se realiza un seguimiento de la posición del sol por parte del panel (SFA móvil). Con la finalidad de realizar la lógica de programación del SFA móvil, se realiza un prototipo, en donde, se utiliza un panel solar de 1 W, el cual, a través de un servomotor y un microcontrolador, realiza el seguimiento al sol. Esto nos permite verificar la funcionalidad del SFA móvil. El proceso de análisis de datos para estimar el SFA más eficiente, se lo realizó a través de tablas, usando modelos matemáticos [5].

Una vez, determinado el SFA más eficiente, se desarrolló una estación de carga equipada con puertos USB, para dispositivos de bajo consumo tales como: celulares, audífonos inalámbricos, implementando el SFA más eficiente. De esta manera se aprovecha la energía del sol emitida a la tierra transformándola en energía eléctrica, promoviendo el uso de energías renovables en la sociedad, ayudando a mitigar la contaminación emitida por fuentes no renovables.

2. METODOLOGÍA

El planteamiento de la investigación se basa en un modelo aplicativo en conjunto con un punto de vista cuantitativo, ya que, se compara tres sistemas fotovoltaicos, mediante la construcción y simulación de una estación de carga. Del mismo modo, mediante PVGIS, se analiza la generación obtenida de cada sistema. A partir de los datos obtenidos se realiza la tabulación de los mismos, con la finalidad de verificar que sistema es más eficiente desde un punto de vista energético y económico. En la Figura 1 se observa un esquema ordenado de los pasos seguidos.



Figura 2. Diagrama de pasos de la metodología seguida.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Estación de carga

Paneles Solares. Los paneles solares convierten la energía del sol en energía eléctrica. Su bosquejo es sencillo, bastante eficaz y posibilita el autoconsumo, garantizando la sostenibilidad [6]. En la Figura 2 se observa el panel fotovoltaico incorporado en la estación de carga.



Figura 3. Panel solar policristalino de 280 W.

Batería. Además, llamada pila o acumulador eléctrico, es un aparato formado por celdas capaces de transformar la energía química en su interior en energía eléctrica. De esta forma, las baterías producen corriente continua y sirve para alimentar diversos circuitos eléctricos, dependiendo de su tamaño y potencia [7]. En la Figura 3 se muestra la batería incorporada en la estación de carga.



Figura 4. Batería de plomo gel 12 V y 200 Ah.

Controladores de carga MPPT. Es un convertidor electrónico de CC a CC que optimiza la combinación entre los paneles solares. Permite que un conjunto de paneles tenga un voltaje más alto que el banco de baterías. Esto es relevante para áreas con baja irradiación o durante el invierno con menos horas de luz solar [8]. En la Figura 4 observamos el controlador de carga implementado en la estación de carga.



Figura 5. Controladores de carga MPPT de 50 A.

Estructura metálica. En la Figura 5 se observa el diseño de la estación de carga realizado en el software Sketchup.

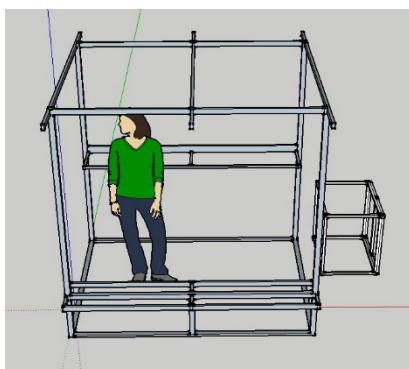


Figura 6. Estructura metálica de hierro, Cotas: 2 m de largo por 1,5 m de ancho por 2 m de altura.

Conductores. Son usados para la transmisión de corriente que permite hacer conexiones o extensiones de uso rudo aterrizadas para automatización o control industrial. En la Figura 6 se observa la topología del cable usado en las conexiones del sistema.

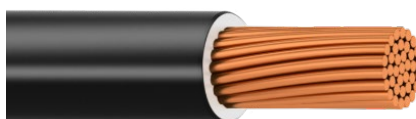


Figura 7. Cable AWG calibre número 14 de 2,5 mm².

Fuente: Tomado de [9]

3.2.Prototipo SFA móvil

Arduino Uno. Arduino (Figura 7) es un módulo electrónico de código abierto que usa el lenguaje de programación C++ [10].



Figura 8. Modulo Arduino Uno.

Panel Solar. Para el prototipado del SFA móvil se usó el panel que se muestra en la Figura 8 [11].



Figura 9. Panel solar de 5 V – 200 mA - 1 W.

Controlador de Carga. Cargador de batería Litio Lipo (Figura 9) es módulo perfecto para la carga de baterías Lipo o Li-ion de una celda de 3,7 V 1 Ah [12].



Figura 10. Controlador de carga TP4056.

Transformador. Regulador de voltaje (Figura 10) de la batería a 3,4 a 5 V.



Figura 11. Transformador.

Batería Recargable. Acumula la energía generada por el panel fotovoltaico mediante procesos químicos. La batería que se usó para el prototipo se muestra en la Figura 11.



Figura 12. Batería recargable de 3,4 V

Servomotor MG996R. Es un actuador rotativo que permite un control preciso en posición angular, este servomotor (Figura 12) puede rotar de 0° hasta 180° [13].



Figura 13. Servomotor MG996R – 4,8 V- torque 10,4 kg.

Resistores:

- **LDR:** Es un componente que varía su valor de resistencia eléctrica dependiendo de la cantidad de luz que incide sobre él [11]. Como se demuestra en la Figura 13.



Figura 14. LDR.

- **Resistencias:** Son componentes semiconductores su principal función es limitar el paso de la corriente en un circuito eléctrico [15]. A continuación, se representa en la Figura 14.



Figura 15. Resistencias de 3 k Ω .

- **Estructura de Madera.** Se usó una estructura de madera (Figura 15) que permite montar los componentes mencionados anteriormente, para la construcción del prototipo.



Figura 16. Estructuras de madera usada en el prototipo.

A. Dimensionamiento de la estación de carga. Cabe señalar que la estación de carga se construyó con un SFA fijo. Para el análisis de la eficiencia energética de los tres sistemas anteriormente mencionados, se usó un software de simulación, para posteriormente analizar su comportamiento.

1. Diagrama de Bloques

Para comprender el funcionamiento de todas las fases del sistema de carga se realizó un diagrama de bloques presentado en la Figura 16. El proceso consta de cinco etapas. En la primera etapa se calcula la energía demandada, se fijó que la estación este equipada con 8 puertos USB de 5 V/2 A, dos luminarias led de 6 W y una máquina de botella de 10 W, posteriormente se calcula el cuadro de consumos (Tabla 1), donde se indicó el tiempo de uso de cada carga anteriormente mencionadas. Concluidas las dos primeras etapas, se procedió con el dimensionamiento de los equipos (paneles solares, baterías, etc.). A continuación, se modeló la estructura tomando en cuenta las dimensiones de los componentes. Finalmente se conectó todos los componentes y se puso en operación.

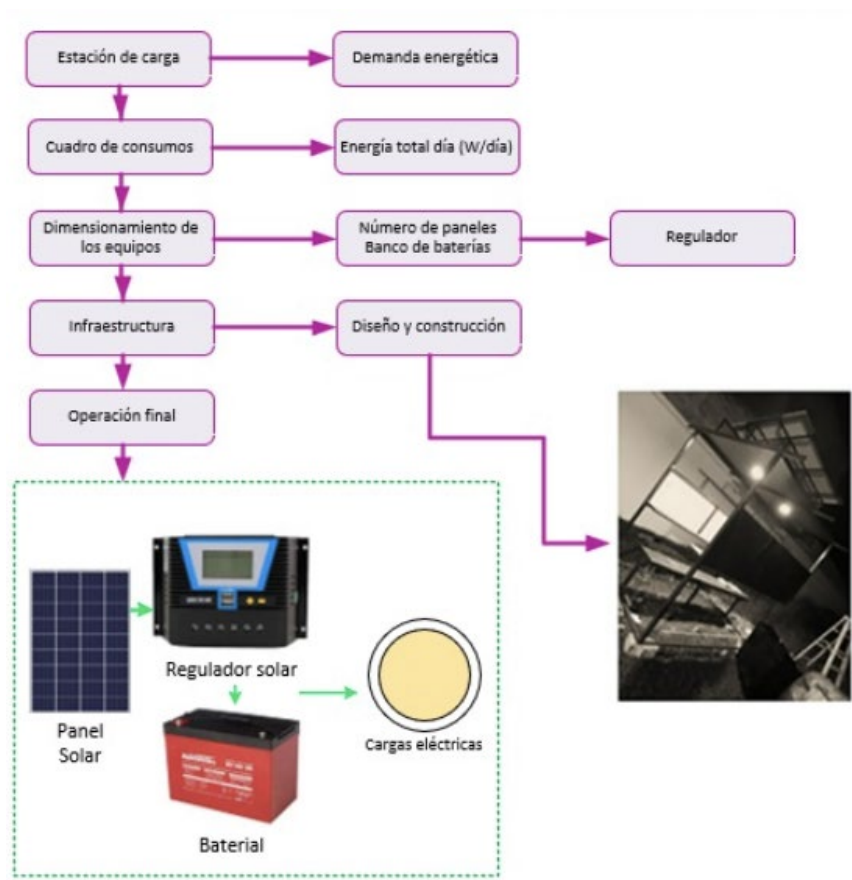


Figura 17. Diagrama de bloques.

2. Cuadro de Consumos

Para la construcción del cuadro de consumos se tomó en cuenta la cantidad y potencia de cada carga, de igual manera el tiempo de uso de cada una. Obteniendo como resultado un consumo máximo diario (ver Tabla 1). En este apartado se realiza el cálculo del consumo energético de la estación de carga.

Tabla 1. Consumos totales.

Energía Total					
Equipos	Cantidad	Consumo C/u (W)	Consumo Total (W)	Uso Diario (h/día)	Consumo Máximo CT (Wh/día)
Luminarias	2,00	6,00	12,00	12,00	144,00
USB	8,00	10,00	80,00	6,00	480,00
Máquina de Botella	1,00	10,00	10,00	6,00	60,00
Energía Total					684,00

3. Cálculo del número de paneles

Para realizar el dimensionamiento del panel fotovoltaico partimos de los siguientes datos (ver Tabla 2).

Datos de panel

Tabla 2. Potencia del panel.

Datos	Valor	Unidad
Potencia máxima	280	W
Voltaje máximo pico	31,3	V
Corriente máxima pico	8,95	A

Datos energéticos

Para obtener los datos energéticos, se tomó en cuenta la zona de ubicación donde se instaló la estación de carga. Para Ecuador, la hora solar pico, la cual se define como: la energía por unidad de superficie que se recibiría con una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m², es de 4 horas. Este dato sirve para verificar la viabilidad de proyectos fotovoltaicos (ver Tabla 3) [15].

Tabla 3. Energía día.

Datos	Valor	Unidad
Energía día	684	Wh/día
Hora solar pico	4	

Para calcular el número de paneles necesario se usó la siguiente fórmula (ver Fórmula 1).

$$\# \text{ paneles} = \frac{\text{Energía día} * 1,3}{\text{Hora solar pico} * \text{Potencia del panel}} \quad (1)$$

Donde se usa un factor de seguridad de 1,3, garantizando la eficiencia del sistema (ver Ecuación 2).

$$\# \text{ paneles} = \frac{684\text{W} * 1.3}{4 * 280\text{W}} \quad (2)$$

$$\# \text{ paneles} = 0.80$$

De acuerdo con el cálculo obtenido, necesitamos un solo panel fotovoltaico para cumplir con la energía demandada.

4. Cálculo de baterías

Para el cálculo de baterías, se toma en cuenta los días de autonomía que brindarán éstas cuando no exista energía proveniente del panel solar. En este caso se optó por dos días de autonomía. Otro factor importante es el factor de descarga de las baterías, esto garantiza que las baterías no se descarguen por completo, lo cual afecta su vida útil. Para realizar el dimensionamiento de la batería partimos de los datos presentados en la Tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de la batería.

Datos	Valor	Unidad
Energía día	680	Wh/día
Días de autonomía	2	
Factor de descarga	0,7	
Voltaje del banco	12	V

Generalmente en un SFA, se usan varias baterías que se pueden conectan tanto en serie, paralelo o mixto, formando un banco de baterías. El voltaje de dicho banco depende del voltaje de ingreso del controlador de carga, en este caso es 12 V. Para determinar la capacidad necesaria de la batería para la estación de carga, usamos las siguientes ecuaciones (ver Ecuación 4 y 5).

Corriente del banco

$$I_{\text{banco}} = \frac{\text{Energía día}}{\text{Voltaje del banco}} \quad (4)$$

$$I_{\text{banco}} = \frac{684\text{Wh/día}}{12\text{V}}$$

$$I_{\text{banco}} = 57\text{Ah}$$

Banco de baterías

$$\text{Banco} = \frac{\text{Días de autonomía} * I_{\text{banco}}}{\text{Descarga}} \quad (5)$$

$$\text{Banco} = \frac{2 * 57\text{Ah}}{0,7}$$

$$\text{Banco} = 162,85\text{Ah}$$

Para satisfacer las condiciones de la estación de carga, el banco de baterías debe tener una capacidad de 162,58 Ah. De acuerdo con el mercado existe una batería de 200 Ah, por lo que es necesario solo una.

5. Cableado en continuidad (C.C)

Para realizar el cálculo del calibre del conductor se utiliza la siguiente fórmula (ver Fórmula 6).

$$S = \frac{2 * I * L}{\sigma * \Delta V} \quad (6)$$

Donde:

S: Sección de cable (mm²)

I: Corriente (A)

L: Largo del cable (m)

σ: Conductividad (cobre = 59)

ΔV: Caída de tensión

Para realizar el cálculo del calibre de conductor se utiliza un cuadro en Excel (Tablas 5 y 6).

Panel a regular la carga

Tabla 5. Calibre del conductor.

Cálculo de sección de cables					
Datos del conductor			Sección teórica	Cable a utilizar	
Corriente (A)	Longitud (m)	Caída de tensión (V)	mm ²	mm ²	AWG
10	2,5	1	0,85	2,5	14

Regulador de baterías

Tabla 6. Calibre del conductor.

Cálculo de sección de cables					
Datos del conductor			Sección teórica	Cable a utilizar	
Corriente (A)	Longitud (m)	Caída de tensión (V)	mm ²	mm ²	AWG
50	0,5	1	0,85	2,5	14

B. Cálculos de eficiencia energética – radiación solar. Se simuló tres SFA, los cuales son:

- **SFA fijo:** Cuenta con un panel solar montado en una estructura fija.
- **SFA móvil:** Cuenta con un panel solar montado en una estructura móvil accionada por un servomotor. Este sistema realiza un seguimiento a la luz solar.
- **SFA doble potencia:** Cuenta con dos paneles solares montado en una estructura fija.

Para realizar la comparación de eficiencia entre sistemas, se usó PVGIS, en donde, se realiza la simulación durante un año de cada uno. A continuación, se presentan los datos obtenidos: En la Tabla 7, se obtuvo la potencia promedio mensual de cada sistema, posteriormente se realizó una comparación de eficiencia en Watios, entre los diferentes SFA, obteniendo un porcentaje de mejora.

Tabla 7. Sistema anual.

Año 2020 potencial del sistema					
Meses	SFA fijo (W)	SFA móvil (W)	SFA doble (W)	Fijo vs móvil	Fijo vs doble
Enero	81,9552419	94,7808871	163,910618	14 %	50 %
Febrero	81,7187069	91,3197414	163,437155	11 %	50 %
Marzo	78,5860647	86,9943817	156,750457	10 %	50 %
Abril	72,2870278	80,4206944	144,574444	10 %	50 %
Mayo	74,0420968	85,5206183	148,083495	13 %	50 %
Junio	77,1950278	90,4288056	154,389167	15 %	50 %
Julio	79,3325	92,4708065	158,664328	14 %	50 %
Agosto	94,3797312	109,268817	188,759624	14 %	50 %
Septiembre	92,1496667	105,091083	184,2995	12 %	50 %
Octubre	95,2542204	109,602392	190,508495	13 %	50 %
Noviembre	87,3406944	101,645778	174,682333	14 %	50 %
Diciembre	71,5815054	81,9182527	143,16293	13 %	50 %
Promedio anual				13 %	50 %

A continuación, se obtuvo la potencia promedio mensual por metro cuadrado de cada sistema. En la Tabla 8 se realiza una comparación de eficiencia en W/m², entre los diferentes sistemas. De igual manera, se obtiene el porcentaje de mejora entre cada sistema.

Tabla 8. Sistema anual.

Año 2020 potencial del sistema					
Meses	SFA fijo (W/m ²)	SFA móvil (W/m ²)	SFA doble (W/m ²)	Fijo vs móvil	Fijo vs doble
Enero	365,276855	419,571398	365,276855	13 %	0 %
Febrero	364,829971	405,43681	364,829971	13 %	0 %
Marzo	349,061505	384,830833	349,061505	13 %	0 %
Abril	319,923528	353,343333	319,923528	13 %	0 %
Mayo	327,16379	374,313333	327,16379	13 %	0 %
Junio	340,757444	395,318583	340,757444	13 %	0 %
Julio	347,326398	401,072581	347,326398	13 %	0 %
Agosto	415,934086	478,291532	415,934086	13 %	0 %
Septiembre	406,532333	460,024278	406,532333	13 %	0 %
Octubre	421,434704	480,995134	421,434704	13 %	0 %
Noviembre	393,384778	454,869333	393,384778	13 %	0 %
Diciembre	318,320108	361,125511	318,320108	13 %	0 %
Promedio anual				13 %	0 %

C. Programación del sistema de seguimiento fotovoltaico (prototipo). Como se mencionó anteriormente, la construcción del prototipo se desarrolló con la finalidad de implementar la lógica de programación, y demostrar su funcionalidad. En la Figura 17 se observa el diagrama de flujo de dicha programación.

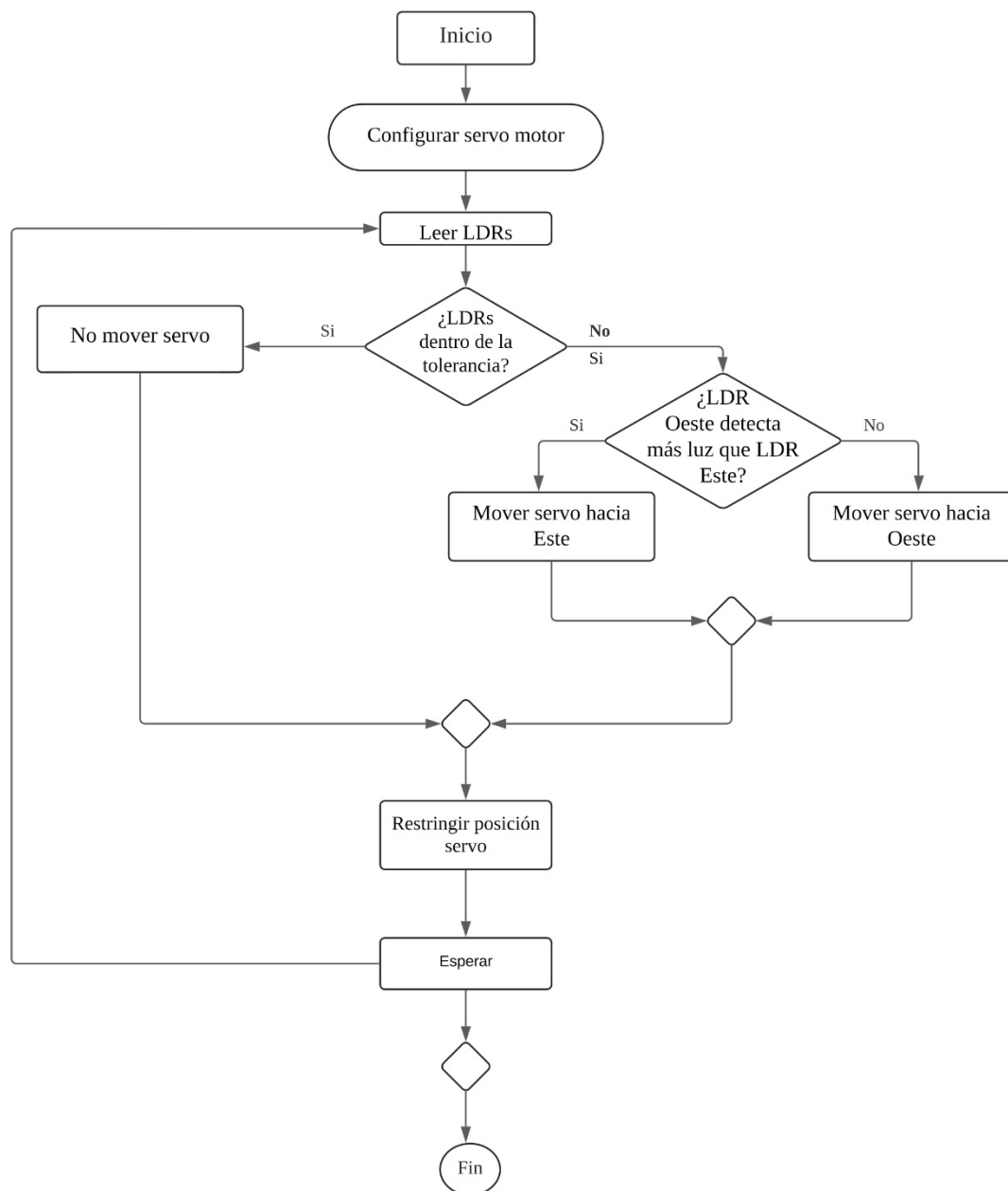


Figura 18. Diagrama de flujo del sistema de seguimiento fotovoltaico.

4. RESULTADOS

Según la Tabla 7 y Tabla 8, se obtuvo como resultado que un SFA móvil a nivel energético es más eficiente que un SFA fijo, con un incremento promedio de 13 % en la generación de energía tanto en W como en W/ m².

Por otro lado, comparando entre un SFA fijo con un SFA fijo con doble potencia, se obtuvo un incremento de un 50 % de generación de energía en W, sin embargo, en W/ m² no hubo un porcentaje de mejora. Considerando que todos los sistemas usan paneles de iguales características.

A partir de esto, se construyó la estación de carga, tal como observa en la Figura 19, en donde, por el espacio disponible no se optó por la implementación del SFA fijo de doble potencia, por lo que, se usó el SFA fijo, satisfaciendo la energía demandada calculada en la Tabla 1.



Figura 20. Estación de carga.

Costos

En cuanto al costo de implementación de cada sistema, se realiza un análisis aproximado con los costos de cada componente que conforma los SFA, existentes en el mercado (ver Tabla 9).

Tabla 9. Análisis de costos del sistema.

Diferencia de costos de los tres sistemas	
SFA fijo	\$ 1121,48
SFA Móvil	\$ 1170,38
SFA Doble	\$ 1234,1
Diferencia SFA Fijo vs SFA móvil	\$ 48,9
Diferencia SFA Fijo vs SFA doble	\$ 112,62

5. CONCLUSIONES

Una vez realizadas las simulaciones de los tres SFA se realizan las siguientes conclusiones:

- El SFA más eficiente, tanto a nivel energético como económico es el SFA fijo con doble potencia, puesto que, el costo de inversión se compensa con la generación obtenida.
- En Ecuador, los sistemas fotovoltaicos son sumamente factibles, debido a su ubicación geográfica, donde las horas de sol para la zona es de cuatro horas. Esto garantiza eficiencia en estos sistemas.
- La implementación de un SFA móvil para otros países donde no existen condiciones ideales de radiación solar continua, sería factible su instalación. Sin embargo, como anteriormente se mencionó, debido a la ubicación geográfica de Ecuador, no es necesario la instalación de estos sistemas.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha sido desarrollado en el Laboratorio de Gestión de Calidad Educativa dentro del Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología de la Universidad Católica de Cuenca como parte de los proyectos de investigación formativa en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Católica de Cuenca. Este trabajo pertenece al proyecto de investigación “INSTALACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO EN EL CENTRO DE HIPOTERAPIA KAWALLU” con código PIFCIV22-22.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Energía y Minas, *ECUADOR CONSOLIDA LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES*, ene. 2021. Accedido: 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.rekursyenergia.gob.ec/ecuador-consolida-la-produccion-electrica-a-partir-de-fuentes-renovables/>
- [2] Agencia de Regulación y Control de Electricidad - Arconel, *REGULACIÓN No. ARCONEL-003-18. EMÍTESE LA REGULACIÓN DENOMINADA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA AUTOABASTECIMIENTO DE CONSUMIDORES FINALES DE ENERGÍA ELÉCTRICA*, feb. 2019. Accedido: 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://vlex.ec/vid/regulacion-no-arconel-003-768642449>
- [3] M. V. Ávila Paredes, E. T. Flores Lazo, J. C. Cobos Torres, y M. S. Alvarez Vera, "PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN SECTORS OF ECUADOR WITH DIFFICULT ACCESS AND/OR WITHOUT ELECTRICITY SERVICE: A STUDY FROM LATIN AMERICAN EXPERIENCES", *Fuentes el Reventón Energético*, vol. 21, n.º 2, pp. 29-44, sept. 2023. [En línea]. Disponible en: 10.18273/revfue.v21n2-2023003.
- [4] A. Cano, P. Arévalo, D. Benavides, y F. Jurado, "Sustainable tramway, techno-economic analysis and environmental effects in an urban public transport. A comparative study", *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 26, pp. 100462, jun. 2021. [En línea]. Disponible en: 10.1016/j.segan.2021.100462.
- [5] S. Sivarajeswari, S. N. Hublikar, Y. Kumar, D. Shobana, A. Deepak, y M. Oliva, "Multiple Level Inverter Scheme for Improved Power Quality of Renewable Energy Solar Panel", *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, vol. 12, no. 1s, pp. 98-105, sept. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ijisae.org/index.php/IJISAE/article/view/3398>
- [6] BBVA, "¿Qué son los paneles solares y cuál es su futuro?", BBVA NOTICIAS. Accedido: 7 de junio de 2023. Disponible en: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-los-paneles-solares-como-funcionan-y-cual-es-su-futuro/>
- [7] D. Ondarse Álvarez, "Batería - Concepto, tipos de baterías y cómo funcionan", *concepto*, jun. 2021. Accedido: 27 de mayo de 2024. Disponible en: <https://concepto.de/bateria/>
- [8] C. A. Peña Ramos y M. I. Céspedes Gonzales, "Diseño de una estación de carga solar para vehículos eléctricos en centros comerciales", *ENERLAC. Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe*, vol. 5, no. 2, pp. 134-155, dic. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/164>
- [9] "CABLE DE COBRE TIPO THW LS DE CAL. 14 AWG 600V. | VIAKON", Euroeléctrica. Accedido: 15 de noviembre de 2023. Disponible en: <https://euroelectrica.com.mx/producto/cable-de-cobre-tipo-thw-ls-de-cal-14-awg-600v-viakon/>

- [10] C. Spiegel, "Diseño de estación solar para carga eléctrica de equipo electrónico", Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2014. [En línea]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2983_IN.pdf
- [11] C. F. Ramírez. Espinoza, C. Ponce Corral, R. Neco Caberta, L. A. García Villalba, y M. M. Hernández Ramos, "Dimensionado de una estación para carga de dispositivos móviles a base de energía solar fotovoltaica", *Cultura Científica y Tecnológica*, no. 59, dic. 2016. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/1468>
- [12] "MÓDULO TP4056 CARGADOR BATERÍAS LITIO CON PROTECCIÓN – Grupo Electrostore". Accedido: 7 de junio de 2023. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/cargadores-para-baterias/modulo-tp4056-5v-micro-usb-1a-cargador-para-baterias-litio-con-proteccion/>
- [13] "SERVOMOTOR TOWER PRO MG996R 13 KG.CM STANDARD 180° – Grupo Electrostore". Accedido: 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/motores/servomotores/servomotor-tower-pro-mg996r-13-kg-cm-standard-180/>
- [14] Carestia Dario, "*Estación de Carga Solar Autónoma de Vehículos Eléctricos ECSAVE-I*", Instituto de Energía Eléctrica, 2024. Accedido: 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://iee-unsjconicet.org/estacioncarga/>
- [15] "¿Cómo calcular una instalación eléctrica de paneles solares?", Electricasas. Accedido: 8 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.electricasas.com/calcular-una-instalacion-electrica-de-paneles-solares/>



Impacto de la Inteligencia Artificial en el aprendizaje de la ofimática

(Impact of Artificial Intelligence on Office Automation Learning)

Erick Fabricio Anchundia Rodriguez , Gema Isabel Medranda Cobeña
Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador
eanchundia8162@utm.edu.ec, gema.medranda@utm.edu.ec

Resumen: La Inteligencia Artificial (IA) está demostrando ser una tecnología con un gran potencial para transformar la educación; en este artículo, se investigó el impacto de la IA en el aprendizaje de la ofimática a través de una metodología preexperimental y un corte longitudinal. El estudio se llevó a cabo con estudiantes de tercer nivel de la carrera de Educación Inicial en la Universidad Técnica de Manabí. Se recopiló la perspectiva de los estudiantes a través de encuestas, lo que permitió evidenciar el impacto positivo de la IA. El grupo de experimentación mostró una mejora significativa en sus calificaciones, con un promedio final de alrededor de 96 puntos sobre 100 y una asistencia del 93 %. Estos resultados respaldan la noción de que la IA tiene un potencial transformador en la educación, al facilitar la personalización del aprendizaje y mejorar el desempeño de los estudiantes.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, educación, ofimática.

Abstract: Artificial Intelligence (AI) is proving to be a technology with great potential to transform education; in this article, the impact of AI on office automation learning was investigated through a pre-experimental methodology and a longitudinal cut. The study was carried out with third level students of Initial Education at the Technical University of Manabí. The perspective of the students was gathered through surveys, which allowed evidencing the positive impact of AI. The experimental group showed a significant improvement in their grades, with a final average of around 96 points out of 100 and 93 % attendance. These results support the notion that AI has transformative potential in education, facilitating the personalization of learning and improving student performance.

Keywords: Artificial Intelligence, education, office automation.

1. INTRODUCCIÓN

Para adaptarse al contexto de la educación 4.0, que promueve el aprendizaje autónomo mediante el uso de la tecnología y la reflexión crítica, y que busca reducir las brechas sociales en el desarrollo [1], los sistemas educativos deben transformarse y preparar a los jóvenes para los desafíos académicos y laborales que se presentarán en el futuro debido a la revolución tecnológica o cuarta revolución industrial [2]. Esta revolución consiste en la integración inteligente de diversas tecnologías digitales, como la impresión 3D, la Inteligencia Artificial (IA) o el Internet de las cosas, para lograr una mayor eficiencia en el sistema productivo [3],[4].

El cuarto objetivo de la ONU según la agenda 2030 en [5] expresa: “Garantizar una educación inclusiva, equitativa, de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos”; para alcanzar este objetivo, se requiere de una alfabetización digital de todos los actores educativos que les permita integrar las tecnologías en sus prácticas estudiantiles. Entre estas tecnologías, la IA tiene un potencial transformador, ya que puede facilitar la personalización del aprendizaje según las características de cada estudiante [5]. Así lo reconoce el Consenso de

Beijing [6] sobre la IA y la Educación, que destaca la importancia de incorporar la IA en el ámbito educativo para lograr un sistema educativo abierto y equitativo. Además, este apoya el uso de recursos educativos de libre acceso y la educación a distancia como estrategias para mejorar la calidad de la enseñanza [7].

El *Machine Learning* es una rama de la IA que permite a las máquinas aprender de los datos y tomar decisiones o hacer predicciones sin necesidad de programación explícita, imitando la inteligencia humana [8], [9]. Esta tecnología tiene aplicaciones en el ámbito educativo, ya que puede ayudar a predecir el rendimiento de los estudiantes, adaptar los contenidos y actividades a sus necesidades y planificar las lecciones de forma óptima [10], [11]. La plataforma diseñada por los autores en [13] llamada Learning ML está basada en Machine Learning y permitió a los estudiantes de entre 10 y 16 años comprender los fundamentos de esta disciplina y crear sus propios proyectos de forma sencilla, atractiva y divertida. El Machine Learning es una de las vertientes de la IA, que se define como una ciencia que diseña máquinas inteligentes capaces de resolver problemas anticipando la acción del entorno mediante la adaptabilidad y el reconocimiento de patrones [12], [14]. Otra vertiente de la IA que se ha empleado en educación es la de los chatbots o tutores virtuales, que son agentes conversacionales que interactúan con los estudiantes y les ofrecen apoyo, feedback y evaluación de forma instantánea [15], [16].

La introducción de la IA en la educación infantil es factible y beneficiosa, según el estudio realizado en [17], que propusieron un plan específico de formación en esta área para el alumnado de esta etapa. Sin embargo, la IA no debe sustituir al objetivo principal de la educación, que es el logro de un aprendizaje significativo, como advierten [18], la enseñanza de la IA implica también la enseñanza de los aspectos éticos que deben guiar los diseños del alumnado, tal como sugieren [19]. Por lo tanto, las instituciones educativas deben diseñar espacios de enseñanza flexibles que incorporen la IA, pero también reflexionar sobre las prácticas educativas que la acompañan.

La formación del alumnado universitario debe orientarse al desarrollo de la alfabetización digital, que comprende tres niveles: competencia digital, uso digital y transformación digital, según [20]. En esta línea la competencia digital se refiere a las habilidades, actitudes y conceptos relacionados con las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), que son necesarios, pero no suficientes, como indican [21]. La competencia digital a tareas o problemas reales, conlleva un aprendizaje transferible y la participación en comunidades de práctica, definidas por [22] y [23] como grupos de personas que comparten y profundizan en un tema o práctica común. El nivel más alto de la alfabetización digital es la transformación digital, que consiste en la innovación y creatividad individual o colectiva que genera un cambio en el contexto de aplicación.

El objetivo de este estudio es educar a los estudiantes en el uso de herramientas ofimáticas y empleo de IA, para caracterizar el impacto que la IA está teniendo en su desempeño académico, contribuyendo a su preparación para el mercado laboral [24], de esta forma, se busca responder a los desafíos que la escuela enfrentará en los años venideros y preparar a los estudiantes para la sociedad del conocimiento [12]. Para ello, se han realizado actividades sobre IA aplicadas a la materia de herramientas ofimáticas, en la que los estudiantes han trabajado durante un semestre. Para posteriormente rendir una encuesta que ha sido evaluada por expertos en la educación.

2. METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en el período S1 - 2023 de manera presencial con los 30 estudiantes de tercer nivel de la carrera de Educación Inicial en la Universidad Técnica de Manabí. Para conocer las opiniones de los participantes se optó por un diseño experimental de nivel pre experimental [25] desarrollando así un corte longitudinal donde se obtuvo dos momentos: un antes sin estímulo y un después del estímulo [26] (ver Figura 1).

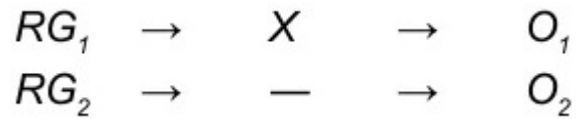


Figura 1. Diseño experimental de nivel pre experimental.

En este estudio, se utilizaron encuestas y ejercicios en clase como herramientas de evaluación para analizar la congruencia entre la percepción de los alumnos y el conocimiento adquirido. El objetivo fue verificar si la percepción de los estudiantes sobre el contenido y la metodología de enseñanza se alineaba con su desempeño académico, reflejado en las calificaciones obtenidas.

2.1. Instrumentos utilizados

Encuestas: Se diseñaron encuestas por unidad para recopilar la percepción de los alumnos sobre la claridad de los conceptos enseñados, la utilidad de las actividades en clase y la efectividad del material didáctico.

Ejercicios prácticos: Se desarrollaron ejercicios prácticos relacionados con los temas tratados en las unidades que se detallan en la Tabla 1, para evaluar la comprensión y aplicación del conocimiento.

2.2. Procedimiento

Aplicación de encuestas: Al final de cada unidad, se administraron las encuestas a todos los participantes para recopilar sus percepciones.

Realización de ejercicios prácticos: Durante el curso, se asignaron ejercicios prácticos que debían ser completados en clase bajo la supervisión del docente tutor, para evaluar la asimilación de los contenidos teóricos.

2.3. Análisis de congruencia

Se compararon las respuestas de las encuestas con el desempeño académico de los estudiantes, medido a través de las calificaciones obtenidas en los ejercicios y evaluaciones y para analizar si existía coherencia entre la percepción expresada por los alumnos en las encuestas y su rendimiento académico, evidenciado en las calificaciones obtenidas, con este enfoque metodológico permitió identificar también posibles discrepancias que podrían influir en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

2.4. Procedimiento y materiales

En la Tabla 1, se describe el desarrollo de las actividades más relevantes empleando Inteligencia Artificial realizadas con los estudiantes en cada unidad de la asignatura de herramientas ofimáticas.

Tabla 1. Actividades y valoraciones alcanzadas por unidad.

	Objetivo	Material	Tarea	Impacto
Unidad 1	Desarrollar habilidades de búsqueda académica con gestores bibliográficos y sus extensiones	Guía de instalación paso a paso de MyBib, compendio de la unidad 1, guía del estudiante.	1- Realizar una investigación con citas en APA 7 de las generalidades del internet y eventos importantes hasta la fecha. 2- Infografía sobre búsquedas avanzadas en el computador y en la web con los repositorios y	medio

			páginas con IA como perplexity AI.	
	Desarrollo de habilidades de aplicaciones y servicios web.	Aplicaciones de Google, guía del estudiante, guías de instalación, vídeos de uso.	3-Convertir imágenes a texto	alto
Unidad 2	Diseñar hojas de cálculo para sistematizar los procesos educativos	Vídeo explicativo, spreadsheet de Google con la extensión de GPT, guía del estudiante, compendio de la unidad 2.	4- Utilizando la herramienta de hoja de cálculo aplica ejercicios básicos de registro de notas y facturas con fórmulas, tabula los resultados de las encuestas y realiza gráficos estadísticos.	medio
			5- Utiliza comando de la herramienta GPT en las hojas de cálculo de Google (en línea) para analizar problemas y sus respuestas con GPT y con el uso normal de fórmulas, funciones, validaciones, listas, formatos condicionales y mensajes	alto
Unidad 3	Elaborar documentos que integren el uso de diferentes estilos de texto, gráficos y tablas mediante el uso de las funciones básicas del procesador de texto, formato APA 7 en MS word, relación de correspondencia, inserción de objetos, uso de gestores bibliográficos, creación de contenido usando IA con el fin de crear	Guía de las normas APA 7, Vídeos explicativos de configuración de un documento en MS word para APA 7, Vídeo explicativo de creación de contenido con IA (discusiones académicas), guía del estudiante, compendio de la unidad 3	6-Establece lineamientos de cómo elaborar un documento con estilos en un procesador de texto realiza su plantilla de proyecto con su respectiva tabla de contenido, que deberán subirlo en el aula virtual.	medio
			7- Redactar un documento académico con normas APA 7, citas en texto, inserción de objetos (archivo MS excel), gráficos, tablas, referencia bibliográfica.	
			8-Creación de una historia para niños usando IA.	alto
			9-Documentos plantillas para relación de correspondencia con un archivo de MS Excel.	medio

	contenido académico publicable y material didáctico.	
Unidad 4	Construir presentaciones utilizando las diferentes herramientas que posee el software como sustento básico en sus trabajos expositivos	Compendio de la unidad 4, guía del estudiante, vídeo explicativo
		10-Realizar la presentación de su proyecto. utilizando apropiadamente las inteligencias artificiales para la creación de presentaciones, alto debe contener citas en texto, referencias bibliográficas, hipervínculos, transiciones y animaciones. 11-Creación de un avatar e inserción del mismo en una alto presentación.

Para evaluar el conocimiento de los estudiantes se le realizaron preguntas tomando como referencia la escala de Likert [26] la cual cuenta con 5 niveles; donde 5 representa “Nivel experto” y 1 “No conoce” (ver Tabla 2), para la recolección de datos se utilizaron la observación en clases de los ejercicios prácticos y los cuestionarios para las encuestas. Las encuestas en escala de Likert se realizaron por unidad, en las cuales evaluamos la percepción en el desarrollo de las capacidades procedimentales de los estudiantes.

2.5. Instrucciones

Por favor, lea cuidadosamente e indique su grado de capacidad procedimental (saber hacer) percibida por usted, mismas que se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Escala de calificación.

Capacidad	Puntuación numérica	Rango nivel
Procedimental	1	No conoce
	2	Nivel básico
	3	Nivel intermedio
	4	Nivel avanzado
	5	Nivel experto

Unidad 1: Desarrollo de habilidades de búsqueda académica

Estimado/a estudiante, bendiciones y parabienes a su vida. Recuerde que esta encuesta tiene por objetivo evaluar su percepción en relación al desarrollo de las actividades realizadas en la unidad 1, con el fin de ser contrastado con su desempeño académico al final del parcial, los datos de esta encuesta podrían ser utilizados en una publicación científica, si está de acuerdo marque la casilla y proceda a completar la encuesta, caso contrario entregue la hoja en blanco. Agradezco su tiempo y su honestidad en cada pregunta.

1. Seleccione la opción que usted considere más se acerca a lo que desarrolló como capacidad procedimental (saber hacer) al realizar una investigación con citas en APA 7:

- | | | |
|----------------------|--|--------------------------|
| No conoce (1) | No asistí a las clases o no leí el compendio o la guía del estudiante, acabo de matricularme en la asignatura. | ☐ |
| Nivel básico (2) | Soy capaz de realizar investigaciones básicas con citas en APA 7. | ☐ |
| Nivel intermedio (3) | Poseo habilidades intermedias en la realización de investigaciones con citas en APA 7. | ☐ |
| Nivel avanzado (4) | He demostrado tener un nivel avanzado en la realización de investigaciones con citas en APA 7. | ☐ |
| Nivel experto (5) | He exhibido o evidenciado un nivel experto en la realización de investigaciones con citas en APA 7. | ☐ |

2. Seleccione la opción que usted considere más se acerca a lo que desarrolló como capacidad procedimental (saber hacer) al realizar una infografía sobre búsquedas avanzadas:

- | | | |
|----------------------|--|--------------------------|
| No conoce (1) | No asistí a las clases o no leí el compendio o la guía del estudiante, acabo de matricularme en la asignatura. | ☐ |
| Nivel básico (2) | Soy capaz de crear una infografía básica sobre búsquedas avanzadas. | ☐ |
| Nivel intermedio (3) | Poseo habilidad intermedia en la creación de infografías sobre búsquedas avanzadas. | ☐ |
| Nivel avanzado (4) | Posee un nivel avanzado en la creación de infografías sobre búsquedas avanzadas. | ☐ |
| Nivel experto (5) | He exhibido o evidenciado un nivel experto en la creación de infografías sobre búsquedas avanzadas. | ☐ |

3. Seleccione la opción que usted considere más se acerca a lo que desarrolló como capacidad procedimental (saber hacer) al convertir imágenes a texto:

- | | | |
|----------------------|--|--------------------------|
| No conoce (1) | No asistí a las clases o no leí el compendio o la guía del estudiante, acabo de matricularme en la asignatura. | ☐ |
| Nivel básico (2) | Poseo la capacidad básica para convertir imágenes a texto. | ☐ |
| Nivel intermedio (3) | Tengo la habilidad intermedia en la conversión de imágenes a texto. | ☐ |
| Nivel avanzado (4) | He demostrado un nivel avanzado en la conversión de imágenes a texto. | ☐ |

Nivel experto (5):	He exhibido o evidenciado un nivel experto en la conversión de imágenes a texto.	☐
--------------------	--	--------------------------

Unidad 2: Diseño de hojas de cálculo

Estimado/a estudiante, bendiciones y parabienes a su vida. Recuerde que esta encuesta tiene por objetivo evaluar su percepción en relación al desarrollo de las actividades realizadas en la unidad 2, con el fin de ser contrastado con su desempeño académico al final del parcial, los datos de esta encuesta podrían ser utilizados en una publicación científica, si está de acuerdo marque la casilla y proceda a completar la encuesta, caso contrario entregue la hoja en blanco. Agradezco su tiempo y su honestidad en cada pregunta.

1. Seleccione la opción que usted considere más se acerca a lo que desarrolló como capacidad procedimental (saber hacer) al utilizar la herramienta de hoja de cálculo:

No conoce (1)	No asistí a las clases o no leí el compendio o la guía del estudiante.	☐
Nivel básico (2)	Poseo la capacidad para aplicar ejercicios básicos de registro de notas y facturas con fórmulas en hojas de cálculo.	☐
Nivel intermedio (3)	Poseo la habilidad intermedia en el uso de hojas de cálculo para tabular resultados de encuestas y crear gráficos estadísticos.	☐
Nivel avanzado (4)	He demostrado tener un nivel avanzado al aplicar fórmulas, tabular datos y crear gráficos estadísticos en hojas de cálculo.	☐
Nivel experto (5)	He exhibido o evidenciado un nivel experto al utilizar hojas de cálculo para análisis complejos y presentación visual de datos.	☐

2. Seleccione la opción que usted considere más se acerca a lo que desarrolló como capacidad procedimental (saber hacer) al utilizar el comando GPT y las extensiones de IA en hojas de cálculo Google:

No conoce (1)	No asistí a las clases o no leí el compendio o la guía del estudiante.	☐
Nivel básico (2)	Poseo la capacidad básica para analizar problemas y respuestas con GPT y fórmulas en hojas de cálculo en línea.	☐
Nivel intermedio (3)	Poseo la habilidad intermedia en el uso del comando GPT para análisis y aplicación de fórmulas en hojas de cálculo Google.	☐
Nivel avanzado (4)	Poseo un nivel avanzado al utilizar funciones avanzadas, validaciones y formatos condicionales con GPT en hojas de cálculo.	☐
Nivel experto (5)	He demostrado un nivel experto al integrar múltiples funciones, listas y mensajes con GPT en hojas de cálculo Google.	☐

Unidad 3: Elaboración de documentos integrando estilos y contenido académico

Estimado/a estudiante, bendiciones y parabienes a su vida. Recuerde que esta encuesta tiene por objetivo evaluar su percepción en relación al desarrollo de las actividades realizadas en la unidad 3, con el fin de ser contrastado con su desempeño académico al final del parcial, los datos de esta encuesta podrían ser utilizados en una publicación científica, si está de acuerdo marque la casilla y proceda a completar la encuesta, caso contrario entregue la hoja en blanco. Agradezco su tiempo y su honestidad en cada pregunta.

1. Seleccione la opción que usted considere más se acerca a lo que desarrolló como capacidad procedimental (saber hacer) al elaborar un documento con estilos:

- | | | |
|----------------------|---|--------------------------|
| No conoce (1) | No distingo entre estilos predefinidos y personalizado, o no he asistido a clases ni leído la guía del estudiante. | ☐ |
| Nivel básico (2) | Poseo la capacidad para aplicar estilos y modificar estilos predefinidos básicos (como fuente, tamaño y color) y crear estilos personalizados simples. | ☐ |
| Nivel intermedio (3) | Poseo la habilidad para crear estilos personalizados complejos y controlar la estructura del documento (títulos, subtítulos, etc.), controlar la paginación y los saltos de página aplicando diferentes estilos a diferentes secciones del documento. | ☐ |
| Nivel avanzado (4) | Poseo la habilidad para usar estilos para crear documentos con formatos complejos (tablas de contenido, índices, etc.), automatizar tareas (como la generación de encabezados y pies de página) y usar macros para crear y aplicar estilos personalizados. | ☐ |
| Nivel experto (5) | He demostrado un nivel experto al crear y usar plantillas con estilos personalizados con todas las especificaciones para un documento en APA 7, así como instalación de complementos con IA y uso de macros para optimización del tiempo de verificación de plagio y correcciones ortográficas y gramaticales y ciertos comodines especiales. | ☐ |

2. Seleccione la opción que usted considere más se acerca a lo que desarrolló como capacidad procedimental (saber hacer) al elaborar un documento académico con normas APA 7:

- | | | |
|------------------|---|--------------------------|
| No conoce (1) | No distingo entre un documento simple y un documento académico con normas APA 7, o no he asistido a clases ni leído la guía del estudiante. | ☐ |
| Nivel básico (2) | Poseo la capacidad aplicar las normas APA 7 básicas (formato de títulos, sangrías, etc.), insertar citas en el texto y | ☐ |

referencias bibliográficas y compartir documentos y trabajar colaborativamente de forma básica.

Nivel intermedio (3): Poseo la habilidad para aplicar las normas APA 7 de forma completa (citas en el texto, referencias bibliográficas, etc.), insertar objetos, gráficos y tablas de forma básica y puedo compartir documentos y trabajar colaborativamente de forma eficiente. ☐

Nivel avanzado (4): Poseo un nivel avanzado para aplicar las normas APA 7 de forma experta, incluyendo casos complejos e insertar objetos, gráficos y tablas de forma compleja y compartir documentos y trabajar colaborativamente de forma experta, utilizando herramientas de seguimiento de cambios y control de versiones. ☐

Nivel experto (5): He demostrado un nivel experto al crear y modificar estilos de acuerdo a las normas APA 7, automatizar la creación de referencias bibliográficas y gestionar proyectos colaborativos complejos con múltiples usuarios. ☐

3. Seleccione la opción que usted considere más se acerca a lo que desarrolló como capacidad procedimental (saber hacer) al realizar la creación de una historia para niños usando IA:

No conoce (1) No tengo conocimientos en el uso de herramientas de IA para la creación de historias, o no asistía a clases ni observe el video explicativo. ☐

Nivel básico (2) Poseo la capacidad de usar una herramienta de IA para generar una historia simple, establecer un prompt básico y determinar un objetivo básico para la historia. ☐

Nivel intermedio (3): Poseo la habilidad para generar historias más complejas, establecer prompts más elaborados para la herramienta de IA, determinar objetivos más específicos, crear un mensaje a través de la historia y reescribir la historia generada por la IA para mejorarla. ☐

Nivel avanzado (4): Poseo un nivel avanzado para generar historias con diferentes estilos y formatos, usar prompts avanzados para controlar la narrativa de la historia, determinar objetivos específicos y relevantes para la historia, así como compartir la historia y reescribir la historia de forma creativa para adaptarla a diferentes públicos. ☐

Nivel experto (5):	He demostrado un nivel experto al usar múltiples herramientas de IA para crear historias complejas e interactivas, crear prompts personalizados para obtener resultados específicos de la IA, determinar objetivos complejos y multifacéticos para la historia, crear mensajes poderosos y conmovedores a través de la historia, también puedo seleccionar e integrar imágenes que complementen y enriquezcan la historia.	☐
--------------------	--	--------------------------

4. Seleccione la opción que usted considere más se acerca a lo que desarrolló como capacidad procedimental (saber hacer) plantillas para relación de correspondencia con un archivo de MS Excel:

No conoce (1)	No tengo conocimientos sobre de la función "Combinar correspondencia" en Word, o no he asistido a clases o leído la guía del estudiante.	☐
---------------	--	--------------------------

Nivel básico (2)	Poseo la capacidad de realizar una combinación de correspondencia simple con un archivo de MS Excel, insertar campos de combinación básicos (como nombre, dirección) en un documento de Word y generar cartas personalizadas a partir de un archivo de Excel.	☐
------------------	---	--------------------------

Nivel intermedio (3):	Poseo la habilidad para realizar combinaciones de correspondencia más complejas con múltiples archivos de Excel, usar filtros y criterios para seleccionar qué datos de Excel se incluyen en la combinación, personalizar el diseño de las cartas o documentos con campos de combinación condicionales.	☐
-----------------------	---	--------------------------

Nivel avanzado (4):	Poseo un nivel avanzado para automatizar la creación de documentos con macros, usar código VBA para crear campos de combinación personalizados, integrar la combinación de correspondencia con otras funciones de Word.	☐
---------------------	---	--------------------------

Nivel experto (5):	He demostrado un nivel experto al crear plantillas de combinación de correspondencia complejas para diferentes tipos de documentos, usar la combinación de correspondencia para crear documentos con formatos complejos (boletines, etiquetas, etc.) y optimizar el proceso de combinación de correspondencia para mejorar la eficiencia.	☐
--------------------	---	--------------------------

Unidad 4: Construcción de presentaciones utilizando herramientas del software

Estimado/a estudiante, bendiciones y parabienes a su vida. Recuerde que esta encuesta tiene por objetivo evaluar su percepción en relación al desarrollo de las actividades realizadas en la unidad 4, con el fin de ser contrastado con su desempeño académico al final del parcial, los datos de esta encuesta podrían ser utilizados en una publicación científica, si está de acuerdo marque la casilla y proceda a completar la encuesta, caso contrario entregue la hoja en blanco. Agradezco su tiempo y su honestidad en cada pregunta.

1. Seleccione la opción que usted considere más se acerca a lo que desarrolló como capacidad procedimental (saber hacer) al utilizar apropiadamente las inteligencias artificiales para la creación de presentaciones:

- | | | |
|-----------------------|---|--------------------------|
| No conoce (1) | No tengo conocimientos sobre cómo usar la IA para generar presentaciones o no he asistido a clases, ni leído la guía del estudiante. | ☐ |
| Nivel básico (2) | Poseo la capacidad de usar IA para traducir textos a otros idiomas, e insertar citas en el texto y referencias bibliográficas con sus hipervínculos de forma básica. | ☐ |
| Nivel intermedio (3): | Poseo la habilidad para usar IA con el objetivo de generar contenido complejo para presentaciones (por ejemplo, gráficos, tablas), personalizar el diseño de la presentación, corregir la gramática y ortografía del texto, verificar el plagio, insertar citas en el texto de forma correcta, así como las referencias bibliográficas e hipervínculos de forma correcta y aplicar transiciones y animaciones. | ☐ |
| Nivel avanzado (4): | Poseo la habilidad de usar IA para crear presentaciones completas e interactivas, e integrar diferentes tipos de contenido en la presentación (por ejemplo, videos, audio), para crear sub-presentaciones dentro de la misma presentación, optimizar el tamaño y la calidad de la presentación, dominar la inserción de citas en el texto, referencias bibliográficas, hipervínculos, transiciones y animaciones. | ☐ |
| Nivel experto (5): | He demostrado un nivel experto al crear plantillas usando IA con el objeto de crear presentaciones innovadoras y memorables, automatizar tareas en la creación de presentaciones y crear presentaciones audible o narradas en formato .mp4 para personas con discapacidad visual, analizar el impacto de la presentación en la audiencia utilizando encuestas insertadas con escaneo de código QR, así como la inserción de citas en el texto, referencias bibliográficas, hipervínculos, transiciones y animaciones. | ☐ |

2. Seleccione la opción que usted considere más se acerca a lo que desarrolló como capacidad procedimental (saber hacer) al crear un avatar e insertarlo en una presentación:

- No conoce (1) No tengo conocimientos sobre cómo crear un avatar para presentaciones o no he asistido a clases u observado el video guía de la unidad 4. ☐
- Nivel básico (2) Poseo la capacidad de usar herramientas básicas para crear avatares (por ejemplo, Bitmoji, Cartoonify) e insertar un avatar en una presentación usando la función “Insertar imagen”. ☐
- Nivel intermedio (3) Poseo la habilidad de usar herramientas más avanzadas para crear avatares (por ejemplo, Vroid Studio, Character Creator, personalizar avatares con diferentes características y accesorios e insertar un avatar en una presentación y animarlo de forma básica. ☐
- Nivel avanzado (4) Poseo la habilidad de crear avatares 3D realistas con texturas y animaciones detalladas con fluidez y naturalidad y usar herramientas de scripting para crear interacciones con el avatar en la presentación. ☐
- Nivel experto (5) He demostrado un nivel experto al crear avatares con características únicas y personalizadas, usar técnicas avanzadas de animación para dar vida a los avatares en las presentaciones e integrar avatares en presentaciones con un alto nivel de interactividad y atractivo visual. ☐

3. RESULTADOS

Para el análisis de los datos se utilizó el método estadístico ANOVA en el software Minitab, para comparar medias de diferentes procesos o grupos, los resultados nos permiten demostrar que hay diferencia significativa entre dos o más medias poblacionales (ver Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza - ANOVA en el pos test.

Fuente	GL	SC Adjust.	MC Adjust.	Valor F	Valor p
Percepción pos test	6	13,09	2,1816	3,15	0,021
Error	23	15,93	0,6927		
Total	29	29,02			

Con los datos recopilados podemos observar en la Figura 2 el aprendizaje de las herramientas ofimáticas, en el pre y pos test, con un incremento promedio de aproximadamente 0,8 décimas.



Figura 2. Evaluación del desarrollo de unidades sin uso de IA.

En cuanto a las notas relacionadas con las actividades descritas en la Tabla 1 se puede apreciar un avance promedial significativo (ver Figura 3).

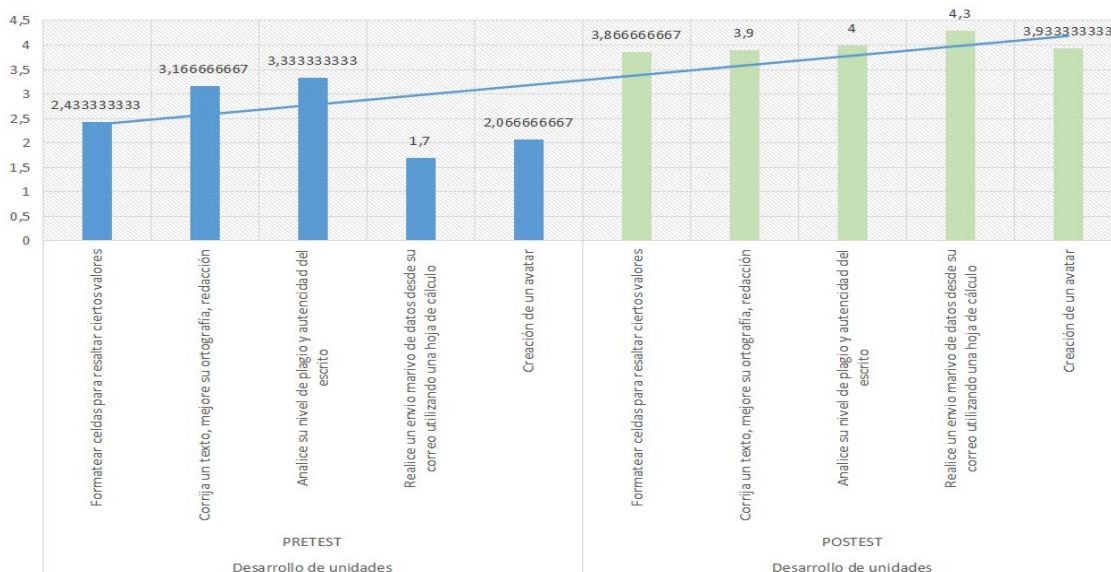


Figura 3. Desarrollo de unidades pre y pos test sin IA.

Entretanto como se observa en la Figura 4 los estudiantes pre test y pos test donde se aplicó enseñanza con IA tuvieron un mejor desempeño alcanzando en las tareas descritas en la Tabla 1.

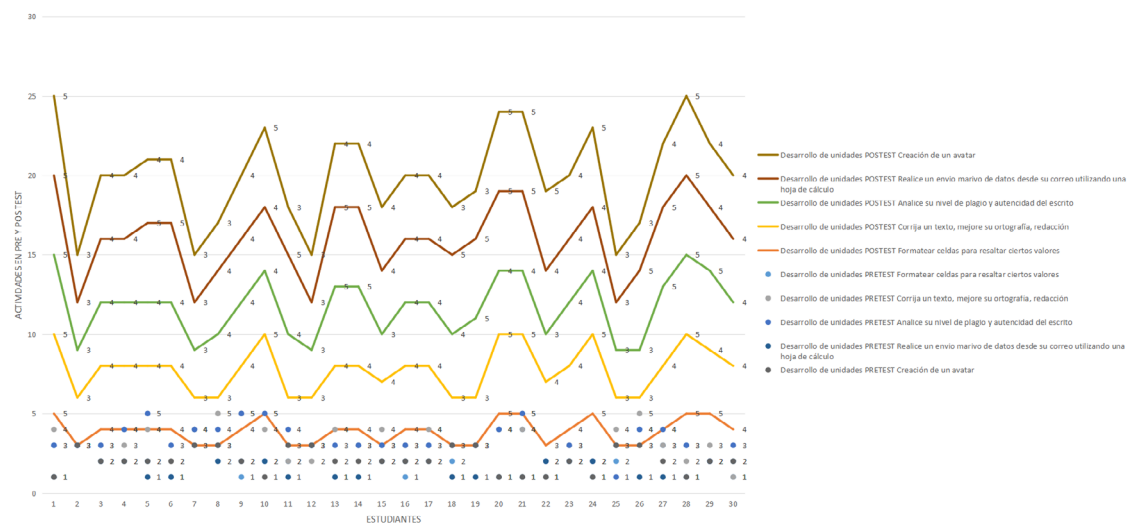


Figura 4. Desarrollo de la muestra en las actividades del pre y pos test con IA.

Podemos verificar con las figuras anteriores un impacto elevado en las actividades soportadas con IA por que puede señalar el cambio causado por el impacto a nivel educativo proveniente de una tendencia [19], sobre evidencia en la Figura 4 donde podemos denotar que el desarrollo de habilidades procedimentales del grupo de estudiantes en el pre y pos test.

4. DISCUSIÓN

En la educación aplicada al aprendizaje de la ofimática analizando las percepciones de los estudiantes a partir de su desempeño y en conjunto con herramientas basadas en IA, se logra columbrar que los estudiantes de tercer nivel de la carrera de Educación Inicial tuvieron un aprendizaje significativo, lo cual se ve plasmado en las Figuras 2, 3 y 4 apoyando así la investigación de [14] donde concluye cómo una tutoría inteligente provoca que los estudiantes experimenten una mayor efectividad en el aprendizaje que los del grupo de control siendo esto también evidenciado en el trabajo de [12] donde la iniciativa tuvo un impacto positivo en el conocimiento de la IA de los participantes, siendo la mejora especialmente importante para aquellos estudiantes que inicialmente mostraron menos familiaridad con el tema.

El valor de p obtenido fue de 0,021 en el análisis de ANOVA, lo cual es menor que el nivel de significancia 0,05; por ende se puede concluir que hay diferencias significativas en el aprendizaje de la ofimática con el uso de la IA, lo cual se ve reflejado en el promedio final de los estudiantes de herramientas ofimáticas de la carrera de educación inicial que obtuvieron al término del semestre un promedio aproximado de 96 puntos sobre 100, con una asistencia aproximada del total de participantes correspondiente al 93 %, logrando que ningún estudiante reprobara la asignatura, con lo que se concluye con base en los datos que el uso de la IA tiene un impacto significativo en el aprendizaje de la ofimática, como se visualiza las columnas de pretest tienen un promedio inferior a la media general, mientras las columnas del pos test su promedio es superior a la media.

5. CONCLUSIONES

El rendimiento académico de los estudiantes en las actividades con el uso de la IA implementado en el aprendizaje de las herramientas ofimáticas se evidencia notablemente en la Figura 3 y 4 en comparación a la Figura 2, donde no se empleó la IA, podemos concluir que la aceptación de la IA por parte de los estudiantes al experimento y cómo percibieron esta tecnología les permitió mejorar sus calificaciones. Las calificaciones por debajo del promedio se redujeron a un 0 % en el grupo de estudiantes evidenciando un gran impacto en el aprendizaje de la ofimática

y planteando posibles nuevas investigaciones para replicar este experimento en otras áreas de la educación, con el fin de evidenciar el impacto que la IA puede tener en el aprendizaje.

REFERENCIAS

- [1] Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, "Transformación estructural, cuarta revolución industrial y desigualdad: desafíos para las políticas de ciencia, tecnología e innovación", 2019. [En línea]. Disponible en: https://unctad.org/system/files/official-document/ciid43_es.pdf [Accedido: 20 de noviembre de 2023].
- [2] I. Muñoz, E. Gonzállez, y M. Beas, " Retos educativos y sociales en tiempos de confinamiento", *Educere*, vol. 25, no. 80, pp. 131-146, may. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/356/35666280012/html>.
- [3] F. J. Chávez, C. Carreto, J. M. Ramos, R. V. Avalos, C. S. Cruz, A. Panchi, J. Ordaz y M. E. Argüello, "Los docentes de educación media y superior ante los desafíos digitales de la 4ª Revolución Industrial y la pandemia del COVID-19.Un estudio de caso [Comunicación]. Congreso Mundial Virtual Educa Lisboa". <https://encuentros.virtualeduca.red/storage/ponencias/lisboa2020/Bj6wfhUmKYw9ZtMGcQUFar3wMHeHNxZJnQUowCiO.pdf>.
- [4] X. Martínez, "La industria 4.0 y las pedagogías digitales: aporías e implicaciones para la educación superior", *Innovación Educativa*, vol. 19, no. 79, pp. 7-12, en. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.innovacioneducativa.unam.mx:8443/jspui/handle/123456789/4296>.
- [5] D. Hutchins, "How Artificial Intelligence is Boosting Personalization in Higher Education". Ed Tech. <https://edtechmagazine.com/higher/article/2017/11/ai-boosts-personalized-learning-higher-education>. [Accedido: 28 de noviembre de 2023].
- [6] UNESCO, "La inteligencia artificial en la educación". UNESCO. <https://www.unesco.org/es/digital-education/artificial-intelligence>. [Accedido: 21 de noviembre de 2023].
- [7] UNESCO, "Educación 2030: Declaración de Incheon y Marco de Acción para la realización del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4: Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos", documento de programa- ED-2016/WS/28, 2016, [En línea]. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245656_sp.
- [8] X.-D. Zhang, "Machine Learning", en *A Matrix Algebra Approach to Artificial Intelligence*, Ed. 1, Singapore: Springer, 2020, 223-440. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-2770-8>.
- [9] I. El Naqa y M. J. Murphy, "What Is Machine Learning?", en *Machine Learning in Radiation Oncology: Theory and Applications*, Ed. 1, Springer, 2015, 3-11. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18305-3_1.
- [10] B. Sekeroglu, K. Dimililer y K. Tuncal, "La Inteligencia Artificial en Educación: aplicación en la evaluación del desempeño del alumno" *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, pp. 1-21, sep. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.46377/dilemas.v28i1.1594>.

- [1 1] E. M. Sanchez, M. Lama, "Monografía: Técnicas de la Inteligencia Artificial Aplicadas a la Educación", *Intel. Artif. Rev. Iberoam*, vol. 11, no. 33, pp. 7-12, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/925/92503302.pdf>.
- [1 2] J. Rodríguez, J. Moreno-León, M. Román-González, y G. Robles, *Evaluation of an Online Intervention to Teach Artificial Intelligence With LearningML to 10-16-Year-Old Students*. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/344744220_Evaluation_of_an_Online_Intervention_to_Teach_Artificial_Intelligence_With_LearningML_to_10-16-Year-Old_Students.
- [1 3] I. Tuomi. "The Impact of Artificial Intelligence on Learning, Teaching, and Education: Policies for the Future", Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2018. [En línea]. <https://dx.doi.org/10.2760/12297>
- [1 4] W. Ma, O. O. Adesope, J. C. Nesbit, y Q. Liu, "Intelligent tutoring systems and learning outcomes: A meta-analysis.", *Journal of Educational Psychology*, vol. 106, no. 4, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1037/a0037123.supp>.
- [1 5] D. Wang, H. Han, Z. Zhan, J. Xu, Q. Liu, y G. Ren, "A problem solving oriented intelligent tutoring system to improve students' acquisition of basic computer skills", *Computers & Education*, vol. 81, pp.102-112, oct. 2015. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.10.003>.
- [1 6] F. Yang y F. W. B. Li. "Study on student performance estimation, student progress analysis, and student potential prediction based on data mining", *Computers & Education*, vol. 123, pp. 97-108, abr. 2018. [En línea]. Disponible en: [10.1016/j.compedu.2018.04.006](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.04.006).
- [1 7] A. Kaklauskas *et al.* "Student progress assessment with the help of an intelligent pupil analysis system", *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 26, no. 1, pp. 35-50, febr. 2012. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2012.01.006>.
- [1 8] R. Williams, H. W. Park, L. Oh, y C. Breazeal, "PopBots: Designing an Artificial Intelligence Curriculum for Early Childhood Education", *Proc. AAAI Conf. Artif. Intell.* Vol. 33, no. 1, pp. 9729-9736, jul. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1609/aaai.v33i01.33019729>.
- [1 9] G. de la C. León Rodríguez y S. M. Viña Brito, "La inteligencia artificial en la educación superior. Oportunidades y amenazas", *Innova Research Journal*. Vol. 2, no. 8.1, pp. 412-422, sep. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n8.1.2017.399>
- [2 0] E. Eaton , *et al.* "Blue Sky Ideas in Artificial Intelligence Education from the EAAI 2017 New and Future AI Educator Program" *AI Matters*, vol. 3 no. 4, pp. 23-31, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1145/3175502.3175509>
- [2 1] A. Martin y J. Grudziecki, "DigEuLit: Concepts and Tools for Digital Literacy Development", *Innov. Teach. Learn. Inf. Comput. Sci.*° vol. 5, no. 4, pp. 249-267, dic. 2006. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.11120/ital.2006.05040249>

- [2 2] M. Gisbert y F. Esteve, "Digital Learners: la competencia digital de los estudiantes universitarios", *Cuestión Univ*, no. 7, pp. 48-59, dic. 2011. [En línea]. Disponible en: <https://polired.upm.es/index.php/lacuestionuniversitaria/article/view/3359>
- [2 3] S. Vázquez, "Comunidades de práctica", *Educación*, vol. 47 no. 1, pp. 51-68, dic. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/Educación/article/view/244622>.
- [2 4] E. Wenger, McDermott Richard, y William M. Snyder, "Cultivating Communities of Practice: A Guide to Managing Knowledge", *Bottom Line*°. vol. 15, no. 2, pp, jun. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/bl.2002.17015bae.001>
- [2 5] H. Figueiredo, R. Biscaia, V. Rocha, y P. Teixeira, "Should we start worrying? Mass higher education, skill demand and the increasingly complex landscape of young graduates' employment", *Stud. High. Educ*, vol. 42, no. 8, pp.1401-1420, dic. 2015. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/03075079.2015.1101754>
- [2 6] G. P. Guevara Albán, A. Verdesoto Arguello, y N. E. Castro Molina, "Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)", *RECIMUNDO*, vol. 4, no. 3, pp. 163-173, jul. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/860>



Propuesta para mitigar las problemáticas administrativas de un plantel educativo mediante herramientas estadísticas de la calidad

(Proposal to Mitigate the Administrative Problems of an Educational Institution by Means of Statistical Quality Tools)

Joza Zamora Mark David , Anchundia Loor Andrés Miguel
Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador
mjoza5774@utm.edu.ec, andres.anchundia@utm.edu.ec

Resumen: El presente trabajo se realizó debido a los problemas percibidos en la administración de una institución educativa, teniendo como base esto se prosiguió con la realización del estudio para identificar los puntos débiles de los procesos administrativos y así de este modo reforzarlos. Este trabajo realizó una revisión de antecedentes para tener una idea más clara para la elaboración de la investigación. Para comprobar las inconformidades de los padres de familia y de los estudiantes se prosiguió con la utilización de herramientas estadísticas de la calidad como encuestas de satisfacción, diagrama de Pareto, matriz FODA, diagrama de Ishikawa, prueba de validación de instrumentos, y a su vez también se efectuó un cálculo poblacional. Una vez obtenidos los resultados de las encuestas y armado el diagrama de Pareto se logró percibir la insatisfacción por parte de los estudiantes con respecto al dispensario médico, ya que estos no cuentan con un botiquín indispensable para primeros auxilios y tampoco cuentan con un personal capacitado, otro problema percibido está relacionado con las charlas de prevención de drogas y alcohol, esto es debido que la institución no suele hacer este tipo de charlas a sus estudiantes. El objetivo de este trabajo investigativo es el de proponer mejoras para mitigar las problemáticas encontradas, y como conclusión este trabajo indica que la utilización de las herramientas de calidad es fundamental para identificar problemas y proponer solución.

Palabras clave: problemas administrativos, propuesta de mejora, institución educativa, herramientas estadísticas de la calidad.

Abstract: The present work was carried out due to the problems perceived in the administration of an educational institution, based on this, the study continued to identify the weak points of the administrative processes and thus reinforce them. This work carried out a background review to have a clearer idea for carrying out the research. To verify the dissatisfaction of parents and students, the use of quality statistical tools such as satisfaction surveys, Pareto diagram, SWOT matrix, Ishikawa diagram, instrument validation test, and also A population calculation was carried out. Once the results of the surveys were obtained and the Pareto diagram was assembled, it was possible to perceive the dissatisfaction on the part of the students with respect to the medical dispensary, since they do not have an essential first aid kit and they do not have trained personnel. Another perceived problem is related to drug and alcohol prevention talks, this is because the institution does not usually give this type of talks to its students. The objective of this investigative work is to propose improvements to mitigate the problems found, and in conclusion this work indicates that the use of quality tools is essential to identify problems and propose solutions.

Keywords: administrative problems, improvement proposal, educational institution, quality statistical tools.

1. INTRODUCCIÓN

La realización de este trabajo investigativo es muy importante para el plantel educativo, ya que de este modo podrán identificar los problemas que no han logrado percibir, y esto les ayudará a mejorar sus procesos administrativos.

“La estructura organizacional es el comienzo de todos los procesos para identificar beneficios futuros para la organización. Desde este punto de vista, la estructura administrativa ayuda al funcionamiento de la empresa y por tanto es práctica, por lo que los procesos deben ser claros para las personas que trabajan en ella” [1].

El problema de este trabajo investigativo está en que el personal administrativo no cuenta con las prácticas necesarias para la administración de una institución educativa, y la falta de esta experiencia generan efectos negativos en la administración que estos emplean. “Según L. Y. Sandoval Estupiñán del tema sobre los retos del director escolar novel: formación inicial y liderazgo. Nos indican que la necesidad de formación en la gestión administrativa de los recursos, que ha sido priorizada por los directores vinculados en los tres últimos años de Bogotá y Cundinamarca, es comprensible si consideramos que el perfil de formación y experiencia es más pedagógico. De los 37 directores encuestados, el 68 % ha completado una licenciatura en pedagogía y el 73 % ha realizado un posgrado en pedagogía. Estos programas no brindan capacitación en áreas específicas que necesitan los líderes escolares. Sólo el 27 % completó sus estudios con concentración en orientación educativa, liderazgo y administración. De los perfiles de formación docente respaldados por los nuevos directores, el 89 % agregó experiencia en docencia y el 78 % informó experiencia en coordinación, enfatizando su experiencia en liderazgo educativo; sólo el 22 % afirmó tener experiencia administrativa” [2]. El personal administrativo de la institución en la cual se llevó a cabo la investigación, no cuenta con conocimientos administrativos, debido que la mayoría de estos solo cuenta con estudios encaminado a la enseñanza y solo un miembro consta con una maestría y a su vez en los estudios de esta no consta con conocimiento adquiridos para la administración de un plantel, por lo cual teniendo en cuenta lo mencionado se han logrado percibir algunas inconsistencia en la administración, como por ejemplo, la triple función para un solo miembro de quien conforma la administración del plantel, ya que este miembro esta encargado del rectorado y del vicerrectorado, a su vez de impartir clases, también, sumándole a esto el personal encargado de la administración cuenta con poco tiempo administrando el plantel a más de esto de ser la primera vez que ocupan estos puestos administrativos.

El objetivo general de este trabajo es proponer mejoras para mitigar las problemáticas administrativas de la institución educativa mediante las herramientas estadísticas de la calidad. La metodología de este trabajo es cuantitativa debido a que toda la investigación está basada en cálculos estadísticos por los cuales se identificaron los problemas generados en esta administración para así de este modo darle la solución más optima.

Según M. Sánchez Armas y J. M. Delgado Bardales en su trabajo titulado como Gestión Educativa en el desarrollo del aprendizaje en las instituciones educativas, indica que el 60 % de su investigación, se relacionan con el modelo de liderazgo educativo que mejora el aprendizaje, sugiere que el liderazgo educativo es una herramienta positiva y poderosa en las instituciones educativas que ayuda a lograr mejores resultados con menos tiempo y recursos, por lo que sirve bien a los estudiantes. Por otro lado, el 40 % de los estudios confirman que las buenas prácticas docentes son la clave del éxito educativo, ya que es uno de los principales factores del éxito de los estudiantes. De esto se puede concluir que la gestión educativa es un conjunto de procesos organizados que contienen componentes tanto administrativos como pedagógicos. El primero se refiere a la planificación, organización y evaluación de procesos, el segundo se refiere a los resultados de los servicios orientados al aprendizaje. Ambas áreas cuentan con una cultura de liderazgo y colaboración, brindando un excelente servicio a los estudiantes [3].

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades con respecto al trabajo investigativo

“En cada institución educativa la administrativa incide sobre el consejo directivo y el director, el consejo no tiene oficio administrativo. El director emplea el presupuesto definido para el consejo, y esta toma las decisiones con respecto a lo planificado en horarios de trabajo, uso de área, entre otros, para garantizar un funcionamiento uniforme en el plantel” [4].

La propuesta de mejora sobre la gestión de calidad en el cambio persigue dos enfoques: a) responder a las necesidades del cliente con una mejor calidad de diseño con nivel alto de rendimiento b) nivel más alto de calidad con un menor número de deficiencias [5].

Según Suarez Vásquez, en su trabajo titulado implementación del teletrabajo y calidad de servicio de la Unidad de Gestión Educativa Local San Pablo, año 2020. Señala que su objetivo general es determinar la relación entre la implementación del teletrabajo y la calidad de los servicios en la Unidad de Administración Educativa Local de San Pablo. Tiene un enfoque cuantitativo por naturaleza, ya que el análisis estadístico se realizará mediante la recopilación de datos para probar una hipótesis. El tipo de investigación es importante porque determinará la relación entre las variables del teletrabajo y la calidad del servicio. El diseño del estudio es no experimental, correlacional simple y transversal, ya que el estudio se aplicará y se llevará a cabo en un solo momento. El estudio se realizó con 40 teletrabajadores de la UGEL San Pablo; no hubo muestreo aleatorio porque el estudio fue poblacional. El método de investigación es una encuesta y el instrumento es un cuestionario con escala Likert, el cuestionario incluye 29 ítems en variables de trabajo remoto y 26 ítems en variables de calidad del servicio. Luego del análisis, se encontró que el teletrabajo tiene una relación positiva significativa con la calidad del servicio, lo que significa que cuanto mayor sea la efectividad de la implementación del teletrabajo, mayor será la calidad del servicio. A través de la investigación se puede observar que existe una correlación positiva significativa de 0,661 entre teletrabajo y calidad del servicio, lo que demuestra que la UGEL San Pablo está brindando calidad de servicio con la implementación del teletrabajo, la cual es una ventaja para el logro de sus objetivos [6].

Para contar con una buena satisfacción por parte de los usuarios es primordial ser eficaz y estar en competencia con las demás instituciones educativas, debido a que de esto depende la reputación de una institución [7]. En general, las encuestas de evaluación son herramientas de recolección de datos para la toma de decisiones administrativas, como renovación de contratos, promoción académica o certificación de calidad de proyectos [8]. Se han utilizado varias encuestas validadas en todo el mundo, pero existe una falta de consenso sobre las dimensiones de calidad relacionadas con la satisfacción, el número de preguntas, las escalas de calificación de las respuestas y las formas de interpretar los resultados son lo que dificulta la implementación de propuestas de mejoras [9]. Actualmente, la satisfacción de los usuarios se utiliza como termómetro para una evaluación responsable de la calidad de la atención y los servicios. Lo cual proporciona información detallada que puede mejorar la infraestructura, los equipos, los suministros y materiales y cerrar brechas en áreas como la de recursos humanos [10].

Tradicionalmente, la validez se ha determinado como el grado en que una prueba calcula lo que se intenta calcular. El Alfa de Cronbach es una herramienta sencilla y confiable que se utiliza para realizar la validación de constructo de una escala y como medida para cuantificar las relaciones entre los ítems que la componen [11]. La consistencia interna es uno de los criterios para la construcción de ítems que contribuyen al contenido de la prueba y permiten modelar satisfactoriamente los puntos de interés, ya que se refiere a las correlaciones entre los ítems contruidos [12].

Tabla 1. Rango de calificación con el Instrumento Alfa de Cronbach.

0,91 – 1	Se califica como excelente
0,81 – 0,90	Se califica como buena
0,71 – 0,80	Se califica como aceptable
0,61 – 0,70	Se califica como cuestionable
0,51 – 0,60	Se califica como pobre
< 0,5	Se califica como inaceptable

Fuente: [13]

Uno de los principales desafíos que enfrenta cualquier institución educativa es la prestación de servicios de calidad bajo el liderazgo de sus administradores; se deben utilizar estrategias para alcanzar el nivel de calidad establecido por la organización educativa correspondiente. El compromiso de construir instituciones de calidad no puede existir de forma aislada, sino que debe ser una colaboración con diversas instituciones de todo el país, un proceso que lleva varios años, mucho trabajo, dedicación y compromiso para asegurar el bienestar de los programas [14].

Según Fredy Alagón, con respecto a su trabajo titulado gestión educativa para una educación de calidad, menciona que el propósito del estudio fue comprobar que la gestión de procesos en las instituciones educativas puede garantizar mejores servicios de aprendizaje, para ello se utilizó el método de encuesta, en la que participaron 3 directivos, 19 docentes, 5 administradores y 40 estudiantes de la institución. Una encuesta es una herramienta de evaluación y es un procedimiento en un diseño de investigación descriptivo en el que el investigador recopila datos mediante un cuestionario prediseñado sin cambiar el entorno o fenómeno en el que se recopila la información, este estudio tiene un diseño descriptivo simple. El diseño de investigación descriptiva es un método científico que implica observar y describir el comportamiento del sujeto sin influir en él de ninguna manera. El resultado es el tipo apropiado de proceso en la institución educativa, la distribución porcentual de los niveles normativos y la conclusión de que una organización integrada y dinámica (por ejemplo, la gestión de procesos) garantiza la calidad [15].

Un diagrama de Pareto es una herramienta estadística de la calidad utilizada en las organizaciones para identificar los problemas administrativos y los otros problemas relacionados a la institución, para decidir qué causas deben abordarse como prioridad para aumentar la efectividad en la resolución de problemas. Se basa en la regla de que el 80 % de los problemas se deben a sólo el 20 % de las causas, es decir, el menor porcentaje genera la mayor cantidad de problemas. Los diagramas de Pareto nos permiten identificar un pequeño conjunto de las causas más apropiadas a las que responder primero. Para lograr esto, se utilizan gráficos de barras especiales para ayudar a identificar los problemas que deben abordarse y en qué orden [16].

Un análisis FODA, también conocido como DAFO, es una herramienta de la calidad fundamental para realizar una evaluación minuciosa de la situación actual de una organización o un individuo, teniendo en cuenta sus debilidades, fortalezas y oportunidades. Del entorno [17]. La matriz FODA es un método de investigación y diagnóstico para analizar la situación estratégica de la organización en condiciones externas e internas [18].

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de pez por su forma, es una forma sencilla de encontrar la causa de los defectos encontrados en una institución. Trata de indagar el principio del fracaso para atacarlo y que este no se torne a originar. Kaoru Ishikawa desarrolló esta sistemática de detección de errores en 1943, técnica que se puede emplear a cualquier institución [19]. Un diagrama de Ishikawa o diagrama de causa y efecto es un diagrama que

permite ver claramente la relación entre un problema y las posibles causas que podrían provocarlo [20].

3. METODOLOGÍA

La palabra metodología proviene de las palabras griegas *methodos* (método) y *logia* (ciencia), que significan la ciencia de los métodos de investigación. [21].

La técnica metodológica empleada en este trabajo investigativo es cuantitativa, debido a que se utilizaron técnicas estadísticas de la calidad para identificar de una mejor manera los problemas generados en la administración de la institución educativa, a su vez también es no experimental, debido a que no existió una manipulación en los datos, según la categorías del diseño no experimental es longitudinal, ya que se realizaron visitas programadas hacia el plantel educativa para recopilar información a través de la observación [22].

3.1. Instrumentos

Los instrumentos utilizados en este trabajo investigativo fueron:

- Encuestas de satisfacción (una para los estudiantes y otra distinta para los representantes).
- Diagrama de Pareto.
- Matriz FODA.
- Diagrama de Ishikawa.

3.2. Población y muestra

La población con la cual se trabajó en este trabajo investigativo está centrada en los estudiantes y en sus representantes teniendo un total de 76 miembros cada uno, se prosiguió con la realización del cálculo poblacional con un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 5 %, a su vez se le dio 50 % a la probabilidad de éxito y fracaso siendo este el valor máximo. Una vez realizado el cálculo se obtuvo un valor de 64 cada uno siendo esta la cantidad de la población a encuestar.

Tabla 2. Valores de Z con respecto al nivel de confianza.

Nivel de confianza	Valor de Z
80 %	1,282
85 %	1,440
90 %	1,650
95 %	1,960
98 %	2,326
99 %	2,580

Fuente: [23].

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2(N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (1)$$

(n) = Tamaño de la muestra buscada. (N) = Tamaño de la población. (Z) = parámetro estadístico que depende del nivel de confianza basado en la (Tabla 2). (e) = Error de estimación máximo aceptado. (p) = Probabilidad de que ocurra el evento (Éxito). (q) = Probabilidad de que no ocurra el evento (Fracaso).

$$n = \frac{1,96^2 * 0.5 * 0.5 * 76}{0.05^2(76 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 63,59$$

$$n = 64$$

La Fórmula 1. La cual hace referencia al cálculo del tamaño poblacional está enfocado en los padres de familia y en los estudiantes que conforman el primer y segundo año de bachillerato, por disposición de la rectora, se prosiguió con el cálculo poblacional debido que al ser una encuesta online existieron ciertos miembros que no quisieron realizar la encuesta, por lo cual al realizar este cálculo se logró obtener un valor que nos indica tener un nivel de confianza alto.

4. RESULTADOS

El Alfa de Cronbach es el instrumento estadístico más utilizado para comprobar la consistencia interna de un instrumento, para la utilización de esta técnica, las encuestas deben ser de escala Likert; es decir deben de existir más de dos respuesta, como podemos apreciar con respecto a la Tabla 3 y la Tabla 4 se obtuvo un valor de 0,86 y 0,88 respectivamente, confirmando de esta manera teniendo como base la Tabla 1 en donde nos indican los rangos de calificación, estos son considerados instrumentos buenos para la recolección de información.

Como se puede apreciar con respecto a la Figura 1 realizada a los representantes y con respecto a la Figura 2 realizada a los estudiantes, podemos notar unas barras azules que hacen referencia al número de preguntas con su respectivo orden de importancia de la que mayor insatisfacción se obtuvo a la de menor, se realizó este diagrama de Pareto para así de este modo priorizar a resolver los problemas encontrados.

La elaboración de la Tabla 5 la cual es una matriz FODA, se realizó con respecto a las preguntas realizadas en el cuestionario, y a su vez de los análisis mediante observación realizadas en las visitas técnicas, en lo cual se puede observar que se encontraron algunos problemas relevantes con lo que respecta a la administración, como por ejemplo, se logró percibir espacios reducidos, preferencia hacia ciertos alumnos, formulación de su propio pensum de estudio sin que la mayoría sea especialista en pedagogía, problemas relacionados al Bullying, que a su vez la mayoría de estos problemas se encuentran en un marco generalizado, por lo cual esta matriz se aterrizó en la Figura 3 la cual hace mención a un Diagrama de Ishikawa, para así de este modo apreciar en un marco más específico las problemáticas que se han logrado apreciar, como en el caso del Bullying, ya que se logró apreciar mejor este problema al indicar su origen, como las faltas de capacitaciones para controlar esta problemática y la escasa intervención por parte del personal de la institución.

Tabla 3. Valores obtenidos de las encuestas realizada a los estudiantes con respecto al Alfa de Cronbach.

Dimensiones	Ítem	Actividades para evaluar	Alfa de Cronbach
Comunicación	1	¿Cómo es su relación con los docentes?	0,8546
	2	¿Los docentes son amables y paciente al momento de dar alguna explicación de la clase?	0,8602
	3	¿La rectora es atenta y amable cuando te comunicas con ella?	0,8516
	4	¿Los inspectores son atentos y amables cuando te comunicas con ellos?	0,8551
Materiales de aprendizaje	5	¿El colegio les facilita materiales para un buen desarrollo en las clases?	0,8561
	6	¿El material que los docentes utilizan durante las clases facilita la comprensión del tema?	0,8489
	7	¿El colegio les permite utilizar los libros que poseen?	0,8596
Métodos de enseñanza	8	¿Cómo calificarías la enseñanza por medio de equipos tecnológicos que les brinda la institución educativa?	0,8556
	9	¿Estas satisfecho con el método de enseñanza?	0,8539
Socialización	10	¿Sientes que has desarrollado buenas amistades en el colegio?	0,8599
	11	¿Sientes que has desarrollado métodos para una mejor convivencia social?	0,8554
	12	¿Puedo conversar y expresar mis ideas con facilidad a mis docentes?	0,8538
Orientación	13	En la institución Educativa les brindan charlas de orientación para prevenir el consumo de alcohol, ¿tabaco, drogas, embarazos adolescentes, etc.?	0,8633
	14	¿Cómo calificaría la orientación que brinda el colegio para que decidas que carrera estudiar en la universidad?	0,8543
Seguridad	15	¿Te sientes seguro dentro de la unidad educativa?	0,853
	16	¿Como calificarías la seguridad de la institución educativa?	0,8511
	17	¿Como calificarías el dispensario médico (Paramédico, medicina, primeros auxilios)?	0,8612
Total			0,8631

Tabla 4. Valores obtenidos de las encuestas realizadas a los representantes con respecto al Alfa de Cronbach.

Dimensiones	Ítem	Actividades para evaluar	Alfa de Cronbach
Satisfacción con el representado	1	¿Está satisfecho con el nivel de educación que recibe su representado?	0,8646
	2	¿Mantendría a su representado en el plantel educativo?	0,8761
Percepción	3	¿Cómo calificaría la relación que tienen los profesores con su representado?	0,8677
	4	¿Qué calificación le daría a la educación en valores que reciben sus representado en el plantel?	0,8632
	5	¿La educación recibida a su representado asegura un puesto en las unidades de educación superior?	0,8735
Satisfacción con la institución	6	¿Cuál es su nivel de satisfacción con respecto al nivel de enseñanza aprendizaje en general del plantel educativo?	0,8576
	7	¿Cuál es su nivel de satisfacción con respecto a la seguridad que brinda el plantel educativo a sus estudiantes?	0,866
	8	¿Cuál es su nivel de satisfacción con respecto a las instalaciones e infraestructuras que posee la unidad educativa?	0,8774
Empatía	9	¿Cómo es la atención que recibe usted del Colegio?	0,8715
	10	¿Como calificaría la priorización que le dan a usted cuando está hablando con algún docente o con el rector?	0,8784
	11	¿Recomendaría usted a sus amigos a enviar a sus hijos a esta institución educativa?	0,8732
Total			0,8805

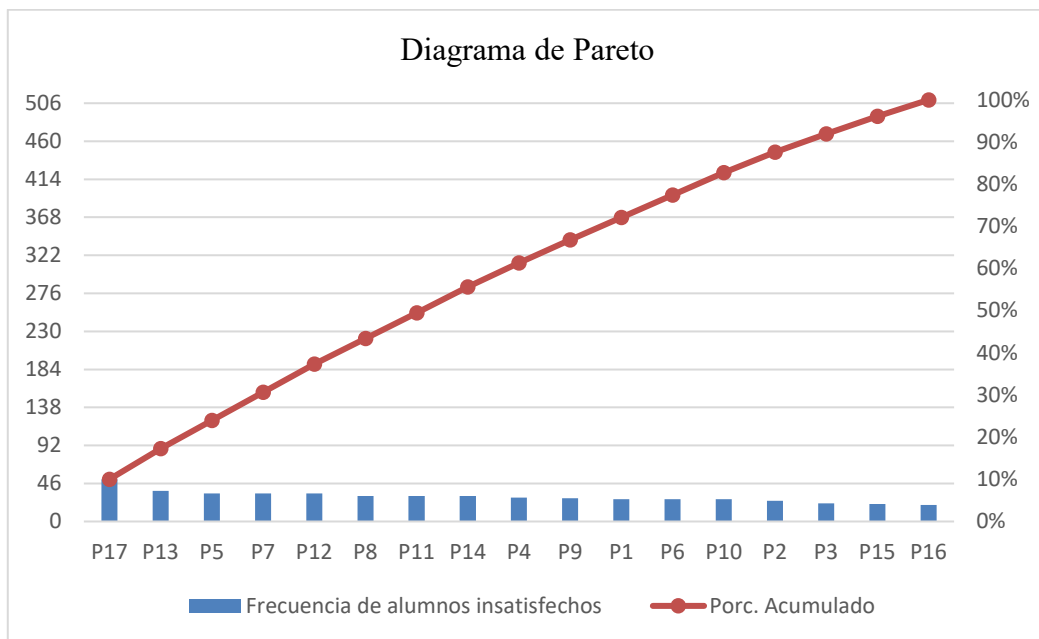


Figura 1. Estudiantes insatisfechos.

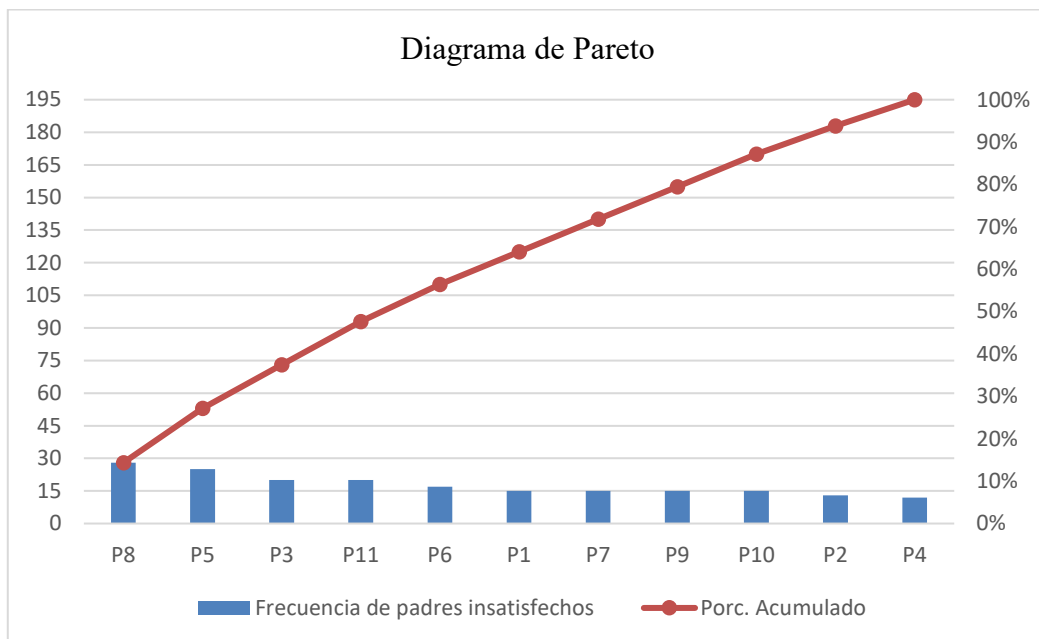


Figura 2. Representantes insatisfechos.

Tabla 5. Matriz FODA de los aspectos generales de la investigación.

	Fortalezas	Debilidades
Análisis Interno	Nivel de educación.	Espacios reducidos.
	Relación de los estudiantes con la rectora.	Materiales para impartir clases
	Padres conformes con la seguridad de la institución.	Libros.
	Atención a los representantes.	Distinción hacia ciertos estudiantes.
	Estudiantes conforme con la seguridad interna y externa.	Charlas para prevenir el consumo de sustancias.
	Relación de estudiantes hacia los profesores.	Dispensario médico, y personal en primeros auxilios.
		Biblioteca.
		Laboratorio de computación.
		Maya escolar.
		Bullying.
		Bar de alimento.
	Oportunidades	Amenazas
Análisis Externo	Los representantes están conformes con dejar que sus hijos sigan estudiando en la institución.	Planteles educativos cercanos mejores equipados.
	Los representantes están a gusto en dar buenas recomendaciones sobre el plantel.	Existencia de personal en primeros auxilios en instituciones cercanas.
	Ubicación geográfica excelente.	Sustancias ilícitas.

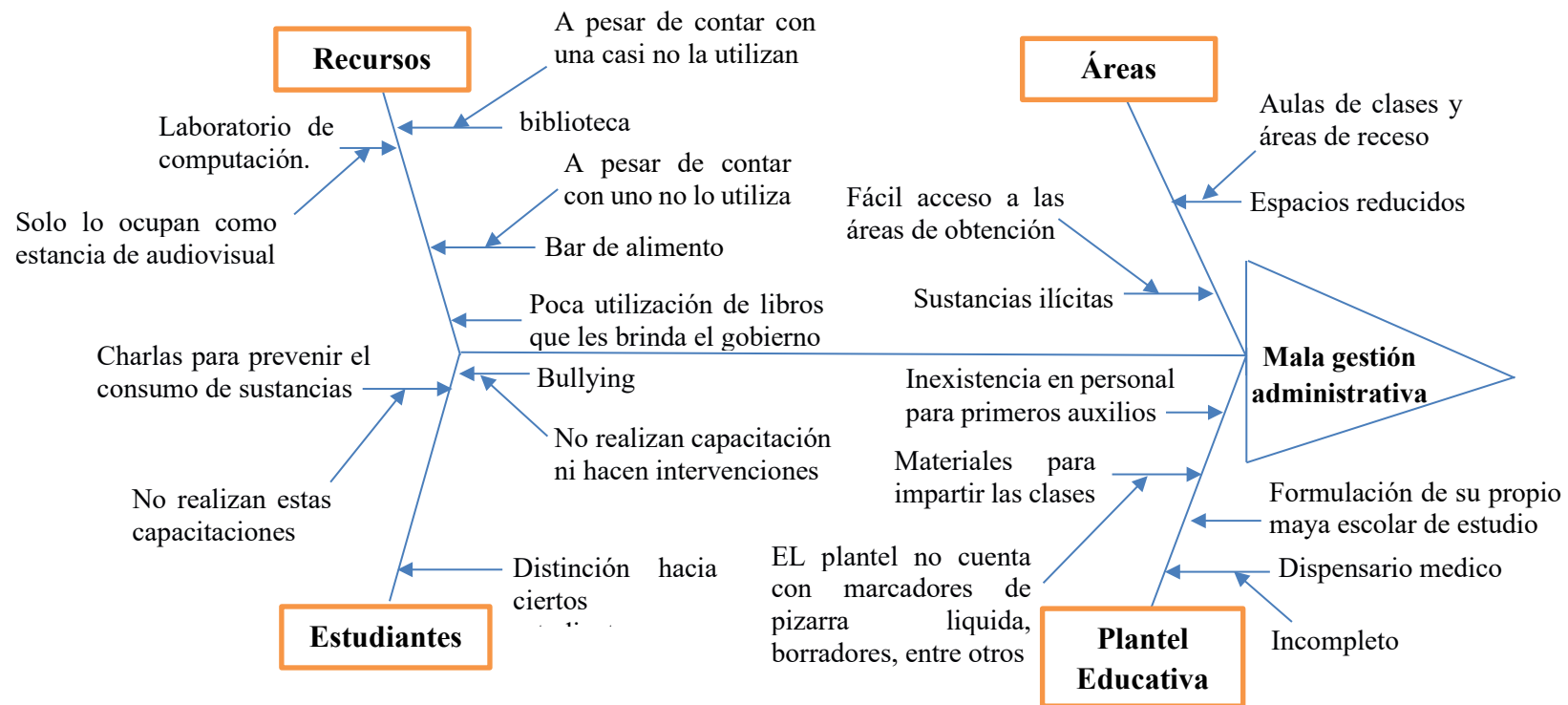


Figura 3. Diagrama de Ishikawa con respecto a la matriz FODA.

Tabla 6. Propuestas para mitigar las problemáticas encontradas.

Resultados obtenidos	Propuesta para mitigar las problemáticas encontradas
Botiquín de primeros auxilios incompleto, Inexistencia en personal para primeros auxilios.	Se propone que capaciten a un personal en primeros auxilios y que a su vez este sea el encargado de mantener el dispensario médico completo.
Realización de pocas charlas de prevención de sustancias hacia los Estudiantes.	Realizar más charlas para prevenir el consumo de sustancias.
No cuentan con materiales como marcador de pizarra líquida, borrador, entre otros, para impartir las clases.	Realizar un inventario sobre los materiales que se utilizan al mes para tener todo lo necesario al momento de impartir las clases.
Formulación de su propio mapa escolar de estudio, y poca utilización de libros.	La poca utilización de los libros es debido a que la institución elabora su propio pensum de estudio y los temas planteados no están en los libros que el gobierno les brinda, por lo tanto, se propone proseguir con el pensum de estudio estipulado por el ministerio de educación.
Utilizan el laboratorio de computación como audiovisual.	Designar un encargado para el laboratorio para que lo utilicen como es apropiado.
No utilizan el bar con el que cuenta el plantel.	Se propone que habiliten el bar, ya que al hacerlo generan menos contaminación haciendo que los estudiantes lleven sus alimentos en plásticos desechables.
Escasa utilización de la biblioteca.	Fomentar más el uso de la lectura.
Áreas reducido en las horas de clases y en la hora del descanso.	Se propone establecer un horario vespertino y matutino para tener más espacio.
Fácil acceso a sustancias ilícitas.	Se propone que se solicite la presencia del personal del policía que ronde los alrededores de la institución para que los vendedores de sustancias ilícitas no estén cerca de los estudiantes.
Bullying.	Se propone realizar capacitación contra el Bullying, a la vez realizar actividades para reforzar la relación de los estudiantes, y también se propone que todo el personal de la institución desde los docentes hasta el personal administrativo está a la expectativa para intervenir en caso de que vea algún caso de Bullying.
Preferencia hacia ciertos estudiantes.	Se propone realizar capacitaciones a los docentes y al personal administrativo con temas relacionados a la relación con sus estudiantes para mitigar las preferencias que se han logrado percibir.

5. DISCUSIÓN

Con respecto al trabajo de Sandoval [2] intentan responder a la necesidad que enfrenta un director escolar. El trabajo de estos autores está basado en una técnica cualitativo descriptivo e interpretativo, lo cual a su vez esta metodología presenta limitaciones para identificar los problemas que enfrenta un director ya que estas técnicas están más enfocadas en revisión de documentos y artículos. Por lo cual mi trabajo está enfocado en una técnica cuantitativa, ya que de este modo por medio de técnicas estadísticas podemos apreciar mejor los problemas que son generados y darles la solución más optima.

Sánchez [3] en su trabajo denominado gestión educativa en el desarrollo del aprendizaje en los planteles educativos, indico que su trabajo es descriptivo, con enfoque cualitativo. Este trabajo está basado en resultados de otros autores que han empleado encuestas en el cual no se aprecia la consistencia interna de los instrumentos con lo cual se enfocó su investigación. Por lo cual el trabajo presentado tiene una mayor confiabilidad para medir la gestión administrativa de una institución educativa ya que las encuestas realizadas tienen un respaldo que asegura su efectividad.

Suarez [6] en su investigación sobre el teletrabajo y la calidad de servicio de las instituciones educativas, indica que su trabajo tiene un enfoque cuantitativo, ya que realizo un análisis estadístico a través de la recolección de datos para comprobar la hipótesis. Este trabajo se llevó a cabo a una única población que son los trabajadores, la cual presenta una problemática, ya que la calidad del servicio la determina el usuario. Por lo cual el trabajo presente está enfocado en dos encuestas distintas una para los estudiantes y otra para los padres ya que cada uno tiene una percepción distinta de la administración, y en base a esto se pueden analizar si un plantel cuenta con una buena calidad en sus servicios o no.

Respecto al trabajo de [15]. Sobre la gestión educativa para una educación de calidad. Indica que el objetivo de su investigación es demostrar que la gestión por procesos en la institución educativa garantiza un mejor servicio educativo, para lo cual el autor opto por la ejecución de encuestas, en lo cual en relación con los trabajos anterior esta encuesta tampoco cuenta con un cálculo de confiabilidad en su instrumento haciendo que este pierda confiabilidad en los datos recolectados. Indicando así nuevamente un realce en el instrumento planteado en este trabajo ya que cuenta con una consistencia interna buena, que a su vez esto asegura una buena confiabilidad en los datos obtenidos.

6. CONCLUSIONES

Se concluye que las herramientas estadísticas de la calidad son fundamentales e indispensables para identificar los problemas que genera una administración, por lo cual de este modo se puede proponer mejoras para aumentar la calidad en el ámbito administrativo.

Este trabajo propone un gran aporte a las instituciones educativas, ya que al implementar estos métodos las instituciones pueden asegurar la fidelidad de los miembros a quienes les brinda el servicio.

Finalmente se pudo apreciar la identificación a través de la (Tabla 6) algunos problemas que intervenían en la ejecución para una buena administración, como los espacios reducidos, la falta de planificación para la utilización de materiales, la mala administración con respecto a la biblioteca y al laboratorio de cómputo entre otros, gracias a estos problemas identificados se pudieron proponer soluciones para mitigar estas problemáticas.

REFERENCIAS

- [1] V. P. Pineda Pizarro y J. C. Erazo Álvarez, "La Estructura Organizacional y su relación con los procesos administrativos en Instituciones Educativas privadas", *Revista Arbitrada Interdisciplinaria KOINONIA*, vol. 6, no. 12, pp. 39-46, dic. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.35381/r.k.v6i12.1272>
- [2] L. Y. Sandoval Estupiñán, C. Pineda Baéz, M. Bernal Luque y C. Quiroga, "Los retos del director escolar novel : formación inicial y liderazgo.", *Revista Complutense de Educación*, vol. 31, no. 1, pp. 115-124, may. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.5209/rced.61919>
- [3] M. Sánchez Armas y J. M. Delgado Bardales, "Gestión Educativa en el desarrollo del aprendizaje en las Instituciones Educativas.", *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 4, no. 2, pp. 1819-1838, dic. 2020. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v4i2.196
- [4] R. J. Pacheco Granados, C. A. Robles Algarín y A. J. Ospino Castro, "Análisis de la Gestión Administrativa en las Instituciones Educativas de los Niveles de Básica y Media en las Zonas Rurales de Santa Marta, Colombia.", *Información Tecnológica*, vol. 29, no. 5, pp. 259-263, oct. 2018. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000500259>
- [5] V. V. Saltos Torres, "Análisis y propuesta de mejoramiento de procesos en la empresa "Restaurante la Cañita", Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar, QUITO, en, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/7205>
- [6] L. M. Suarez Vasquez, "Implementación del teletrabajo y calidad de servicio de la Unidad de Gestión Educativa Local San Pablo, año 2020.", Tesis de licenciatura, Unidad de Gestión Educativa Local San Pablo, Trujillo – Perú, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/46386>
- [7] A. J. Romero Fernández, G. A. Álvarez Gómez y S. Álvarez Gómez, "Evaluación de la satisfacción del cliente en empresas de servicio.", *Revista Dilemas Contemporáneos*, pp. 1-19, nov. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://dilemascontemporaneoseduccionpoliticaayvalores.com/index.php/dilemas/articloe/view/843>
- [8] E. Román, "La evaluación del profesorado universitario en tiempos de pandemia : los sistemas online de gestión de encuestas de satisfacción estudiantil.", *Revista Campus Virtuales*, vol. 29, no. 2 pp. 61-70, ag. 2020. [En línea]. Disponible en: <http://uajournals.com/ojs/index.php/campusvirtuales/article/view/736>
- [9] E. Cabello, A. Cabello y M. Martínez, "Validación de una encuesta para medir la satisfacción de los médicos residentes sobre el programa de especialización en Lima,

Perú.", *Revista Medica Herediana*, vol. 32, no. 1, pp. 12-19, mzo. 2021. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.20453/rmh.v32i1.3943>

- [10] A. C. Fabian Sánchez, L. E. Podestá Gavilano y R. A. Ruiz Arias, "Calidad de atención y satisfacción del paciente atendido en una cadena de clínicas odontológicas. Lima-Perú, 2019-2020.", *Revista Horizonte Médico*, vol. 22, no. 1, mzo. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.24265/horizmed.2022.v22n1.02>
- [11] S. Contreras Espinoza y F. Novoa Muñoz, "Ventajas del alfa ordinal respecto al alfa de Cronbach ilustradas con la encuesta AUDIT-OMS.", *Revista Panamericana de Salud Pública*, vol. 42, pp. 1-6, jun, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.65>
- [12] C. Merino Soto, "Consistencia Interna del Eysenck Personality Questionnaire - Revised: Cuando Alfa de Cronbach No Es Suficiente.", *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación*, vol. 4, no. 57, pp. 191-203, mzo, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.21865/RIDEP57.4.14>
- [13] H. A. Hernández y A. E. Pascual Barrera, "Validación de un instrumento de investigación para el diseño de una metodología de autoevaluación del sistema de gestión ambiental.", *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 9, no. 1, pp. 157-163, febr. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/21456453.2186>
- [14] M. E. Piguave Mora, "Gestión administrativa y su relación con la calidad educativa en el colegio fiscal “José Joaquín Pino Ycaza”, Guayaquil, Ecuador, 2018.", Tesis de maestría, Universidad César Vallejo, Piura- Perú, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/40099>
- [15] F. Alagón Ricalde, "Gestión educativa para una educación de calidad.", *REVISTA DE CIENCIAS NATURALES*, vol. 2, no. 2, pp. 205-211, jul. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unap.edu.pe/journal/index.php/RCCNN/article/view/391>
- [16] E. García Martínez, "Aplicación del diagrama de Pareto para la priorización de problemas en la industria agroalimentaria.", *València: Universitat Politècnica de València*, pp. 1-10, jul. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10251/194736>
- [17] D. Sánchez Huerta, "*ANÁLISIS FODA O DAFO*.", Madrid: Bubok Publishing S.L., Octubre, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/xIFXkO>
- [18] F. Guerra Muñoz, "*Estrategias de negociación*.", MÉXICO: Grupo Editorial Patria, Agosto, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/SKRlIm>
- [19] S. Sánchez Salinas, "*Control de calidad y Certificaciones industriales*.", Universidad de Almería, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/Z6j7mm>

- [20] S. M. Parraguez Carrasco, G. R. Chunga Chinguel, M. M. Flores Cubas y R. Y. Romero Cieza, "*El estudio y la investigación documental*.", Chiclayo: Gerardo Chunga Chinguel, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/i0lhEW>
- [21] L. E. Pereyra, "*Metodología de la investigación*.", México: Klik, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/5xFMkU>
- [22] A. Álvarez, "Clasificación de las investigaciones.", Lima: Universidad de Lima, Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas, Carrera de Negocios Internacionales, 2020
- [23] C. K. Tapia Iturriaga, R. S. Rueda Contreras y R. A. Silva Villavicencio, "*Auditoría Interna: perspectivas de vanguardia*", México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos, A.C, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://ebooks.imcp.org.mx/product/auditora-interna-perspectivas-de-vanguardia>



Innovación pedagógica en el proceso de enseñanza-aprendizaje de matemáticas para estudiantes de bachillerato general unificado considerando tecnologías de información y comunicación

(Pedagogical Innovation in the Teaching-Learning Process of Mathematics for Unified General High School Students Considering ICT)

Josué Moncayo-Redin¹, Johnny Jiménez-Contreras² y Joe Llerena-Izquierdo³
Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador
jmoncayor@est.ups.edu.ec, jjimenez@ups.edu.ec, jlllerena@ups.edu.ec

Resumen: Las TIC como herramientas de integración educativa han permitido el desarrollo de estrategias en áreas como las matemáticas, mejorando el proceso pedagógico de las concepciones, maximizando la calidad de los recursos y fortaleciendo el aprendizaje. A partir de la combinación de estrategias didácticas con actividades pedagógicas preinstruccionales o dirigidas, es fundamental desarrollar estructuras evaluativas que garanticen la plena implementación de las concepciones instruccionales. El propósito de esta investigación es establecer una estrategia de innovación pedagógica para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas en estudiantes de bachillerato general unificado considerando las tecnologías de la información y la comunicación. Se desarrolla una metodología de investigación empírico-analítica cuantitativa. Se llevan a cabo dos fases. En la primera fase, se realiza una revisión de la literatura relevante. En la segunda fase, se aplica la técnica de la encuesta a un grupo de cincuenta profesores de secundaria. Se determina el impacto de la innovación pedagógica en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas de bachillerato a partir de su labor educativa. Las estrategias de innovación pedagógica encontradas para optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas considerando las TIC se adoptan según la clasificación de preinstruccionales, instruccionales y postinstruccionales. El uso de estrategias pedagógicas en las tres etapas preinstruccionales, coinstruccionales y postinstruccionales en las diferentes áreas del conocimiento permiten aplicar formas de innovación con el apoyo de las TIC.

Palabras clave: proceso de enseñanza-aprendizaje, niveles de instrucción, enseñanza secundaria, matemáticas.

Abstract: ICT as tools for educational integration have allowed the development of strategies in areas such as mathematics, improving the pedagogical process of concepts, maximizing the quality of resources, and strengthening learning. From the combination of didactic strategies with pre-instructional or directed teaching activities, it is essential to develop evaluative structures to ensure that the instructional conceptions are fully implemented. The purpose of this research is to establish a pedagogical innovation strategy to improve the teaching-learning process of mathematics in unified general high school students considering information and communication technologies. A quantitative empirical-analytical research methodology is developed. Two phases are carried out. In the first phase, a review of relevant literature is carried out. In the second phase, the survey technique is applied to a group of fifty high school teachers. The impact of pedagogical innovation in the teaching-learning process of high school mathematics is determined from their educational work. The

pedagogical innovation strategies found to optimize the mathematics teaching-learning process considering ICT are adopted according to the classification of pre-instructional, instructional, and post-instructional. The use of pedagogical strategies in the three stages pre instructional, co instructional, and post instructional in the different areas of knowledge allow the application of forms of innovation with the support of ICT.

Keywords: teaching-learning process, instructional levels, high school, mathematics.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) han tenido un impacto muy amplio en el ámbito educativo. A su vez, las TIC como herramientas de integración educativa y uso para la innovación, han permitido desarrollar estrategias en áreas como las matemáticas para sus diferentes niveles de educación, en educación básica como en el bachillerato [1], [2], mejorando el proceso pedagógico de conceptos, teorías, y ejercicios didácticos maximizando la calidad de los recursos y fortaleciendo el aprendizaje [3], [4].

Con la llegada de servicios tecnológicos, dispositivos inteligentes, conexiones de altas prestaciones y tecnologías nacientes, nuevas formas de trabajar para el docente se integran de forma disruptiva en su quehacer laboral [5]. Adquiriendo nuevas competencias tecno-pedagógicas al desarrollar contenidos programáticos que fortalecen el proceso de enseñanza-aprendizaje [6].

La pandemia del COVID-19 evidenció carencias en el acceso al internet, así como el no estar preparados para un cambio radical hacia la virtualidad [7], pero dejó lecciones aprendidas en distintas investigaciones donde denotan un fortalecimiento de los resultados de aprendizaje con el soporte de dispositivos, la creación de recursos digitales y la integración de herramientas tecnológicas para un soporte digital [8].

El uso de las TIC fortalece los contenidos programáticos mediante estrategias que diseñan los profesores y en gran medida dan soporte a los estudiantes en la resolución de problemas de estudio, en especial en el ámbito de las matemáticas. Las tendencias de uso de las tecnologías y estrategias de aprendizaje aplicadas en el aula alcanzan resultados positivos en los procesos instruccionales y que lo validan desde observatorios de carácter académico y en distintos países [3], [9].

El propósito fundamental de esta investigación es establecer una estrategia de innovación pedagógica que permita mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas en los estudiantes de bachillerato general unificado considerando tecnologías de información y comunicación.

2. TRABAJOS RELACIONADOS

En los últimos años las TIC han tenido una gran influencia en el apoyo de la educación [5], [10]. Por medio de las nuevas tecnologías existentes el soporte en el desarrollo de contenidos programáticos de las jornadas de clases, luego de la pandemia del COVID-19 pasando de forma disruptiva de lo presencial a lo virtual y luego de forma híbrida, ha ido potenciado los procesos de enseñanza-aprendizaje debido al incremento y perfeccionamiento de teorías, técnicas y modelos, como el aula invertida, el aula interactiva, el aprendizaje experiencial de Kolb, entre otros [6], [11], [12]. Cabe resaltar que el proceso de enseñanza-aprendizaje fortalece a la transformación de resultados en la educación, y además potencia el proceso de enseñanza-aprendizaje que busca que el estudiante adquiera una secuencia de contenidos y competencias presentes dentro del currículo de tal forma que se logre mantener la excelencia de la enseñanza y mejorar el desarrollo cognitivo [13], [14].

Los paradigmas educativos, especialmente en el ámbito de la educación a distancia y su potencial beneficio cuando el acceso al internet de forma remota es efectivo, pueden favorecer a distintas formas de brindar una educación de calidad beneficiando especialmente a las personas

con escasos recursos [15], [16]. El impacto positivo del florecimiento de estrategias, buenas prácticas, así como herramientas didácticas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas ha sido prometedor. Sin contar el efecto innovador de impulsar el uso de herramientas como la realidad aumentada, realidad virtual y el aprendizaje activo en línea [17], [18].

El uso de las TIC durante la pandemia trae consigo lecciones aprendidas sobre el rol del docente que, con capacidades tecno pedagógicas ha sabido tener un compromiso a seguir aprendiendo, unirse en red para fortalecer sus capacidades, y ser capaz de introducir herramientas digitales con mucha creatividad en su quehacer docente [19]-[21].

Dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas existen variadas herramientas TIC que apoyan el entorno de una educación en continuo cambio o evolución para su optimización [22], [23]. Las herramientas TIC permiten presentar las características de percepciones matemáticas con mayor efecto positivo que el uso del pizarrón tradicional, mejorar la vinculación entre conceptos con el uso de exploraciones digitales; además el docente desarrolla sus propios recursos para alcanzar los objetivos trazados en el aprendizaje mejorando sus habilidades informáticas; en cambio los estudiantes pueden involucrarse en el origen de conceptos matemáticos con herramientas multimediales y mejorar la comprensión como por ejemplo la derivada o las transformaciones de funciones [24], [25]. El impacto de las TIC es de gran escala a nivel educativo permitiendo ser la solución a dificultades de acceso a recursos físicos para los estudiantes y sus necesidades que se presentan en las instituciones educativas que en muchos casos se debe a la falta de recursos económicos [26], [27].

La ejecución de las actividades depende de la forma de recibir la instrucción que permita desembocar en adquisición de habilidades [28], [29]. Desde la combinación de estrategias didácticas con actividades preinstruccionales o de enseñanza dirigida, es primordial el desarrollo decisivo de estructuras evaluativas que permitan lograr que las concepciones responsables en la instrucción se lleve a cabalidad [30], [31].

La preinstrucción permite que las actividades didácticas en las asignaturas de bachillerato conlleven un conjunto de concepciones previas a consolidar. Con ello, el pensamiento estructurado de los estudiantes cuando inician una actividad se contrasta con el conocimiento previo empírico que han adquirido, que en muchos casos deben desaprender para aprender concepciones más científicas. Por esto, antes de producir un conflicto cognitivo por el cambio conceptual, se desarrollan instrucciones previas a la actividad principal [30], [32]. La instrucción logra que las concepciones en los estudiantes se desarrollen de acuerdo con la instrucción ofrecida por la actividad [31]. Es decir la calidad de una instrucción depende de la forma de integrar el contenido de una asignatura que sustente formas de mejorar las habilidades en los participantes posteriormente [33]. La posinstrucción permite medir finalmente el desempeño del estudiante así como el rendimiento en un espacio operativo y adecuado [34]. Con esto, los estudiantes son capaces de valorar cada una de las estrategias de enseñanza durante y después de la actividad [35], [36].

3. METODOLOGÍA

Se desarrolla una metodología de investigación empírico-analítica de corte cuantitativo. Se realizan dos fases. En la primera fase se realiza una revisión de literatura relacionada con los términos "innovación pedagógica", "estrategias de innovación educativa" y "adopción del uso TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje". En esta fase, se realiza el análisis de trabajos con énfasis en el ámbito de las matemáticas. Estos trabajos clasifican las estrategias de acuerdo con el criterio que proponen en el uso de las TIC, la clasificación depende del momento a utilizar: preinstrucciona (planificación de la clase), coinstrucciona (durante la clase) y posinstrucciona (después de clase). Para seleccionar una o varias estrategias de innovación pedagógica se adopta

estrategias acordes a nuestro contexto ecuatoriano. En la segunda fase se aplica la técnica de la encuesta a un conjunto de cincuenta profesores de bachillerato, mediante el uso de la herramienta de recolección de datos, de Google Forms. Se determina el impacto de la innovación pedagógica en el proceso de enseñanza-aprendizaje de matemáticas de bachillerato desde su labor educativa.

En la primera fase, se realiza una revisión sistemática de literatura propuesta [37] para la identificación de trabajos relacionados a estrategias de enseñanza y aprendizaje en el ámbito de las matemáticas de acuerdo con los tipos de instrucción, preinstruccional, coinstruccional y posinstruccional. Se determinan las siguientes preguntas de investigación.

Q1. ¿Qué conjunto de estrategias se evidencia relacionadas con la enseñanza-aprendizaje en matemáticas de acuerdo con el tipo de instrucción?

Q2. ¿Qué impacto se evidencia entre la innovación educativa, TIC y estrategias de aprendizaje en términos que determinen las diferentes direcciones de acuerdo con los ámbitos de estudio?

Para el proceso de búsqueda se utilizó la base de datos Scopus, mediante el conjunto de palabras clave y cadenas de búsqueda, (ver Tabla 1).

Tabla 1. Palabras clave y cadenas de búsquedas utilizadas en la base indexada de Scopus.

Palabras clave	Cadena
"instructional", "post-instruction"	instructional AND post-instruction
"instructional", "post-instructional"	instructional AND post-instructional
"instructional", "pre-instructional"	instructional AND pre-instructional
"instructional", "pre-instruction"	instructional AND pre-instruction
"instructional", "preinstruction"	instructional AND preinstruction
"instructional", "pre-instruction"	instructional AND pre-instruction
"instructional", "preinstruction"	instructional AND preinstruction
"instructional", "post-instruction"	instructional AND post-instruction
"instructional", "post-instructional"	instructional AND post-instructional
"instructional", "post-instruction"	instructional AND post-instruction
"instructional", "post-instructional"	instructional AND post-instructional
"instructional", "pre-instructional"	instructional AND pre-instructional
"instructional", "pre-instruction"	instructional AND pre-instruction
"instructional", "pre-instruction"	instructional OR pre-instruction
"instructional", "pre-instruction", "pre-instructional", "post-instruction"	instructional OR pre-instruction AND pre-instructional AND post-instruction
"instructional", "pre-instruction", "pre-instructional", "post-instruction"	instructional AND pre-instruction AND pre-instructional AND post-instruction
"instructional", "pre-instruction", "pre-instructional", "post-instruction"	instructional OR pre-instruction AND pre-instructional AND post-instruction
"instructional", "pre-instruction", "pre-instructional", "post-instruction"	instructional OR pre-instruction OR pre-instructional AND post-instruction
"instructional", "pre-instruction", "pre-instructional", "postinstructional"	instructional OR pre-instruction OR pre-instructional AND postinstructional
"instructional", "pre-instruction", "pre-instructional"	instructional OR pre-instruction OR pre-instructional
"instructional", "pre-instruction"	instructional AND pre-instruction
"instructional", "pre-instructional"	instructional AND pre-instructional
"instructional", "preinstruccional"	instructional AND preinstruccional
"instructional", "postinstruccional"	instructional AND postinstruccional

La búsqueda de trabajos produjo un total de 190 artículos. De ellos se realiza el procedimiento de inclusión y exclusión de acuerdo con los siguientes criterios. Para la inclusión, se determinan, trabajos solo en idioma inglés y trabajos de investigación tipo artículos. Para los criterios de exclusión, todos aquellos trabajos que no estén en el ámbito de educación.

Se obtuvo un total de 144 artículos. De acuerdo con la lectura de los trabajos, se desarrolla una clasificación identificando por tipo de enseñanza-aprendizaje, preinstruccional, coinstruccional y posinstruccional, (ver Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de trabajos relevantes de acuerdo con el tipo de enseñanza-aprendizaje.

Tipo	Total de trabajo
Preinstruccional	49
Coinstruccional	13
Postinstruccional	82
Total	144

Además, se organizan los trabajos por años, determinando artículos del año 2001 al 2023 de acuerdo con la búsqueda, (ver Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de trabajos relevantes de acuerdo con el periodo de publicación.

Tipo	Total de trabajo
Menores a 2016	67
2017	7
2018	13
2019	19
2020	6
2021	9
2022	16
2023	7
Total	144

Finalmente se realiza una revisión de contenidos determinando la relación del tipo de instrucción en el ámbito de las matemáticas, obteniendo 22 trabajos de investigación para incluirlos en este estudio.

4. RESULTADOS

En respuesta a la pregunta de investigación Q1, se obtuvieron 22 artículos que se tabulan para conocer las estrategias de enseñanza aprendizaje, y se seleccionan los 10 trabajos con énfasis en la Enseñanza-aprendizaje de matemáticas, se clasifican las estrategias de acuerdo con el impacto que proponen los autores en el uso de TIC, (ver Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de estrategias relacionadas con la enseñanza-aprendizaje en matemáticas.

Estrategias	Tipo	Referencia
Aplicación móvil, aplicación online, aplicación de programación	Preinstruccional	[17]
Aplicación móvil, aplicación online, Moodle, redes sociales, blog, pizarra digital	Preinstruccional	[18]
Aplicación online, aplicación de programación, Moodle, redes sociales, hojas electrónicas, Smartboard	Preinstruccional	[20]
Aplicación online, Moodle, videos, diapositivas	Preinstruccional	[21]
Hojas electrónicas, diapositivas, aplicación de programación	Preinstruccional	[38]
Aplicación móvil, aplicación online, videos, diapositivas, redes sociales, hojas electrónicas	Coinstruccional	[29]
Aplicación móvil, aplicación online, blog, pizarra digital, videos	Coinstruccional	[25]
Aplicación online, Moodle, hojas electrónicas, diapositivas	Coinstruccional	[28]
Aplicación online, Moodle	Coinstruccional	[27]
Aplicación móvil	Posinstruccional	[39]

Las estrategias de innovación pedagógica halladas para optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas considerando las TIC, se adoptan de acuerdo la clasificación de preinstruccionales, como lo son: aplicación móvil y aplicación de programación para fortalecer las actividades de colaboración, comunicación, discusión, cálculo numérico y verificación de soluciones calculadas, explorar gráficos, funciones y relaciones geométricas, además de asignaciones como tareas y cuestionarios [17]; hojas electrónicas y diapositivas para graficar conceptos y problemas matemáticos [38]; el uso de redes sociales y aplicaciones online como foros con el propósito de compartir conocimientos y resoluciones de problemas o ejercicios, además de generar un debate acerca de los resultados obtenidos [18].

Se adopta como herramientas coinstruccionales: el uso de blogs, video y pizarra digital con el propósito de que exista una integración de la TIC visibles en las aulas, se despejen dudas con el docente, se active la participación del alumnado, la relación docente-estudiante sea dentro de un marco de diálogo y escucha [40]; uso del Moodle y de aplicaciones online durante las clases para fortalecer las actividades de comunicación y colaboración, gestión de la información y operaciones técnicas para acceder, recuperar, organizar información y realizar asignaciones [27].

Se adopta como estrategias posinstruccional: el uso de una aplicación móvil a fin de afianzar la aceptación y uso de la tecnología a la hora de aprender matemáticas luego del horario escolar [39] y aplicaciones online [29].

La Figura 1, representa las estrategias que se adoptan y se proponen para optimizar la enseñanza-aprendizaje.

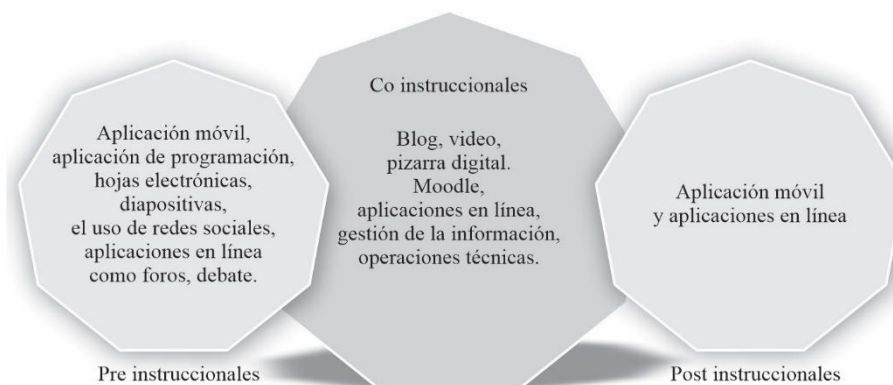


Figura 1. Estrategias que se adoptan y se proponen en trabajos previos para optimizar la enseñanza-aprendizaje en el ámbito de las matemáticas.

En respuesta a la pregunta de investigación Q2, se detalla el mapa de red en el análisis bibliométrico tomado de 190 artículos de la base de datos Scopus usando el filtro de palabras clave correlacional en innovación educativa, TIC y estrategias aprendizaje. Se evidencia el impacto de trabajos de investigación que relacionan sus hallazgos alrededor de los términos de estudiantes y profesores y términos que determinan las diferentes direcciones de acuerdo con los ámbitos, (ver Figura 2).

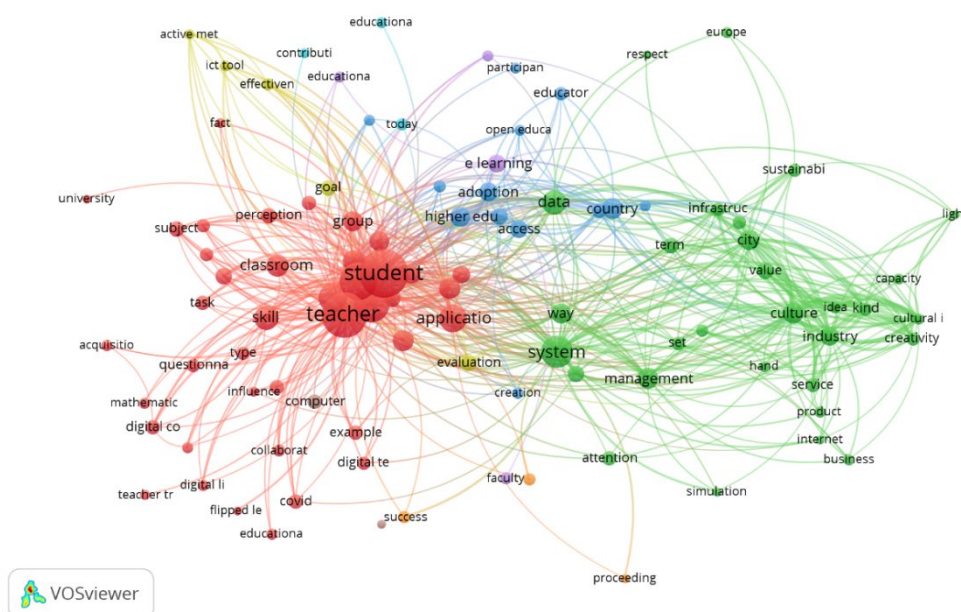


Figura 2. Mapeo de red bibliométrica que determina el alcance de investigación.

En la segunda fase, los resultados de la aplicación de la encuesta a 50 profesores de bachillerato de forma aleatoria y de diferentes establecimientos en la ciudad de Guayaquil en Ecuador, que permiten tener una perspectiva sobre cómo consideraban la motivación del estudiante a nivel preinstrucciona, coinstrucciona y posinstrucciona en temas de matemáticas en sus instituciones. Se utiliza una escala de Likert de 5 opciones.

Se consultó a los profesores el grado de motivación que observaban a sus estudiantes cuando realizan una actividad que contemple los tres niveles instruccional. Respondiendo que el 60 % de

sus estudiantes, frente actividades que contemplen los tres niveles de instrucción se encuentran altamente motivados, y un 40 % motivados (ver Figura 3).

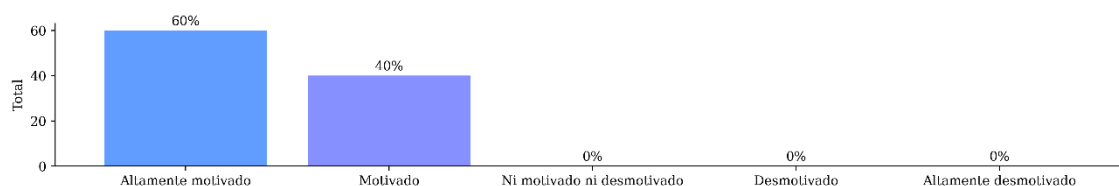


Figura 3. Porcentaje de estudiantes motivados frente a una actividad en clases que contemple los tres niveles de instrucción.

Con el uso de las herramientas TIC de aprendizaje, utilizándolas en una actividad de conocimiento matemático se les consultó a los profesores si consideran que la motivación mejora cuando los participantes conocen que existe una actividad con estructura preinstruccional en el desarrollo de los ejercicios matemáticos. Se obtuvo que el 22 % de los participantes estaban “fuertemente de acuerdo”, y un 78 % “de acuerdo”, (ver Figura. 4).

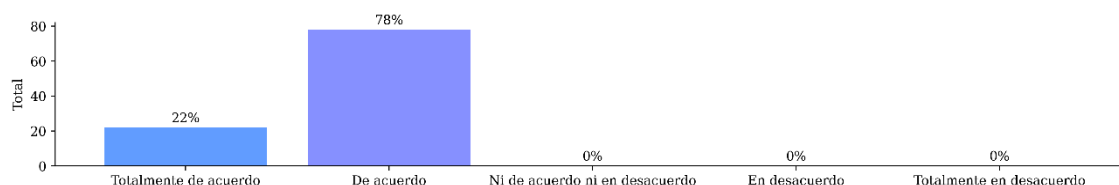


Figura 4. Porcentaje de profesores que se encuentran de acuerdo con el uso de una estructura preinstruccional en una actividad de conocimiento matemático.

A los profesores se les preguntó si están de acuerdo que se debe considerar el uso de tecnologías de información y tecnologías de aprendizaje del conocimiento facilitando el aprendizaje de las matemáticas a nivel preinstruccional. Se obtuvo que el 28 % de los profesores están “fuertemente de acuerdo”, el 68 % se encuentran “de acuerdo” y el 4 %, “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, (ver Figura 5).

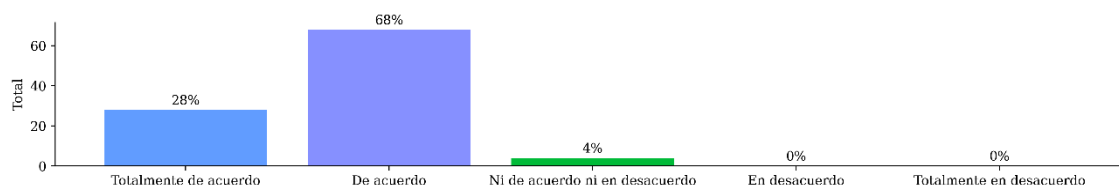


Figura 5. Porcentaje de profesores que se encuentran de acuerdo que se debe considerar el uso de tecnologías de información y tecnologías de aprendizaje del conocimiento para facilitar el aprendizaje de las matemáticas a nivel preinstruccional.

A los profesores se les preguntó si están de acuerdo que se debe considerar el uso de tecnologías de información y tecnologías de aprendizaje del conocimiento facilitando el aprendizaje de las matemáticas a nivel instruccional. Se obtuvo que el 32 % de los profesores se encuentran “fuertemente de acuerdo”, el 66 % se encuentran “de acuerdo” y el 2 %, “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, (ver Figura 6).

A los profesores se les preguntó si están de acuerdo que se debe considerar el uso de tecnologías de información y tecnologías de aprendizaje del conocimiento facilitando el aprendizaje de las matemáticas a nivel posinstruccional. Se obtuvo que el 32 % de los profesores están “fuertemente de acuerdo”, y el 68 % se encuentran “de acuerdo”, (ver Figura 7).

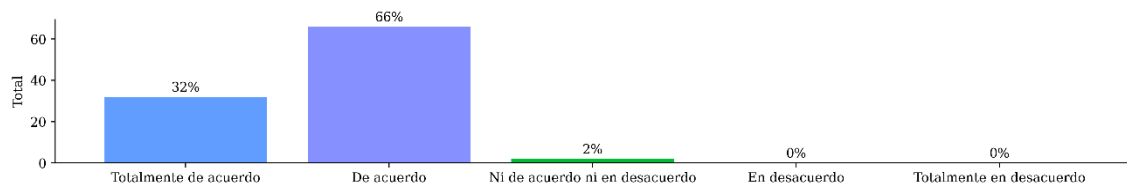


Figura 6. Porcentaje de profesores que se encuentran de acuerdo que se debe considerar el uso de tecnologías de información y tecnologías de aprendizaje del conocimiento para facilitar el aprendizaje de las matemáticas a nivel coinstruccional.

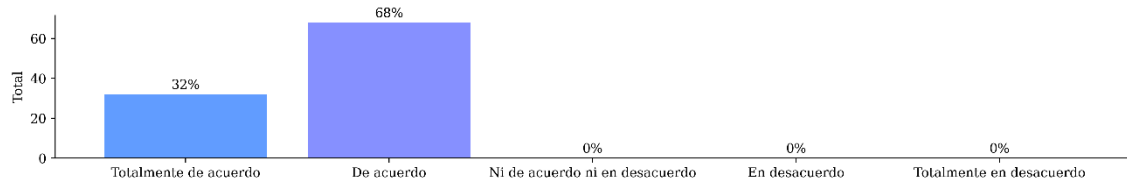


Figura 7. Porcentaje de profesores que se encuentran de acuerdo que se debe considerar el uso de tecnologías de información y tecnologías de aprendizaje del conocimiento para facilitar el aprendizaje de las matemáticas a nivel posinstruccional.

A los profesores se les preguntó si están de acuerdo que se debe considerar el uso de aplicaciones móviles y tecnologías abiertas dentro del aprendizaje del conocimiento a nivel instruccional. Se obtuvo que el 34 % de los profesores se encuentran “fuertemente de acuerdo” y el 66 % se encuentran “de acuerdo”, (ver Figura 8).



Figura 8. Porcentaje de profesores que se encuentran de acuerdo que se debe considerar el uso de aplicaciones móviles y tecnologías abiertas dentro del aprendizaje del conocimiento a nivel coinstruccional.

A los profesores se les preguntó si están de acuerdo que se debe considerar el uso de aplicaciones móviles y tecnologías abiertas dentro del aprendizaje del conocimiento a nivel posinstruccional. Se obtuvo que el 42 % de los profesores están “fuertemente de acuerdo” y el 58 % se encuentran “de acuerdo”, (ver Figura 9).



Figura 9. Porcentaje de profesores que se encuentran de acuerdo que se debe considerar el uso de aplicaciones móviles y tecnologías abiertas dentro del aprendizaje del conocimiento a nivel postinstruccional.

A los profesores se les preguntó si están de acuerdo que se debe considerar el uso de aplicaciones móviles abiertas como una estrategia para innovación en el proceso de aprendizaje de matemáticas. Se obtuvo que el 42 % de los profesores se encuentran “fuertemente de acuerdo” y el 58 % se encuentran “de acuerdo”, (ver Figura 10).

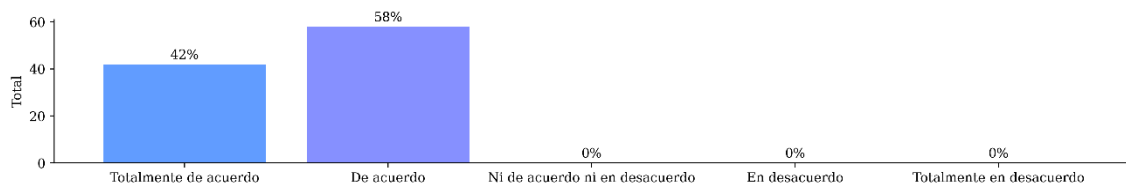


Figura 10. Porcentaje de profesores que se encuentran de acuerdo que se debe considerar el uso de aplicaciones móviles abiertas como una estrategia para innovación en el proceso de aprendizaje de matemáticas.

A los profesores se les preguntó si están de acuerdo que el uso de aplicaciones TIC especializadas en el área de matemáticas mejora el rendimiento escolar. Se obtuvo que el 48 % de los profesores están “fuertemente de acuerdo”, el 50 % se encuentran “de acuerdo”, y el 2 %, “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, (ver Figura 11).

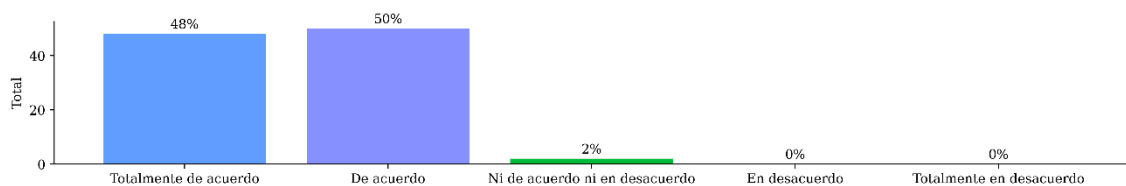


Figura 11. Porcentaje de profesores que se encuentran de acuerdo que el uso de aplicaciones TIC especializadas en el área de matemáticas mejora el rendimiento escolar.

A los profesores se les preguntó si observan en sus estudiantes estar de acuerdo en considerar el uso de aplicaciones de tecnología móviles para facilitar el aprendizaje de las matemáticas. Se obtuvo que el 9 % de los profesores están “fuertemente de acuerdo”, el 59 % se encuentran “de acuerdo”, y el 32 %, “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, (ver Figura 12).

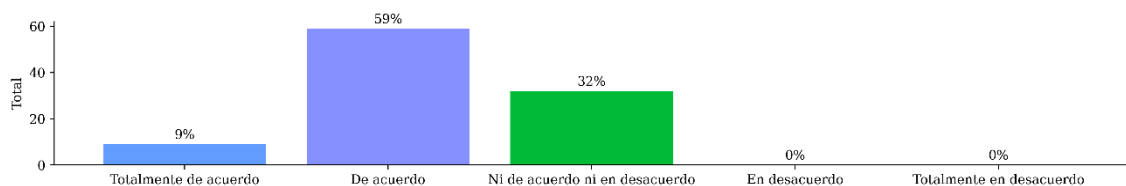


Figura 12. Porcentaje de profesores que observan en sus estudiantes estar de acuerdo en considerar el uso de aplicaciones de tecnología móviles para facilitar el aprendizaje de las matemáticas.

Finalmente, se les preguntó a los profesores si están de acuerdo que el uso de aplicaciones de tecnologías móviles ha permitido mejorar el rendimiento académico de sus estudiantes en el ámbito de las matemáticas. Se obtuvo que el 18 % de los profesores están “fuertemente de acuerdo”, el 64 % se encuentran “de acuerdo”, y el 18 %, “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, (ver Figura 13).

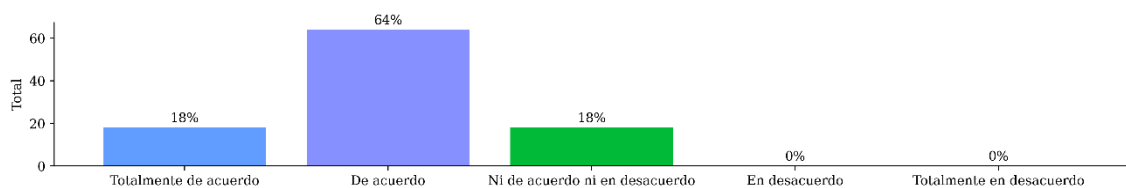


Figura 13. Porcentaje de profesores que están de acuerdo que el uso de aplicaciones de tecnologías móviles ha permitido mejorar el rendimiento académico de sus estudiantes en el ámbito de las matemáticas.

5. DISCUSIÓN

El aprendizaje de las ciencias usando estrategias basadas en la experimentación y utilizando tecnologías de información mejoran significativamente el rendimiento académico considerando que el estudiante incrementa el entendimiento de los contenidos [41], [42]. El estudiante desarrolla competencias y destrezas en el área de matemáticas al aplicar las estrategias adecuadas de aprendizaje en una estructura de tres niveles instruccionales usando las herramientas digitales de tecnologías de información y comunicación [43], [44].

El uso de estrategias pedagógicas en la tres etapas preinstruccional, instruccional y posinstruccional en las diferentes áreas del conocimiento y el diseño de la guías del aprendizaje permiten aplicar formas de innovación con el soporte de TIC [45]-[47]. La metodología de implementación del aprendizaje invertido y el uso de aplicaciones móviles especializadas permite a los estudiantes identificar potencialidades propias que incentiva el descubrimiento del conocimiento y la práctica de las matemáticas [48]-[50]. Los estudiantes mantienen una estructura de análisis mental matizados por la forma de comprensión conceptual y la actitud para explicarla, con esto el apoyo de estrategias didácticas, con una estructura de tres niveles de instrucción y soportados con tecnologías de la información y comunicación permite potenciar el proceso de aprendizaje y resultados de logros esperados [51]-[54].

6. CONCLUSIONES

Las experiencias de las estrategias pedagógicas en una estructura de tres niveles de instrucción que usan las herramientas TIC tienen efecto positivo en los estudiantes porque existe una asociación con el éxito académico y una relación positiva con el entretenimiento, pero utilizar TIC disminuye la interacción social de los estudiantes. Los docentes con una estructura de tres niveles de instrucción maximizan el impacto de TIC en la clase, los estudiantes aprenden a colaborar en grupos, los estudiantes aplican la resolución de problemas, el estudiante participa en el proceso de la solución, el pensamiento del estudiante aumenta en la transformación de información, los estudiantes combinan o cruzan ideas.

Las actividades experimentales desde un desarrollo instruccional de tres niveles benefician potencialmente a los procesos de aprendizaje en el aula, apoyados con equipos tecnológicos evidencian cada vez más ser un camino confiable capaz de producir resultados favorables, además de ser observables para brindar retroalimentación y mejorando los planes de estudio a futuro.

REFERENCIAS

- [1] B. G. Fabros and E. D. Ibañez, "Effectiveness of Utilizing Graphic Organizers in Improving Conceptual Understanding towards Operations of Fractions among Teachers," *Int. J. Instr.*, vol. 16, no. 1, pp. 507–526, jan. 2023. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.29333/iji.2023.16128a>
- [2] F. B. Potes-Duque and J. J. Jiménez-Contreras, "Innovación pedagógica en el proceso de enseñanza-aprendizaje de matemáticas para estudiantes de Educación General Básica considerando las Tecnologías de la Información y la Comunicación," *INNOVA Res. J.*, vol. 8, no. 3.1, pp. 25–44, nov. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.33890/innova.v8.n3.1.2023.2319>.
- [3] B. Stein, H. Stein, and I. Galili, "The Concept of Observer in Science Teaching in Middle School: Pre-Instructional Knowledge as a Lever for Learning rather than an Obstacle," *Educ. Sci.*, vol. 13, no. 1, jan. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/educsci13010095>
- [4] M. Isanoa-Sinche and J. Llerena-Izquierdo, "Towards a Meaningful Experience on the Use of Digital Educational Resources and Media created at Ardora," *2023 IEEE Seventh*

Ecuador Technical Chapters Meeting (ECTM), pp. 1–5, nov. 2023. [En línea]. Disponible en: [10.1109/ETCM58927.2023.10308988](https://doi.org/10.1109/ETCM58927.2023.10308988).

- [5] J. Rivadeneira and E. Inga, “Interactive Peer Instruction Method Applied to Classroom Environments Considering a Learning Engineering Approach to Innovate the Teaching-Learning Process,” *Educ. Sci.*, vol. 13, no. 3, mar. 2023. [Online]. Available: [10.3390/educsci13030301](https://doi.org/10.3390/educsci13030301).
- [6] N. Pilapaxi-Cunalata and J. Llerena-Izquierdo, “Experience of the Disruption of Educational Technologies Based on the UTAUT Model,” in *2023 IEEE Seventh Ecuador Technical Chapters Meeting (ECTM)*, pp. 1–5, nov. 2023. [Online]. Available: [10.1109/ETCM58927.2023.10308981](https://doi.org/10.1109/ETCM58927.2023.10308981).
- [7] J. Zapata-Martínez and J. Llerena-Izquierdo, “Las TIC después del COVID-19: la perspectiva de los profesores universitarios,” *Congr. Docencia en Educ. Super. CODES*, vol. 5, nov. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.15443/codes1988>
- [8] A. Cedeño-Tello and J. Llerena-Izquierdo, “Impact of homogeneous use of virtual classrooms based on a management model for teaching-learning processes,” in *2023 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE)*, IEEE, pp. 1–8, mar. 2023. [Online]. Available: [10.1109/EDUNINE57531.2023.10102905](https://doi.org/10.1109/EDUNINE57531.2023.10102905).
- [9] S. Y. Ng, Y.-L. Kuo, and C.-L. Lin, “Low-Cost and Easily Fabricated Ultrasound-Guided Breast Phantom for Breast Biopsy Training,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 16, Aug. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app11167728>
- [10] A. Volkov *et al.*, “Using Digital Tools to Teach Soft Skill-Oriented Subjects to University Students during the COVID-19 Pandemic,” *Educ. Sci.*, vol. 12, no. 5, may 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/educsci12050335>
- [11] L. P. Ewe and T. Galvin, “Universal Design for Learning across Formal School Structures in Europe—A Systematic Review,” *Educ. Sci.*, vol. 13, no. 9, p. 867, aug. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/educsci13090867>.
- [12] T. M. Wut, J. (Bill) Xu, S. W. Lee, and D. Lee, “University Student Readiness and Its Effect on Intention to Participate in the Flipped Classroom Setting of Hybrid Learning,” *Educ. Sci.*, vol. 12, no. 7, jun. 2022. [Online]. Available: [10.3390/educsci12070442](https://doi.org/10.3390/educsci12070442).
- [13] T. Fletcher, “Using a virtual learning environment to enhance reflective practice in work-based learning,” *High. Educ. Ski. Work. Learn.*, vol. ahead-of-p, no. ahead-of-print, jan. 2023. [Online]. Available: [10.1108/HESWBL-10-2020-0231](https://doi.org/10.1108/HESWBL-10-2020-0231).
- [14] H. Tinoco-Giraldo, E. M. Torrecilla Sánchez, and F. J. García-Peñalvo, “E-Mentoring Pilot Program in Academic Internships: Effectiveness in Improving Participants’ Competencies,” *Sustainability*, vol. 14, no. 7, pp. 1-20, Mar. 2022. [Online]. Available: [10.3390/su14074025](https://doi.org/10.3390/su14074025).
- [15] A. Almusaed, A. Almssad, I. Yitmen, and R. Z. Homod, “Enhancing Student Engagement: Harnessing ‘AIED’’s Power in Hybrid Education—A Review Analysis,” *Educ. Sci.*, vol. 13, no. 7, p. 632, jun. 2023. [Online]. Available: [10.3390/educsci13070632](https://doi.org/10.3390/educsci13070632).
- [16] I. E. F. Costa, S. R. B. Oliveira, I. S. Elgrably, A. dos S. Guerra, E. M. Soares, and I. V. F. Costa, “Using Active Methodologies for Teaching and Learning of Exploratory Test Design and Execution,” *Educ. Sci.*, vol. 13, no. 2, p. 115, jan. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/educsci13020115>
- [17] B. Chimmalee, “Analysis of Elements of Mathematics Learning on Cloud Technology for Pre-Service Teachers,” *Int. Conf. ICT Knowl. Eng.*, vol. 2020-Novem, pp. 20–24,

December 2020, doi: 10.1109/ICTKE50349.2020.9289893.

- [18] T. Tran, H. A. Phan, H. Van Le, and H. T. Nguyen, "ICT integration in developing competence for pre-service mathematics teachers: A case study from six universities in Vietnam," *Int. J. Emerg. Technol. Learn.*, vol. 15, no. 14, pp. 19–34, jul. 2020. [Online]. Available: 10.3991/ijet.v15i14.14015.
- [19] K. L. Nielsen, "Why Can the Flipped Classroom Frustrate Students? Experiences from an Engineering Mathematics Course," *Educ. Sci.*, vol. 13, no. 4, p. 396, apr. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/educsci13040396>
- [20] O. Birgin, K. Uzun, and S. G. Mazman Akar, "Investigation of Turkish mathematics teachers' proficiency perceptions in using information and communication technologies in teaching*," *Educ. Inf. Technol.*, vol. 25, no. 1, pp. 487–507, August 2020. [Online]. Available: 10.1007/s10639-019-09977-1.
- [21] L. Verschaffel, F. Depaepe, and Z. Mevarech, "Learning Mathematics in Metacognitively Oriented ICT-Based Learning Environments: A Systematic Review of the Literature," *Educ. Res. Int.*, vol. 2019, sep. 2019. [Online]. Available: 10.1155/2019/3402035.
- [22] K. Kim, H.-S. Kim, J. Shim, and J. S. Park, "A study in the early prediction of ict literacy ratings using sustainability in data mining techniques," *Sustainability*, vol. 13, no. 4, p. 2141, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su13042141>
- [23] A. C. Schwartz and A. C. Burrows, "Listening for Integrated STEM Discourse: Power and Positioning in a Teacher Professional Development Dataset Activity," *Educ. Sci.*, vol. 12, no. 2, jan. 2022. [Online]. Available: 10.3390/educsci12020084.
- [24] E. M. Torres-Madroñero, M. C. Torres-Madroñero, and L. D. Ruiz Botero, "Challenges and Possibilities of ICT-Mediated Assessment in Virtual Teaching and Learning Processes," *Futur. Internet*, vol. 12, no. 12, p. 232, dec. 2020. [Online]. Available: 10.3390/fi12120232.
- [25] J. Batista, "Cartographic narratives: the teaching of mathematics and ICT," *J. Res. Knowl. SPREADING*, vol. 1, no. 2020, pp. 1–13, dec. 2020. [Online]. Available: <https://www.seer.ufal.br/index.php/jrks/article/view/11645>
- [26] J. C. Bustamante, M. Segura-Berges, M. Lizalde-Gil, and C. Peñarrubia-Lozano, "Qualitative Analyses of e-Learning Implementation and Hybrid Teaching during the COVID-19 Pandemic at Spanish Universities," *Sustainability*, vol. 14, no. 19, p. 12003, sep. 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su141912003>
- [27] S. Meggiolaro, "Information and communication technologies use, gender and mathematics achievement: evidence from Italy," *Soc. Psychol. Educ.*, vol. 21, no. 2, pp. 497–516, dec. 2018. [Online]. Available: 10.1007/s11218-017-9425-7.
- [28] C. Namome and M. Moodley, "ICT in mathematics education: an HLM analysis of achievement, access to and use of ICT by African Middle School Students," *SN Soc. Sci.*, vol. 1, no. 9, p. 224, sep. 2021. [Online]. Available: 10.1007/s43545-021-00230-6.
- [29] W. Daher, N. Baya'a, and R. Anabousy, "In-service mathematics teachers' integration of ict as innovative practice," *Int. J. Res. Educ. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 534–543, 2018. [Online]. Available: 10.21890/ijres.428945.
- [30] J. Schneiderhan-Opel and F. X. Bogner, "Between Environmental Utilization and Protection: Adolescent Conceptions of Biodiversity," *Sustainability*, vol. 11, no. 17, aug. 2019. [Online]. Available: 10.3390/su11174517.
- [31] S. Farahani, I. Farahani, B. B. Burckhardt, H. Schwender, and S. Laeer, "Self-Instruction

Video Versus Face-to-Face Instruction of Pharmacy Students' Skills in Blood Pressure Measurement," *Pharmacy*, vol. 8, no. 4, november 2020. [Online]. Available: 10.3390/pharmacy8040217.

- [32] D. Messig and J. Groß, "Understanding Plant Nutrition—The Genesis of Students' Conceptions and the Implications for Teaching Photosynthesis," *Educ. Sci.*, vol. 8, no. 3, aug. 2018. [Online]. Available: 10.3390/educsci8030132.
- [33] D. S. K. Girish Sharma, "A Research Framework And Evaluation Of The Efficiency Of Online Teaching Pedagogy In Individual Skill Development," *J. Pharm. Negat. Results*, pp. 743–753, nov. 2022. [Online]. Available: 10.47750/pnr.2022.13.S09.85.
- [34] J. Medrano, J. Jaffe, D. Lombardi, M. A. Holzer, and C. Roemmele, "Students' Scientific Evaluations of Water Resources," *Water*, vol. 12, no. 7, jul. 2020. [Online]. Available: 10.3390/w12072048.
- [35] J. Benegas and M. Villegas, "Introducing Pre-Service Math and Biology Teachers to Physics PCK," *J. Sci. Teacher Educ.*, vol. 33, no. 3, pp. 227–246, Apr. 2022. [Online]. Available: 10.1080/1046560X.2021.1909809.
- [36] D. Cross Francis, A. Eker, J. Liu, K. Lloyd, and P. Bharaj, "(Mis)alignment between noticing and instructional quality: the role of psychological and cognitive constructs," *J. Math. Teach. Educ.*, vol. 25, no. 5, pp. 599–632, aug. 2022. [Online]. Available: 10.1007/s10857-021-09509-0.
- [37] B. Kitchenham, L. Madeyski, and D. Budgen, "How Should Software Engineering Secondary Studies Include Grey Material?," *IEEE Trans. Softw. Eng.*, vol. 49, no. 2, pp. 872–882, feb. 2023. [Online]. Available: 10.1109/TSE.2022.3165938.
- [38] A. Perienen, "Frameworks for ICT Integration in Mathematics Education - A Teacher's Perspective," *Eurasia J. Math. Sci. Technol. Educ.*, vol. 16, no. 6, feb. 2020. [Online]. Available: 10.29333/ejmste/7803.
- [39] K. Açıkgül and S. N. Şad, "High school students' acceptance and use of mobile technology in learning mathematics," *Educ. Inf. Technol.*, vol. 26, no. 4, pp. 4181–4201, feb. 2021. [Online]. Available: 10.1007/s10639-021-10466-7.
- [40] J. E. B. dos Santos, "Cartographic narratives: the teaching of mathematics and ICT," *J. Res. Knowl. Spreading*, vol. 1, no. December 2020, pp. 1–13, 2020.
- [41] E. J. Theobald *et al.*, "Active learning narrows achievement gaps for underrepresented students in undergraduate science, technology, engineering, and math," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 117, no. 12, pp. 6476–6483, mar. 2020. [Online]. Available: 10.1073/pnas.1916903117.
- [42] K. Bundock, L. S. Hawken, S. A. Kihara, B. V O'Keeffe, R. E. O'Neill, and M. B. Cummings, "Teaching Rate of Change and Problem Solving to High School Students With High Incidence Disabilities at Tier 3," *Learn. Disabil. Q.*, vol. 44, no. 1, pp. 35–49, nov. 2021. [Online]. Available: 10.1177/0731948719887341.
- [43] S. V. Novikova, S. A. Sosnovsky, R. R. Yakhina, N. L. Valitova, and E. S. Kremleva, "The specific aspects of designing computer-based tutors for future engineers in numerical methods studying," *Integr. Educ.*, vol. 21, no. 2, pp. 322–343, jun. 2017. [Online]. Available: 10.15507/1991-9468.087.021.201702.322-343.
- [44] J. A. Kaminski and V. M. Sloutsky, "The use and effectiveness of colorful, contextualized, student-made material for elementary mathematics instruction," *Int. J. STEM Educ.*, vol. 7, no. 1, p. 6, feb. 2020. [Online]. Available: 10.1186/s40594-019-0199-7.

- [45] J. C. Orozco Alvarado and A. A. Díaz Pérez, “Un reto de innovación pedagógica: Las guías de aprendizajes,” *Rev. Electrónica Conoc. Saberes y Prácticas*, vol. 1, no. 1, pp. 54–71, oct. 2018. [En línea]. Disponible en: 10.30698/recsp.v1i1.4.
- [46] J. Scheid, A. Müller, R. Hettmannsperger, and W. Schnotz, “Improving learners’ representational coherence ability with experiment-related representational activity tasks,” *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, vol. 15, no. 1, p. 10142, jun. 2019. [Online]. Available: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010142.
- [47] S. S. Klein-Gardner, S. P. Brophy, M. J. Aston, and C. B. Paschal, “Biomedical imaging education: Safe, inexpensive hands-on learning,” *Int. J. Eng. Educ.*, vol. 26, no. 5, pp. 1061–1071, jan. 2010.
- [48] F. J. Hinojo Lucena, J. López Belmonte, A. Fuentes Cabrera, J. M. Trujillo Torres, and S. Pozo Sánchez, “Academic Effects of the Use of Flipped Learning in Physical Education,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 1, dec. 2019. [Online]. Available: 10.3390/ijerph17010276.
- [49] B. W. Dreyfus, J. R. Hoehn, A. Elby, N. D. Finkelstein, and A. Gupta, “Splits in students’ beliefs about learning classical and quantum physics,” *Int. J. STEM Educ.*, vol. 6, no. 1, p. 31, sep. 2019. [Online]. Available: 10.1186/s40594-019-0187-y.
- [50] M. Bakker, M. van den Heuvel-Panhuizen, and A. Robitzsch, “First-graders’ knowledge of multiplicative reasoning before formal instruction in this domain,” *Contemp. Educ. Psychol.*, vol. 39, no. 1, pp. 59–73, jan. 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2013.11.001>.
- [51] A. Ozcan Edeer and N. Rust, “Effectiveness of Interprofessional Education Modules on Cultural Competency of Physical Therapy and Occupational Therapy Students,” *Internet J. Allied Heal. Sci. Pract.*, vol. 20, no. 2, p. 15, mar. 2022. [Online]. Available: 10.48550/arXiv.2305.10646.
- [52] D. A. French and A. C. Burrows, “Evidence of Science and Engineering Practices in Preservice Secondary Science Teachers’ Instructional Planning,” *J. Sci. Educ. Technol.*, vol. 27, no. 6, pp. 536–549, jul. 2018. [Online]. Available: 10.1007/s10956-018-9742-4.
- [53] M. Vandermaas-Peeler, K. Massey, and A. Kendall, “Parent Guidance of Young Children’s Scientific and Mathematical Reasoning in a Science Museum,” *Early Child. Educ. J.*, vol. 44, no. 3, pp. 217–224, may. 2016. [Online]. Available: 10.1007/s10643-015-0714-5.
- [54] D. E. Meltzer, “The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible ‘hidden variable’ in diagnostic pretest scores,” *Am. J. Phys.*, vol. 70, no. 12, pp. 1259–1268, dec. 2002. [Online]. Available: 10.1119/1.1514215.



Diseño de un sistema de gestión de inventario para un restaurante manabita

(Design of an Inventory Management System for a Manabita Restaurant)

Cinthia Elizabeth Zamora Saltos , Ciaddy Rodríguez Borges
Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador
czamora1515@utm.edu.ec, ciaddy.rodriguez@utm.edu.ec

Resumen: La determinación de un adecuado sistema de gestión de inventario en los restaurantes es un proceso importante, ya que puede generar altos costos de aprovisionamiento y de mantenimiento sino se maneja adecuadamente, debido a las diferentes materias primas y suministros necesarios para garantizar la satisfacción de la demanda de los clientes. Esta investigación se centra en determinar cómo puede diseñarse un sistema de gestión de inventario para un restaurante en Manabí, con el objetivo de garantizar la disminución de costos de órdenes y de mantenimiento en los inventarios, evitando las pérdidas por productos por dañados, caducados y los costos falta de inventarios. La metodología empleada consiste en el diseño de seis fases que permiten ajustar el sistema propuesto de inventarios a las necesidades del restaurante; se propuso el empleo del software informático PQ de Windows para el seguimiento y manejo de los inventarios. Finalmente, el sistema de gestión diseñado permite gestionar de forma eficientemente el inventario, reduciendo costos, evitando la compra excesiva de los productos innecesarios, así como también, la caducidad de los productos y mejorando la optimización de los tiempos de aprovisionamiento de productos.

Palabras clave: materias primas, costo de ruptura, demanda de clientes, alimentos perecederos, merma de producto.

Abstract: The determination of an adequate inventory management system in restaurants is an important process that can generate high procurement and inventory maintenance costs if it is not handled properly, due to the different raw materials and supplies needed to ensure the satisfaction of customer demand. This research is focused on determining how an inventory management system can be designed for a Manabi restaurant, in order to guarantee the reduction of order and maintenance costs in inventories, avoiding product shrinkage due to damage, expiration and inventory breakage costs. The methodology used consisted of the design of six phases that made it possible to adjust the proposed inventory system to the restaurant's needs; the use of Windows PQ software was proposed for inventory tracking and management. Finally, the designed management system allows to efficiently manage the inventory, reducing costs, avoiding excessive purchase of unnecessary products, as well as the expiration of the products and the improvement in the optimization of time for the supply of products.

Keywords: raw materials, breakage cost, customer demand, perishable foods, product shrinkage.

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de inventario permite dar un uso eficiente a los recursos financieros de la organización, ya que estos sistemas de gestión, garantiza que los gastos incurridos en el aprovisionamiento de materias primas se ejecuten de manera adecuada, con la frecuencia requerida y con un adecuado mantenimiento de los materiales, logrando mediante el registro

detallado de los productos, su seguimiento, categorización y clasificación de los mismos [1]. Un adecuado sistema de planificación y control, permite disminuir los gastos, exceso de almacenamiento, costos de ruptura y de pérdidas de materiales, los cuales son considerados unos de los más relevantes de las organizaciones [2].

Un inventario es una parte fundamental para cualquier organización, ya sea pequeña, mediana o grande, por lo que debe llevarse un registro detallado de los productos, materiales o activos que están presentes dentro de todos los procesos de la empresa, por lo que es un aspecto clave en el funcionamiento y rentabilidad de la organización, y requiere de un seguimiento continuo y oportuno para garantizar que los costos en los que se incurre con el manejo de los materiales y suministros, sean los adecuados [3].

En Ecuador existen aproximadamente 13.421 empresas dedicadas a las actividades de restaurante y servicio de comidas rápidas, lo que genera una alta competitividad dentro de este mercado, obligando a llevar mayores controles en los inventarios, con la finalidad de tener una mayor rentabilidad, por lo que es necesario contar con un registro adecuado de las materias primas, para lograr gestionar de una manera correcta los insumos y por de satisfacer la demanda con calidad y costos de producción [4].

En la actualidad todas las empresas presentan riesgos económicos, ya que es difícil determinar el inventario adecuado, debido a la diversidad de productos que se manejan, los problemas en la estimación de la demanda, controles de inventario de manuales, dificultades en la comunicación de las diferentes áreas de la organización, entre otros aspectos, que afectan a los restaurantes, tales es el caso de la comunicación entre los responsables de cocina y de compras, adicionalmente también, el manejo de los inventarios en este tipo de organizaciones requiere de un espacio adecuado para el almacenamiento, por lo tanto, contar con un sistema de inventario puede optimizar la gestión en aspectos que actualmente generan pérdidas económicas [5].

En la industria de los restaurantes, las exigencias de los clientes son muy amplias, por lo que satisfacer las expectativas, en términos de tiempo de entrega y costos requieren de procesos eficientes de aprovisionamiento materias primas, lo cual tienen frecuencias variadas debido a la caducidad de algunos productos, creando la necesidad de establecer puntos de reordenes distintos para las materias primas manejadas [6]. Existen otros insumos requeridos por los restaurantes, que ameritan ser manejados con políticas distintas de inventarios en los productos perecederos y no perecederos, con la finalidad de poder aprovechar descuentos por tamaños de lote, por lo que debe contarse con un balance adecuado a la disponibilidad de áreas para el almacenamiento, en la búsqueda de menores costos [7].

Esta investigación tiene como objetivo diseñar un sistema de gestión de inventario específicamente para un restaurante en Manabí, una región con características gastronómicas muy amplias, lo que demanda un número de productos también muy extenso para la preparación de las mismas, que pasa desde los productos del mar, condimentos y rubros de vegetales variados. Esto hace que para los restaurantes dedicados a la elaboración de platos tradicionales de la costa ecuatoriana (manabita) se requieran inventarios de mayor volumen de productos y con mayores necesidades de gestión de inventario. La elección de centrarse en Manabí se debe a su rica cultura culinaria y la necesidad de soluciones más exigentes en cuanto la gestión de inventario adaptadas a sus restaurantes locales.

Es por esto que esta investigación busca determinar para un tipo de organización cómo puede diseñarse un sistema de gestión de inventario para un restaurante manabita, que permita garantizar la disminución de costos de órdenes y de mantenimiento en los inventarios materias primas y suministros, para garantizar la satisfacción adecuada de la demanda y la disminución de los costos incurrir por mermas de productos y rupturas de inventarios.

Los inventarios están basados en los productos y en las materias primas requeridas en cada organización para el funcionamiento eficaz de sus procesos, las cuales están conformadas por productos físicos, los cuales deben ser conservados en un lugar determinado, posteriormente serán utilizados para satisfacer la demanda. Es importante contar, con un adecuado abastecimiento de las materias primas, de ellos dependen las actividades de la organización y por ende la gestión con proveedores, también debe ser parte fundamental, para garantizar un aprovisionamiento óptimo en términos de calidad y precio de los insumos [8].

Los inventarios en los restaurantes cumplen varias funciones que son importantes, tales como tener un control preciso de los productos almacenados para evitar su caducidad, para aprovechar las oportunidades de oferta por tamaño de lote y evitar las mermas de los productos, lo que se traduce en una gestión eficiente y una mejor rentabilidad. Los inventarios que se puede encontrar en un restaurante son las de materias primas, productos de proceso, productos terminados, inventario de seguridad [9].

Llevar un control en los inventarios es de importancia, ya que el objetivo principal es que toda organización obtenga utilidades a partir de las ventas. Si un inventario no está realizado correctamente, es probable que se afecten a todas las áreas de producción, ya que no existirá materia prima requerida para laborar correctamente, causando no conformidades hacia el cliente provocando pérdidas. El desarrollo de sistema inventarios es muy pocas veces empleado en las micro y pequeñas empresas, lo que ocasiona dificultades en la planeación y la maximización de las utilidades que se obtienen [4].

Entre los problemas más comunes en el manejo de inventario de los restaurantes, se encuentran la falta de registro de las compras, de las ventas, de la producción, debido a que no se comprende la importancia estratégica de contar con documentación que permita efectivamente la planificación para pedidos posteriores, el énfasis se encuentra en las actividades operativas y tácticas, por lo que se suele ocurrir por la falta de documentación, dificultades de seguimiento e información insuficiente, además de falta de tecnología adecuada para el registro [11].

Una de las consecuencias de no contar con información adecuada es el exceso de inventario. Esto genera más existencia de productos de los que realmente necesita o pueda venderse en un tiempo determinado, lo que puede surgir en consecuencia de no contar con pronóstico de demanda, fallos en la gestión de la cadena de suministro, cambios en la demanda, trayendo esto como consecuencias graves problemas a nivel financiero, por aumento en los costos de aprovisionamiento, reducción de flujo de efectivo, costo de mantenimiento entre los cuales figura: la obsolescencia de productos, costo de aseguramiento de los materiales, costo de espacio físico de almacenamiento, entre otros [12].

Al implementar un sistema de gestión de inventario eficiente, se debería evitar la caducidad de las materias primas. Esto se debe a que la caducidad es generalmente el resultado de una gestión de inventario deficiente, falta de rotación adecuada de los productos, las compras excesivas o inadecuadas, falta de control de las fechas de vencimiento, almacenamiento inadecuado, cambios en la demanda, por lo que es recomendable realizar un respectivo control del inventario [13].

Los restaurantes en ocasiones sufren de escases de materias primas para poder preparar sus menús. Estas son causadas por un mal manejo de inventario por lo cual no pueden satisfacer la demanda de sus clientes. Sus principales causas son pronósticos de demanda inexactos, problemas en la cadena de suministro, problemas de producción causando pérdidas en las ventas, riesgo de desabastecimiento, por lo que es importante un sistema de gestión de inventario adecuado [14].

Siendo la merma en los restaurantes un aspecto muy común, debido deterioro físico o en el empaque de los productos, los cuales por su impiden su utilización por generar contaminación, existen muchos criterios de diferentes autores los cuales consideran que una merma para que sea aceptable tiene que ser de un 2 % y máximo un 30 % del valor total del inventario, pero el 0 %

representa una merma la cual es aceptable, pero se considera como una utopía para conseguirlo ya que el enfoque principal es llegar a un porcentaje cercano [15].

Los robos son otro aspecto por considerar como pérdida, pero estos son realizados por los empleados o los clientes de la sustracción ya sea de los bienes o de los productos que se encuentran almacenados dentro del inventario [16].

Por todo lo antes expuesto, el control físico de inventarios en los restaurantes no se puede omitir, siendo necesaria una verificación y un recuento de los productos que están almacenados, permitiendo la comparación con los registros manejados por los software y los datos del inventario físico, garantizando un control preciso, minimizando las discrepancias entre registros y las existencias reales [17]. Por medio de un inventario físico los restaurantes pueden conocer el stock en existencia, la cual da a conocer con exactitud los productos y las cantidades. Esta se realiza contando producto por producto y llevando un registro manual, estas pueden ser realizadas de una forma permanente, manual o rotativa, de esta forma se puede tener un control de calidad de los productos y la identificación de descuadres [18].

El sistema de inventario en los restaurantes está establecido por medio de normas, métodos y de procedimientos los cuales tienden a estar aplicadas de una forma sistemática para así tener una mejor planificación y un óptimo control de los materiales y los productos que se utilizan estos sistemas son manuales o automatizados, este debe responder a cuanto pedir y cuando es necesario solicitar una orden para que este llegue en el tiempo indicado con la cantidad que se requiere [19].

Los elementos importantes para un control de inventario adecuado son tener una correcta planificación en las actividades y el procedimiento de un inventario tomando en cuenta la parte de la recepción, el almacenamiento hasta la parte de la mercancía, un orden correcto de los productos en lugares estratégicos de los artículos en stock [20].

Los restaurantes que cuentan con inventario desarrollados de forma empírica o según registros históricos de compras, generalmente no tiene un balance dinámico entre capacidad de producción y demanda, por lo que carecen de una planificación que le permita hacerles frente a los cambios en las demandas de los clientes y en consecuencia de su satisfacción [21].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación realizada es de naturaleza mixta, debido a que se empleó una amplia revisión bibliográfica y un trabajo de investigación de campo, en el cual se lograron precisar las materias primas y los suministros, que de forma permanente son requeridos en la organización estudiada.

Esta investigación se llevó a cabo en una de las múltiples de microempresas dedicadas a la elaboración de alimentos de platos tradicionales del Ecuador, los cuales debido a la alta preferencia de sus clientes han crecido en cuanto a la necesidad de planificación y organización de estos tipos de empresas, siendo un elemento clave disponer de materias primas para garantizar la preparación de sus productos.

Se diseñó una metodología para la realización de la investigación, en la cual se establecen un total de seis fases, las cuales fueron las siguientes:

Primera fase: caracterización de criterios específicos a considerar en los sistemas de inventarios de restaurantes, entre ellos costos de mermas, valores monetarios requeridos por rubros, ventas totales, entre otros.

Segunda fase: se realizó la toma de datos de todos los productos y se asignó categorías por familia o elementos común (requerimiento de almacenamiento y caducidad), con la finalidad de lograr facilitar elementos de agrupación para su control y reposición eficiente en el inventario.

Tercera fase: se desarrolló una base de datos, para los productos perecederos, no perecederos, manejado en el inventario y de los costos incurridos: costos unitarios de aprovisionamiento de producto, costos promedios de inventario, costos por pérdida de productos y costos de almacenamiento.

Cuarta fase: determinación del comportamiento de la demanda, se procedió aplicar la clasificación ABC, estableciendo diferentes categorías de productos, en función a los movimientos de salida para lo cual la clasificación A los de mayor frecuencia de demanda el lapso de un mes, a los fines de garantizar un análisis de comportamiento de la demanda para pronosticar el comportamiento futuro de las mismas.

Quinta fase: se realizó una clasificación de inventario con el método ABC, ajustada a los costos de adquisición de cada producto, permitiendo conocer que productos tienen mayores costos de aprovisionamiento dentro del restaurante, para los cuales se determinó el número óptimo de la cantidad a pedir y la frecuencia de solicitud de ordenes basado en el método económico o de pedido.

Sexta fase: se desarrolló una propuesta que involucra la implementación de un software, para el manejo y control de los productos, con énfasis en los perecederos, sus entradas (determinación de la cantidad y frecuencia de órdenes de pedido) y salida en el almacén, lo que garantiza el control y manejo actualizados de los productos bajo inventario. En la Tabla 1, que se presenta a continuación, se ilustran cada una de las fases de la metodología propuesta.

Tabla 1. Metodología empleada para el diseño del sistema de inventario.

Categoría	Descripción
Fase 1	Determinación de criterios para el sistema e inventarios
Fase 2	Categorización de los productos
Fase 3	Documentación de la base de datos de productos y costos
Fase 4	Determinación de la demanda de los productos
Fase 5	Clasificación de inventario con el método ABC
Fase 6	Implementación del uso del software <i>QM for Windows</i> disponible en línea

En esta investigación se empleó el método ABC, el cual es una técnica utilizada en la gestión de inventario que permite clasificar las categorías o clase del producto, permitiendo identificar qué productos son importantes. Se puede clasificar la mercancía en el almacén, ordenando ya sea por su valor o por la rotación del producto. Este método no toma en cuenta el volumen o la cantidad; lo importante es el aporte que este tiene en los restaurantes.

Se consideró el método FIFO a emplearse para garantizar la rotación de inventarios en el restaurante, debido a que en este método se contempla que los productos más antiguos se utilizados con prioridad, sobre los productos de adquisición más recientes, considerando que los primeros productos ingresados al inventario, como los primeros en ser agotados.

Finalmente, fue necesario identificar una herramienta informática que permita la gestión continua del inventario, determinándose que existe una amplia gama de software gratuitos y privativos que permiten llevar un control de los inventarios como se muestra en la Tabla 2. Por su adaptación, facilidad de manejo y gratuidad para el uso, se seleccionó el software *QM for Windows*, a los fines de que mediante su uso se pueda desarrollar un control adecuado de los inventarios del restaurante.

Tabla 2. Software para un inventario.

Software	Características
Streamline	Streamline de AssetLabs es una solución de gestión de activos de software y licencias que ayuda a las empresas de cualquier tamaño a optimizar los datos de soluciones de gestión, como SCCM y MS MAP. El software garantiza el cumplimiento de las normas ISO-19770
Inventario GG4	Este Sistema de Control de Inventarios pertenece al área de comercial de Planeta Office y es una buena herramienta para rentabilizar sus inventarios, puesto que permite llevar un preciso control de las entradas y salidas de mercadería desde y hacia las distintas bodegas de la empresa.
Sistema de Inventario en PHP	Este sistema de inventario ayuda en la gestión y control del inventario que se tiene en almacenamiento, con la finalidad de dar a conocer el stock final con el valor de ventas.
QM for Windows	Es un software de gestión de inventario y control de calidad que se utiliza para administrar y supervisar eficientemente el inventario de una empresa, controlar el flujo de existencias y optimizar los procesos de inventario.

Una vez realizada la valoración se encontró que las ventajas ofrecidas por el software QM for Windows presenta más ventaja para su empleo como herramienta para la gestión por contar con una amplia variedad de cálculos y representaciones mediante gráficos de las cantidad y costos a incurrirse con las diferentes políticas de manejo de inventarios a implementar.

3. RESULTADOS

Los restaurantes que cuentan con inventario desarrollados de forma empírica o según registros históricos de compras, generalmente no tienen un balance dinámico entre capacidad de producción y demanda por lo que carecen de una planificación que les permita hacerles frente a los cambios en las demandas de los clientes y en consecuencia de su satisfacción.

En la primera fase del análisis, fue necesario realizar la clasificación de productos semi elaborados, productos no perecederos, productos semi perecederos y productos perecederos, particularmente se evaluaron todas las materias primas necesarias para la totalidad de menú, para fines prácticos se presenta la Tabla 3 y Tabla 4, con el listado de productos clasificados como semi perecederos y perecederos.

Tabla 3. Inventario de productos semi perecederos.

Productos			
Champiñones	Salchicha	Zanahoria	Apio
Cilantro	Tocino	Nuggets	Tomate
Cebolla	Limón	Atún	Ajo
Piña	Pepino	Lechuga	Pan
Papa	Chile	Coco rayado	Maracuyá
Frejol	Lenteja	Chocolate	Aceituna
Tortilla de maíz	Levadura en polvo	Vino	Pimienta
Cerveza	Mantequilla	Mortadela	Queso en crema
Salchichón	Papas congeladas	Jamón de pavo	Salami
Jamón	Chorizo	longaniza	Pepperoni

Tabla 4. Inventario de productos perecederos.

Productos				
Carne de res	Carne de chanco	Carne de pollo	Camarones	Uva
Salmón	Queso	Leche	Pescado	Fresa
Pulpo	Yogur	Mango	Maíz	Aguacate
Banana	Huevo	Lomo de cerdo	Naranja	Tomate

Debido al gran volumen de productos empleados en el restaurante, fue necesario realizar una clasificación de productos semi elaborados, productos no perecederos, productos semi perecederos y productos perecederos, se utilizó la metodología ABC la cual fue necesaria para una mejor jerarquización, lo cual se ilustra en la Tabla 5, que se presenta a continuación:

Tabla 5. Desarrollo del método ABC.

Insumo A				
Carne de res	Carne de cerdo	Carne de pollo	Camarones	Pulpo
Pescado	Salmón	Naranja	Uva	Salchicha
Papa	Coco Rayado	Piña	Mango	Fresa
Tomate	Tocino	Maracuyá	Banana	Lechuga
Atún	Pepino	Chile	Leche	Aguacate
Pan	Champiñones	Limón	Huevos	Lomo de cerdo
Insumo B				
Miel	Frejol	Lenteja	Arroz	Chocolate
Tortilla de maíz	Salsa de chile	Cubo Maggie	Empanadas	Apanadura
Harina blanca	Levadura	Almendra	Nuez	Azúcar
Sal	Aceite de oliva	Aceite vegetal	Mantequilla	Queso
Yogur	Totopos	Salsa roja	Mole de pasta	Queso en crema
Salchichón	Salami	Chorizo	Longaniza	Mortadela
Papas congeladas	Nuggets	Jamón	Pepperoni	Limón
Jamón de pavo	Vegetales enlatados	Café	Vinagre	Cebolla
Insumo C				
Especias	Cilantro	Salsa de tomate	Mezcla de especias	Mayonesa
Esencias	Aceituna	Aguas	Refrescos	Cervezas
Vino	Pimiento	Café	Ajo	

El análisis ABC está representado por la categoría A donde se encuentran los productos de mayor porcentaje significativo del valor total del inventario. En la categoría B se encuentran los productos que estén representados con un porcentaje moderado al valor total de importancia del inventario. La categoría C está representada por los productos con un porcentaje pequeño de valor de importancia del inventario donde el control es más relajado en comparación de las categorías A y B.

Para realizar los cálculos fue necesario hacer la estimación del cálculo del mantenimiento estimándose en un 2 %. Esta organización labora 320 días (solo tienen 45 días al año que no laboran para efectuar labores de mantenimiento y limpieza de instalaciones). La demanda anual se obtuvo mediante la demanda diaria multiplicada por la cantidad de días laborales, el costo de orden de pedido igual a la suma del costo de procesamiento por orden y el costo de preparación de la orden, el costo de mantenimiento está establecido por la multiplicación de la tasa de mantenimiento y el costo total del inventario, el tiempo de espera se obtiene de la suma del tiempo de procesamiento del proveedor y el tiempo de transporte, tal como se presenta en la Tabla 6, que se describe a continuación:

Tabla 6. Productos perecederos.

Productos	Demanda anual	Costo de orden de pedido	Costo de mantenimiento	Costo unitario	Tiempo de espera
Carne de res	8000 lb.	\$ 32,00	\$ 3,00	\$ 2,00	4 días
Carne de chanco	7360 lb.	\$ 32,00	\$ 3,72	\$ 3,00	4 días
Carne de pollo	6720 lb.	\$ 32,00	\$ 1,94	\$ 1,35	3 días
Lomo de cerdo	9280 lb.	\$ 32,00	\$ 7,10	\$ 5,00	4 días
Camarones	7680 lb.	\$ 32,00	\$ 7,40	\$ 5,00	5 días
Salmon	6720 lb.	\$ 32,00	\$ 6,50	\$ 5,00	4 días
Queso	4800 lb.	\$ 28,00	\$ 1,51	\$ 2,10	5 días
Leche	3840 L	\$ 28,00	\$ 0,70	\$ 1,10	2 días
Pescado	6080 lb.	\$ 32,00	\$ 3,36	\$ 4,00	4 días
Pulpo	3520 lb.	\$ 30,00	\$ 1,70	\$ 2,50	5 días
Yogur	4160 u.	\$ 27,00	\$ 0,52	\$ 1,00	3 días
Mango	5120 u.	\$ 29,00	\$ 0,23	\$ 0,25	4 días
Maíz	7040 u.	\$ 29,00	\$ 0,25	\$ 0,30	4 días
Banana	5760 u.	\$ 29,00	\$ 0,07	\$ 0,10	2 días
Huevo	9920 u.	\$ 31,00	\$ 0,23	\$ 0,13	5 días
Naranja	4480 u.	\$ 30,00	\$ 0,09	\$ 0,08	4 días
Uva	3520 lb.	\$ 27,00	\$ 1,09	\$ 1,60	4 días
Fresa	3200 lb.	\$ 29,00	\$ 1,60	\$ 1,45	3 días
Aguacate	6080 u.	\$ 29,00	\$ 0,20	\$ 0,33	4 días
Tomate	6080 u.	\$ 28,00	\$ 0,17	\$ 0,20	3 días

Una vez determinados los datos de la demanda de todos los productos anuales, se procedió a determinar el costo orden de pedido, el costo de mantenimiento y el tiempo de espera, se procedió a diseñar el sistema documentado los datos en el software *QM for Windows* para calcular el punto de reordenar, lo cual se ilustra en la Figura 1, para el ejemplo del caso de la carne de res.

QM for Windows - [Data] Results			
Carne de Res Solution			
Parameter	Value	Parameter	Value
Demand rate(D)	8000	Optimal order quantity (Q*)	413.12
Setup/ordering cost(S)	32	Maximum Inventory Level (Imax)	413.12
Holding/carrying cost(H)	3	Average inventory	206.56
Unit cost	2	Orders per period (N)	19.36
Days per year (D/d)	320	Annual Setup cost	619.68
Daily demand rate	25	Annual Holding cost	619.68
Lead time (in days)	4	Total Inventory (Holding + Setup) Cost	1239.36
Safety stock	0	Unit costs (PD)	16000
		Total Cost (including units)	17239.36
		Reorder point	100 units

Figura 1. Documentación de la base de datos del software QM for Windows para el producto de carne de res.

Usando los datos estimados para los productos perecederos, y mediante el software QM for Windows se puede determinar la demanda diaria esperada para la carne de res, la cual es de 25 lb, la cantidad máxima de inventario a tener es de 413 lb, el inventario promedio es de 206 lb, el número de órdenes realizadas al año es de 19, los costos anuales de la carne de res son de \$ 619,68, los costos por mantener y ordenar al año son de \$ 129,36, los costos totales del inventario es de \$ 17.239,36 y el punto de reordenar es de 100 lb, lo cual significa que cada vez que se llega a este nivel se ordenara nuevamente.

Este sistema diseñado permite a su vez representar gráficamente los diferentes costos incurridos, en cada uno de los productos, siendo representados los costos totales de este inventario, costos de mantenimiento y costos de órdenes, tal como se presenta a continuación en la Figura 2.

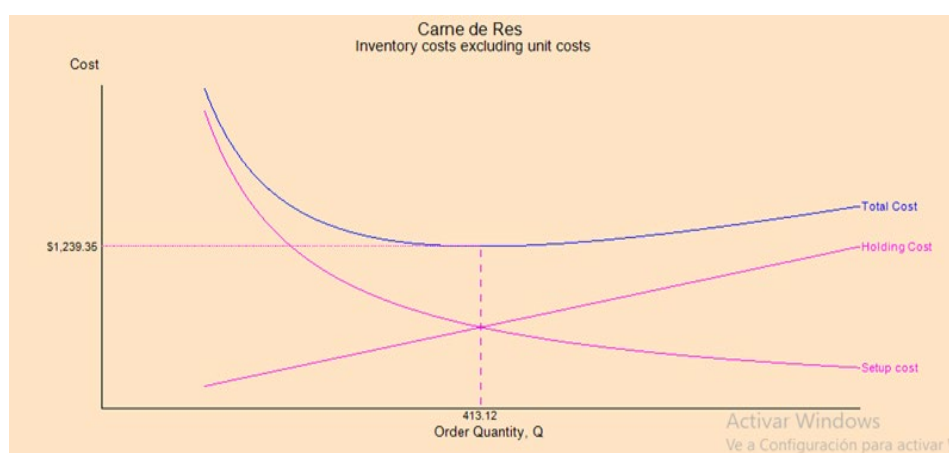


Figura 2. Curva de inventario.

Mediante la Figura 2 se puede observar, que mientras más grande sea el volumen del producto que se desea ordenar, menor costos se van a tener al ordenar. El equilibrio del inventario se obtiene a la 413 lb de carne de res con un valor de \$ 1.239,35.

Este mismo procedimiento se realizó para los todos los productos perecederos, lo cual se ilustra en la Tabla 7, como se presenta a continuación.

Tabla 7. Costo de inventario.

Productos	Max. Inventario	Costos por mantener y ordenar	Costos totales del inventario	Punto de reordenar
Carne de res	413 lb	\$ 1.939,36	\$ 17.239,36	100 lb
Carne de chanco	355 lb	\$ 1.323,73	\$ 23.403,73	92 lb
Carne de pollo	470 lb	\$ 913,43	\$ 9.985,43	63 lb
Lomo de cerdo	289 lb	\$ 2.053,49	\$ 48.453,49	116 lb
Camarones	257 lb	\$ 1.907,16	\$ 40.307,16	120 lb
Salmon	257 lb	\$ 1.671,98	\$ 35.271,98	84 lb
Queso	421 lb	\$ 637,09	\$ 10.717,09	75 lb
Leche	554 l	\$ 387,98	\$ 4.611,98	24 l
Pescado	340 lb	\$ 1.143,44	\$ 25.463,44	76 lb
Pulpo	352 lb	\$ 599,20	\$ 9.399,20	66 lb
Yogur	657 u	\$ 341,78	\$ 4.501,78	39 u
Mango	1,136 u	\$ 261,34	\$ 1.541,34	64 u
Maíz	1,278 u	\$ 319,50	\$ 2.431,50	88 u
Banana	2,184 u	\$ 152,92	\$ 728,92	54 u
Huevo	16,635 u	\$ 376,11	\$ 1.665,71	62 u
Naranja	1,728 u	\$ 155,54	\$ 513,94	56 u
Uva	417 lb	\$ 455,18	\$ 6.087,18	44 u
Fresa	340 lb	\$ 544,94	\$ 5.184,94	30 lb
Aguacate	1,327 u	\$ 265,57	\$ 2.271,97	76 u
Tomate	1,415 u	\$ 240,59	\$ 1.456,59	57 u

Una vez determinados los costos del inventario y los puntos de reorden de los productos perecederos, se utiliza el software for Windows para obtener de forma análoga los costos de los productos semi perecederos y no perecederos, siendo la contabilización del resultado de los costos totales del inventario de los productos perecederos, semi perecederos y no perecederos, los que se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Costos de inventarios del restaurante.

	Costo total del inventario
Productos perecederos	\$ 251.236,73
Productos semi perecederos	\$ 376.345,80
Productos no perecederos	\$ 98.578,69
Costos totales de inventarios	\$ 726.161,22

Los resultados obtenidos con el uso del software, permitieron determinar para todos los productos perecederos, semi perecederos y no perecederos, los montos máximos de inversión en cada rotación mensual de inventario en el restaurante, así como los puntos de reorden para evitar desabastecimiento, que generen insatisfacción en la oferta de todos los platos del menú, a la vez que generan disminuciones considerables en las mermas por deterioro de productos.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de este estudio subrayan la relevancia de un sistema de gestión en el sector de la hostelería, específicamente en los resultados. Se ha evidenciado que un sistema de gestión puede disminuir de una forma considerable los costos asociados de la adquisición y el mantenimiento, así como los costos que estén vinculados a la falta de inventario.

Un estudio realizado por Tananta [22], resaltó la relevancia de un sistema de gestión de inventario, evidenciando su eficacia al adaptarse a las necesidades específicas de un restaurante. No obstante, nuestro estudio va más allá, introduciendo innovadores enfoques que podrían optimizar el control de inventario en este contexto. Estos nuevos métodos no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también pueden conducir a una mayor rentabilidad y satisfacción del cliente, subrayando la importancia de una gestión de inventario efectiva y adaptada en el sector de la restauración.

Nuestro estudio, aunque se centra en el seguimiento y manejo de inventarios utilizando el software informático *QM for Windows*, reconoce que esta solución tiene sus limitaciones, ya que solo se consideraron las materias primas. Sin embargo, nuestra investigación destaca varias implicaciones positivas y posibles soluciones para un control de inventario adecuado. Por ejemplo, la implementación de un sistema de gestión de inventario integral puede mejorar la eficiencia operativa, reducir el desperdicio y, en última instancia, aumentar la rentabilidad. Además, la adaptación de las estrategias de gestión de inventario a las necesidades específicas de cada restaurante puede resultar en un servicio al cliente mejorado y una mayor satisfacción del cliente.

5. CONCLUSIONES

El diseño de un sistema para el manejo correcto de los inventarios, es un elemento crucial para el buen funcionamiento de un restaurante, siendo el seguimiento y supervisión del inventario un elemento dinámico en este tipo de gestión, por lo que facilita disponer de la información en tiempo real y la automatización de procesos de compras, lo que permite garantizar que los niveles de inventario sean más precisos, reduciendo el riesgo de exceso o costo de ruptura de inventario y de incurrir en pérdidas económicas por alimentos perecederos.

Existen diferentes métodos que son de utilidad para el diseño de sistemas de inventarios de restaurantes, entre ellos el método ABC de clasificación de materias primas en función de su valor del producto, lo cual permite llevar una estratificación en la rigurosidad del seguimiento que debe darse al producto.

Actualmente, por la variedad de rubros de materias primas requeridas para brindar un adecuado servicio al cliente, se hace necesario contar con sistemas informáticos para el manejo de inventarios, permitiendo un seguimiento continuo, estos sistemas no sustituyen la necesidad de efectuar cotejo físico dada la naturaleza perecedera de algunos rubros, así como la capacidad de mermas por razones organolépticas. Estos sistemas informáticos permiten una disminución de costos de órdenes, en los costos de mantenimiento de inventarios y una mayor satisfacción en las demandas de los clientes.

Este estudio proporciona una base sólida para futuras investigaciones en el campo de la gestión de inventarios en la industria de la restauración. Un área de interés podría ser la

exploración de los costos indirectos y de mano de obra asociados con la gestión de inventarios. Además, la implementación de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial, en la gestión de inventarios representa un campo de investigación prometedor. Estas tecnologías podrían utilizarse para mejorar la precisión en la predicción de la demanda y optimizar los niveles de inventario.

REFERENCIAS

- [1] M. Restrepo, C. Chamorro, y D. Carvajal, “El control interno de los inventarios: su incidencia en la gestión financiera de Due Amici Pizzería”, *Revista Activos*, vol. 18, no. 2, pp. 137-163, jul. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.15332/25005278/6264>.
- [2] N. Zapata, M. Quiroz, J. López, O. Patiño, y J. Valencia, “Tendencias en producción científica en el uso del Internet de las Cosas en servicios de restaurantes. Un enfoque bibliométrico”, *Revista En-contexto*, vol. 10, no. 17, pp. 2346-3279, jul. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.53995/23463279.1166>.
- [3] M. Castillo, “Manual en gestión de Inventarios para el restaurante el Carbonero Balcón, Loja – Ecuador”, Tesis de maestría, Universidad Tecnológica Israel, Loja- Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://docplayer.es/228235832-Universidad-tecnologica-israel.html>.
- [4] C. Caicedo y E. Zambrano, “Gestión de la rentabilidad económica en restaurantes del cantón Chone, Ecuador”, *Episteme*, vol. 10, no. 2, pp. 261-273, abr. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.61154/rue.v10i2.2907>.
- [5] H. Bolaños y E. Gallegos, “Control de inventarios y rentabilidad de la empresa Hormigones San Francisco”, Tesis de grado, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/ua5dd>.
- [6] M. Bernal y T. Brayam, “Propuesta de un modelo para el cálculo del nivel óptimo de inventario en compras de materias primas e insumos, para un Restaurante de Bucaramanga, Santander”, *Revista HAL open Science*, vol. 4, no. 11, pp. 23-45, jul. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://hal.science/hal-03273173/document>.
- [7] J. Loja, “Propuesta de un sistema de gestión de inventario para la empresa Femarpe CÍA. LTDA”, Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7805>.
- [8] N. Imbaquingo y X. García, “El control interno en la gestión de inventarios para la empresa Japón, Auto”, *Revista Ciencias Sociales y Económicas – UTEQ*, vol. 3, no. 1, pp. 58-72, jun. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18779/csye.v3i1.282>.
- [9] J. Centeno, “Desarrollo de un sistema Web para control de Inventarios para el restaurante de comidas rápidas el Bro”, Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil-Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/r7doc>.
- [10] Y. Ceballos, S. Penagos, V. García y M. Munera, “Modelo de simulación discreta para evaluar políticas de inventario en un restaurante especializado” *Aibi Revista de Investigación*, vol. 10, no. 1, pp. 85-92, jul. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.15649/2346030X.2745>.
- [11] D. Corrales y S. Huamanguillas, “El control de inventarios y su incidencia en la rentabilidad de las empresas del sector ferretero, distrito Mariano Melgar-Arequipa, 2018,” Tesis de grado, Universidad Tecnológica del Perú, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/1802>.

- [12] L. Idrogo, E. Guitierrez, W. Quiroz, y P. Ruiz, “Mejora de la gestión de compras para reducir los costos de aprovisionamiento en la empresa Encoservice E.I.R.L”, *Revista INGnosis*, vol. 1, no 1, pp. 57-74, dic. 2015. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18050/ingnosis.v1i1.1947>.
- [13] Y. Daza “Propuesta de control de inventarios del restaurante Dados Pizza & Parrilla”, Tesis de grado, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bello-Colombia, 2021. [En línea]. Disponible en: https://lc.cx/0XS_me.
- [14] L. Quispe y E. Dávila, “Diseño de un sistema de gestión de abastecimiento para reducir pérdidas por mermas de inventario en una empresa panificadora”, Tesis de grado, Universidad Privada del Norte, Cajamarca-Perú, 2020. [En línea]. Disponible en: https://lc.cx/lAfn_v.
- [15] G. Torres, “El deterioro de los inventarios y la disminución de la utilidad neta en las empresas industriales del Perú”, *Revista Espacios*, vol. 42, no. 14, pp. 1-17, jul. 2021. [En línea]. Disponible en: [10.48082/espacios-a21v42n14p01](https://doi.org/10.48082/espacios-a21v42n14p01).
- [16] D. Tanguila, “Análisis al control de inventario aplicado al restaurante de comidas típicas ‘lumu’ en el barrio 13 de abril, cantón archidona”, Proyecto integrador, Instituto Superior Tecnológico Tena, Tena- Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositoriodigital.itstena.edu.ec:8080/jspui/handle/123456789/76>.
- [17] J. García y J. Jacome, “Implementación de un sistema de control de inventarios y costos para una franquicia de restaurantes en la ciudad de Guayaquil”, Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/50895>.
- [18] E. Manzo, B. Fernández, M. Font, y G. Álvaro, “Sistemas de control y seguridad alimentaria en los restaurantes del Parque del Marisco de la ciudad de Manta,” *Revista RECUS*, vol. 6, no. 3, pp. 64-73, dic. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.33936/recus.v6i3.3648>.
- [19] D. Quezada y N. Nájera, “Desbalance entre costo del inventario y nivel de servicio de producto terminado,” *Revista INNOVA Research Journal*, vol. 5, no. 3.1, pp. 329–346, nov. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.33890/innova.v5.n3.1.2020.1542>.
- [20] H. Samaniego, “Un Modelo para el control de inventarios utilizando dinámica de sistemas”, *Revista Internacional de Administración*, no. 6, pp. 134-154, feb. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.32719/25506641.2019.6.6>.
- [21] C. Martínez y D. Rodríguez, “Inventario de atractivos turísticos a nivel municipal,” *Revista Boliviana de Administración*, vol. 2, no. 2, pp. 83-94, jul. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.33996/reba.v2i4.4>.
- [22] C. Flores, J. Arévalo, J. Pérez, y J. Escalante, “Gestión del inventario y el rendimiento financiero en las empresas automotrices, Tarapoto”, *Ciencia Latina*, vol. 6, no. 1, pp. 2007-2027, feb. 2022. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1631.



Condiciones y segmentos de la transportación en las Galápagos: estado actual de la electromovilidad y oportunidades

(Conditions and Segments of Transportation in Galapagos Islands: Current State of Electromobility and Opportunities)

Danny Ochoa-Correa, Rodrigo Sempértegui-Álvarez
Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador
danny.ochoac@ucuenca.edu.ec, rodrigo.sempertegui@ucuenca.edu.ec

Resumen: Las islas Galápagos, reconocidas como un tesoro de biodiversidad y símbolo global de conservación, enfrentan amenazas significativas, principalmente debido al turismo y al transporte basado en combustibles fósiles. La transición hacia un sistema de transporte más sostenible y ecológico se vuelve esencial para preservar este ecosistema único. Este artículo tiene por objeto identificar nichos específicos donde pueden implementarse eficazmente iniciativas orientadas hacia un nuevo modelo de transportación terrestre y marítima eficiente y amigable con el medioambiente. La obtención de datos cruciales para esta investigación se logró mediante colaboraciones estratégicas con entidades gubernamentales ecuatorianas y la recopilación de información en el terreno realizada por el equipo de investigación. Los datos presentados en este artículo no solo proporcionan una visión detallada de las condiciones y segmentos del transporte en las islas, sino que también aspiran a ser un semillero de oportunidades. Se busca que otros investigadores y profesionales del transporte encuentren inspiración y una fuente de consulta para desarrollar e implementar iniciativas específicas en el ámbito de la electromovilidad.

Palabras clave: electromovilidad, energía, entornos insulares, sostenibilidad, transporte.

Abstract: The Galapagos islands, recognized as a biodiversity treasure and a global symbol of conservation, face significant threats primarily due to tourism and fossil fuel-based transportation. The transition to a more sustainable and ecological transportation system becomes essential to preserve this unique ecosystem. This article aims to identify specific niches where initiatives geared towards a new model of efficient and environmentally friendly land and maritime transportation can be effectively implemented. Crucial data for this research were obtained through strategic collaborations with Ecuadorian government entities and on-site information gathering conducted by the research team. The data presented in this article provide a detailed insight into the conditions and segments of transportation on the islands, and it aspires to be a seedbed of opportunities. The goal is to inspire other researchers and transportation professionals, serving as a source of inspiration and reference for developing and implementing specific initiatives in the field of electromobility.

Keywords: electromobility, energy, island environments, sustainability, transportation.

1. INTRODUCCIÓN

El archipiélago de Galápagos es una de las provincias que forma parte de la Coordinación Zonal 5 de zonificación y planificación territorial ecuatoriana. Las islas en conjunto cuentan con una extensión de superficie de 8.010 km², a una distancia de 970 km aproximadamente desde las costas continentales del Ecuador. La población en el año 2021 bordeaba los 33.042 habitantes, distribuidos en las islas Santa Cruz, San Cristóbal, Isabela y Floreana; el archipiélago se encuentra dentro de una reserva marina de 193.000 km² lo que lo ubica entre las reservas marinas más grandes del mundo [1], [2].

Administrativamente la provincia de Galápagos está agrupada en 3 cantones: San Cristóbal (Capital Provincial), Isabela (cantón más extenso) y Santa Cruz. Este último es el principal polo de desarrollo poblacional y zona económica (ver Figura 1).



Figura 1. División territorial a nivel cantonal de las islas Galápagos.

Las islas Galápagos con su atractivo natural y su vida silvestre única, se las considera como un lugar turístico particular a nivel mundial [3]. Es, por ende, muy importante mantener un desarrollo permanente del sector turístico, ya que el ingreso económico que se genera por esta actividad permite impulsar la economía de todo su territorio, el desarrollo local y atención territorial. No obstante, este enfoque también plantea desafíos ambientales, ya que los proyectos turísticos promovidos en los últimos años han generado preocupaciones relacionadas con la contaminación provocada por los turistas, la contaminación acústica y la posible introducción de especies invasoras que amenazan la flora y fauna autóctonas de la zona [4], [5].

Además, en el marco de la pandemia mundial debido a la pandemia de COVID-19, se ha desatado una crisis económica, social y sanitaria, la misma que ha representado un cambio al estilo de vida de toda la población y, por ende, la actividad de movilización y turismo desde dentro y fuera del país hacia las islas, es uno de los sectores que más se ha afectado drásticamente y representa además una reducción en el desplazamiento y un cambio significativo en los patrones de movilidad en todo el mundo [6], [7], [8]. Durante los diversos periodos de confinamiento y las restricciones impuestas, se pudo observar una notable disminución en los niveles de contaminación, lo que repercutió de manera beneficiosa en la calidad del aire. El sector del transporte, tanto de carga como de pasajeros, experimentó reducciones significativas en sus impactos ambientales. Las imágenes que se difundieron en las redes sociales, provenientes de diversas ciudades a nivel nacional e internacional, no solo retrataron urbes desprovistas de su población, sino también un cambio en el comportamiento de la vida silvestre, con animales que, de manera sorprendente, se aventuraron a moverse con comodidad incluso en medio de las zonas urbanas densamente pobladas [9].

En vista de estas preocupantes señales, resulta imperativo desarrollar un plan de movilidad altamente eficiente y un sistema de transporte terrestre y marítimo sostenible en las islas Galápagos, que también garantice una adecuada interconexión con las demás islas del archipiélago. Dado que el sector del transporte desempeña un papel de gran relevancia tanto en la

esfera económica como en la ecológica, es esencial señalar que la principal fuente de energía en este ámbito se basa en el uso de combustibles fósiles. Estos combustibles, responsables del 48,5% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el sector energético a nivel nacional [10].

El cambio hacia la electromovilidad en las islas Galápagos se presenta como esencial para reducir la dependencia de combustibles fósiles, evitando riesgos de desastres ambientales como el del buque "Jessica". Este incidente, ocurrido en enero de 2001, involucró el encallamiento del buque, que transportaba 600 toneladas de diésel y 300 toneladas de aceite combustible. El derrame resultante de 175.000 galones de diésel y fuel oil tuvo impactos devastadores en la biodiversidad de las islas, afectando a animales marinos y aves [11]. Al adoptar vehículos eléctricos, se minimiza la necesidad de transportar combustibles contaminantes hacia las islas, disminuyendo los peligros de derrames y protegiendo su frágil ecosistema.

Varios sistemas insulares a nivel mundial han logrado implementar exitosamente la electromovilidad como parte integral de sus estrategias para abordar desafíos ambientales y energéticos. Ejemplos notables incluyen Hawái, que ha avanzado en la integración de vehículos eléctricos y estaciones de carga para reducir su dependencia de los combustibles fósiles [12]. La isla de Man en el Reino Unido ha adoptado iniciativas de electromovilidad [13], al igual que diversas islas en Nueva Zelanda, como la isla Norte [14]. Islandia, con una matriz energética basada en fuentes renovables, ha liderado esfuerzos para una movilidad más sostenible [15], mientras que Gotland en Suecia ha implementado programas exitosos para fomentar el uso de vehículos eléctricos y desarrollar una infraestructura de carga eficiente [16].

Impulsando iniciativas contundentes para fomentar el uso de medios de electromovilidad en las islas Galápagos, se podría avanzar hacia la descarbonización del sector del transporte, con el propósito de reducir tanto las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como otros contaminantes, disminuir la dependencia de combustibles fósiles y aumentar la eficiencia del sistema de transporte [17], [18].

Según datos a nivel nacional se tiene que, en 2018, el transporte de carga pesada representó el 46,8 % del total de emisiones de GEI del sector transporte, seguido por el transporte de carga liviana (20,8 %), los autos y vehículos utilitarios (Sport utility vehicle, SUV por sus siglas en inglés) (17,3 %), taxis y buses (7,8 %) y otros (1,7 %) [19]. En medio de la grave crisis climática, las ciudades han comenzado a reconsiderar la vital importancia de la revitalización del espacio público y la consecución de sistemas de movilidad urbana que estén libres de emisiones. Este cambio de enfoque busca la creación de entornos urbanos más limpios y conectados, en los cuales la movilidad eléctrica desempeña un papel central [20]. La descarbonización gradual de los sistemas energéticos, junto con la electrificación del transporte, se presenta como una oportunidad para una recuperación sostenible ante la crisis económica y sanitaria que dejó la pandemia de COVID-19 [7], [20]. Esto permitiría una reactivación alineada con el Acuerdo de París e impulsaría el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en los que se considera como una de sus metas: “de aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo” [21].

En este sentido, el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016 - 2035 se destaca como un “instrumento de política pública que busca mejorar los hábitos de consumo energético, mediante la incorporación de la eficiencia energética en los sectores relacionados con la provisión y uso de la energía” [22]. El plan establece una serie de medidas para alcanzar el objetivo de reducir el consumo energético del sector en 340 Millones de Barriles Equivalentes de Petróleo (MBEP) vs. una línea base de escenario *business-as-usual*. Entre las medidas propuestas se incluyen:

- Desarrollar etiquetado de rendimiento energético para vehículos nuevos.
- Mejora de infraestructura de transporte.
- Capacitaciones técnicas de conducción eficiente.
- Sustitución parcial de combustibles fósiles por biocombustibles.
- Incorporación de vehículos híbridos, eléctricos y de nuevas tecnologías que se comercialicen en el futuro.
- Se incluye un eje Galápagos en el cual se incorporan medidas específicas para las islas, considerando su contexto y necesidades particulares.

La implementación de estas medidas se anticipa que resultará en ahorros energéticos significativos, con un enfoque particular en la promoción de la movilidad sostenible.

Enmarcado en este contexto, este artículo presenta un estudio de las condiciones y segmentos de la transportación en la provincia de Galápagos, enfocado en la electromovilidad, con el objeto de identificar aquellos nichos en los cuales se puedan implementar, de forma efectiva, iniciativas orientadas al cambio de paradigma en el sector de transportación terrestre y marino hacia un modelo sostenible, ecológico y eficiente. Los insumos necesarios para la realización de esta investigación se obtuvieron a través de acuerdos de colaboración con diversas entidades gubernamentales ecuatorianas y a través de la recopilación de información en el terreno realizada por el equipo de investigación.

2. METODOLOGÍA

En esta sección se ofrece una revisión del estado actual del sector del transporte en la provincia de Galápagos. La descripción que se presenta en las diversas subsecciones se ha desarrollado a partir de datos primarios facilitados por varias entidades gubernamentales ecuatorianas y, en menor medida, por organizaciones internacionales vinculadas al ámbito del transporte. Cabe señalar que la información proporcionada por los organismos estatales no está alojada en un solo portal o informe, por lo que obedece a distintos rangos temporales. Ante esta diversidad de fuentes, el equipo de investigación ha dedicado esfuerzos para sistematizar y organizar la información de manera coherente, como se ilustra en el diagrama de Gantt presentado en la Figura 2.

2.1. Transporte aéreo

Las islas Galápagos están conectadas al continente ecuatoriano exclusivamente a través de medios aéreos y marítimos. En cuanto al tráfico aéreo, las islas cuentan con infraestructura controlada por la Dirección General de Aviación Civil. Para facilitar la conectividad entre Galápagos y el continente ecuatoriano, se utilizan los aeropuertos de Baltra (Seymour) y el aeropuerto de San Cristóbal. El aeropuerto de la isla Isabela se destina principalmente al tráfico aéreo entre las islas mencionadas anteriormente. La Tabla 1 muestra la distribución de vuelos procedentes del continente ecuatoriano durante el período de 2011 a 2018. Estos registros de vuelos permiten transportar un promedio de 110 pasajeros por vuelo a Baltra y 100 hacia San Cristóbal. Además, la Tabla 2 proporciona detalles sobre la cantidad de pasajeros transportados hacia las islas desde el continente ecuatoriano. La información proporcionada en las Tablas 1 y 2 fueron recopiladas en campo en las dependencias del Ministerio de Transporte y Obras Públicas – MTOP, cantón Puerto Baquerizo Moreno, Galápagos.

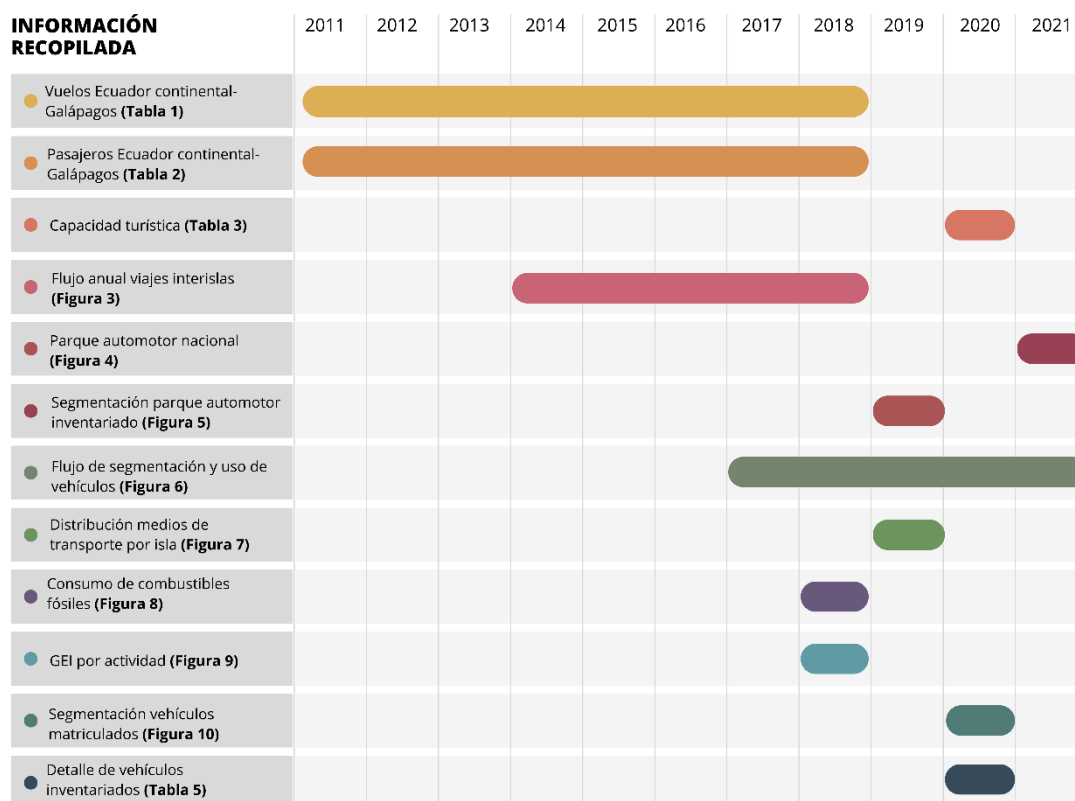


Figura 2. Línea de tiempo de la información recopilada de los organismos gubernamentales.

Tabla 1. Vuelos provenientes desde Ecuador continental con destino Galápagos.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Vuelos con destino: Baltra	1.625	1.589	1.760	1.700	2.024	2.074	2.112	2.264
Vuelos con destino: San Cristóbal	591	646	795	785	759	768	746	832
Total	2.216	2.235	2.555	2.485	2.783	2.842	2.858	3.096

Tabla 2. Pasajeros provenientes de Ecuador continental con destino Galápagos.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Vuelos con destino: Baltra	177.860	169.393	183.488	194.851	215.016	220.315	249.608	262.647
Vuelos con destino: San Cristóbal	56.952	63.135	76.114	77.794	74.087	73.039	82.295	91.983
Total	234.812	232.528	259.602	272.645	289.103	293.354	331.903	354.630

2.2. Transporte marítimo

La llegada de turistas hacia las islas Galápagos tiene un impacto significativo en la revitalización de la economía local, que se encuentra fuertemente influenciada por el sector turístico. Esta participación activa en la movilidad hacia las islas contribuye en gran medida a la estimulación de la economía interna. La Tabla 3 presenta información detallada sobre la capacidad turística de cada isla en el año 2020, la cual fue consultada en el Consejo de Gobierno

de Régimen Especial de Galápagos – CGREG. El análisis de las cifras de esta tabla pone en evidencia que el turismo desempeña un papel fundamental en la sustentabilidad económica de la región.

Tabla 3. Detalle de la capacidad turística de las islas Galápagos para el año 2020.

Actividad		San Cristóbal	Floreana	Isabela	Santa Cruz	Total
Alojamientos		76	10	70	156	312
Agencia de viajes		56	1	51	130	238
Alimentos y bebidas		32	6	38	54	130
Embarcaciones sin pernoctación (ESP)		32	0	23	55	110
Embarcaciones con pernoctación (ECP)		18	0	2	56	76
Transporte terrestre		3	0	1	4	8
Total		217	17	185	455	874

El sector turístico de Galápagos requiere el desplazamiento entre islas. Como dato referencial, en el año 2018 se registraron 310.874 pasajeros movilizados entre islas, a través de 15.263 viajes, según la publicación del Observatorio de Turismo Galápagos “Estadísticas Turismo Galápagos 2018”. El informe refleja que, entre los años 2017 y 2018 hubo un incremento del 14 % en el desplazamiento entre islas respecto al de años anteriores. Según los datos publicados por esta misma fuente, en el informe estadístico se indica que en promedio en Galápagos se realizaban 46 viajes de pasajeros en lancha diarios, de los cuales 26 lanchas zarpan desde o hacia Isabela, 16 zarpan desde o hacia San Cristóbal y 4 zarpan desde o hacia Floreana.

Además de las lanchas que se emplean para el transporte interislas, existen embarcaciones que ofrecen servicio de crucero y pernoctación. Esto representa unas 1.788 plazas disponibles según los datos del “Informe de Capacidad Instalada Galápagos 2020”, que son ofertadas a los turistas mediante las agencias de viajes. En los últimos años, previo a la presencia del COVID-19 se considera que hubo un crecimiento en estas dos actividades. En la Figura 3 se muestra el flujo de viajes interislas para el periodo 2014-2018, el cual ha sido elaborado por el equipo investigador en base a la información bruta proporcionada por el Ministerio de Turismo y las entidades locales del Parque Nacional Galápagos.

Cabe indicar, que todos estos pasajeros son transportados y desplazados entre islas empleando los diferentes puertos o muelles de pasajeros que, en el caso de Galápagos, son administrados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) Municipales. Únicamente en el caso de la isla Floreana, el muelle Rolf Wittmer es administrado por un GAD Parroquial. En la Tabla 4 se muestra la infraestructura disponible para pasajeros y carga toda la provincia de Galápagos, según la información recabada en el Consejo de Gobierno de Régimen Especial de Galápagos – CGREG. Los muelles de Puerto Ayora, Puerto Baquerizo Moreno y del Puerto de Seymour están destinados únicamente para embarque y desembarque de pasajeros. El muelle de Puerto Villamil se encuentra junto al muelle de carga, lo que genera aglomeraciones cuando se realizan las dos

operaciones al mismo tiempo. Asimismo, el muelle de Puerto Velasco Ibarra se usa tanto para embarque y desembarque de carga y pasajeros.

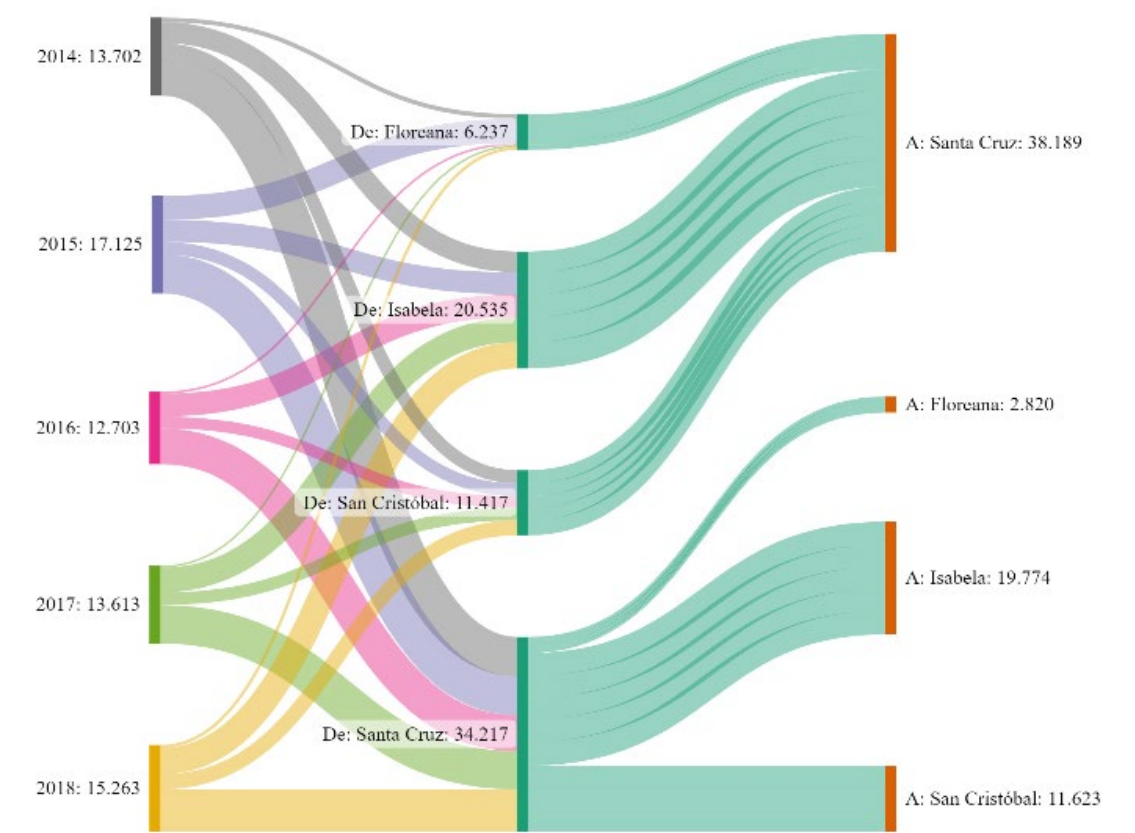


Figura 3. Flujo anual acumulado de viajes interislas en Galápagos.

Tabla 4. Detalle de puertos disponibles para el transporte interislas.

Locación	 Pasajeros/Turismo	 Carga
Puerto Baquerizo Moreno (San Cristóbal)	Muelle Acuario	Muelle Jesús de los Mares Muelle de La Predial
Puerto Velasco Ibarra (San Cristóbal)	Muelle Rolf Wittmer	Muelle Rolf Wittmer
Puerto Villamil (Isabela)	Marina de fibras (Junto al muelle El Embarcadero)	Muelle El Embarcadero
Puerto Ayora (Santa Cruz)	Muelle Gus Angermeyer	Muelle municipal de carga de Puerto Ayora
Santa Rosa (Santa Cruz)		Canal de Itabaca
Puerto Seymour - Baltra (Santa Cruz)	Muelle Seymour	

El Plan Galápagos 2016 desarrollado por el Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos (CGREG) indica que ninguno de estos muelles de carga cuenta con un plan de manejo ambiental que minimice o mitigue el impacto de las operaciones de estas instalaciones portuarias. Tampoco cuentan con ningún tipo de seguridad industrial, ya que estas terminales se utilizan para abastecer de combustible a buques pequeños, además de las operaciones de carga y descarga de mercancías.

2.3. Transporte terrestre

En las islas Galápagos, de acuerdo a la información aportada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas para la construcción del Plan de Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Régimen Especial de Galápagos 2015-2020 (Plan Galápagos 2016), elaborado por el CGREG, se indica que en toda la provincia existe un total de 376,11 km de vías terrestres, divididas en 81,83 km en las zonas urbanas, 294,28 km en el área rural; componiéndose en la ruralidad de 76,2 km de vías de primer orden, 41,48 km de vías de segundo orden y 176,67 km de caminos vecinales y vías de tercer orden.

Por su parte, el parque automotor registrado mediante el sistema de matriculación vehicular en las islas Galápagos representa el 0,064 % del conglomerado nacional matriculado; en el caso de domiciliado, es el 0,09 %. Esto según los registros de la Agencia Nacional de Tránsito - ANT. En total, la provincia de Galápagos cuenta con 1.603 vehículos matriculados y 2.276 registrados con domicilio en la provincia para el año 2021, colocándola en la posición 24 de 24 en la escala nacional. La tasa de vehículos matriculados en las islas Galápagos se sitúa en una distribución de 49 vehículos por cada mil habitantes, mientras que la tasa de vehículos domiciliados en las islas asciende a 69 vehículos por cada 1.000 habitantes. Estos dos indicadores se calculan teniendo en cuenta exclusivamente la población de residentes permanentes en las islas Galápagos proyectada para el año 2020, la cual se estima en 33.042 habitantes. La Figura 4 ofrece una comparativa a nivel nacional para un análisis más completo de estas tasas. Estos datos reflejan la importancia del transporte terrestre en las islas y su relación con la densidad de población, lo que puede influir en los retos y oportunidades del sector del transporte.

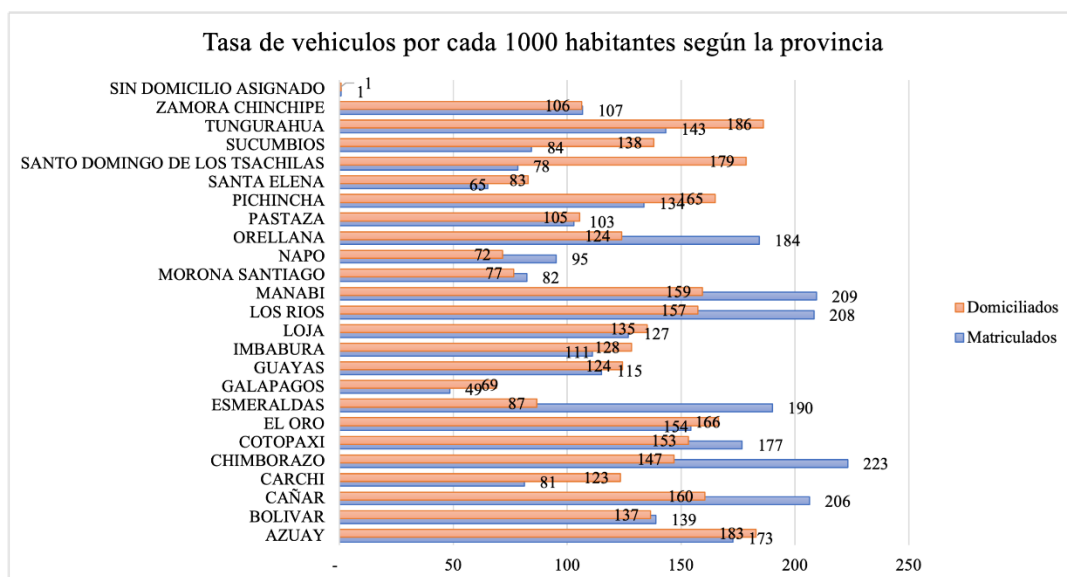


Figura 4. Situación del parque automotor ecuatoriano por cada mil habitantes, detallada por provincia en el año 2021.

En el año 2019, con el propósito de crear un inventario de vehículos completo en las islas Galápagos y combatir el subregistro y el ingreso fraudulento de vehículos, el CGREG y la ANT llevaron a cabo un censo vehicular que permitió el registro de 4.536 unidades. De este registro,

se determinó que el tipo de vehículo más frecuente en el archipiélago es la motocicleta, representando un 57,63 % del total, mientras que los vehículos menos comunes se agrupan en la categoría "OTROS," con un 0,11 %. Esta categoría engloba una variedad de vehículos, incluyendo tanqueros, volquetas, buggies y tráileres. La Figura 5 presenta la distribución de la composición vehicular en Galápagos. Esta revela una composición diversa del parque vehicular con un notable 58 % de los vehículos censados siendo motocicletas, seguido por el 22 % de camionetas de uso mixto, el 5 % de vehículos particulares SUV y otro 5 % de camiones, se destaca la predominancia de estos medios de transporte en las islas. Esta distribución presenta oportunidades significativas para la implementación de estrategias de micromovilidad y movilidad eléctrica en el archipiélago. Dada la alta proporción de motocicletas, la introducción de opciones de movilidad eléctrica en este segmento podría ofrecer una solución eficiente y sostenible. Además, considerando el uso mixto de camionetas, la transición hacia vehículos eléctricos en este sector podría no solo reducir las emisiones sino también contribuir a la movilidad más eficiente y sostenible, alineándose con los objetivos de conservación ambiental de las islas Galápagos. Complementariamente, la Figura 6, que representa el flujo de segmentación de matriculación en Galápagos por cantón y tipo de uso entre los años 2017 y 2021, ofrece una visión reveladora de la distribución y evolución de los vehículos matriculados en el archipiélago. Destaca la concentración de registros en tres islas principales: Santa Cruz, San Cristóbal y, en menor medida, Isabela. A lo largo del periodo analizado, se observa un aumento constante en la incorporación de nuevos vehículos en las islas. Notablemente, el 75 % de estos vehículos se destinan principalmente a uso particular, mientras que el 18 % se emplea para transporte público y el restante 7 % se asigna a entidades gubernamentales. Ambas gráficas han sido elaboradas por el equipo de investigación basándose en la información primaria recopilada. Estos datos resultan esenciales para entender la estructura vehicular en las islas Galápagos y planificar políticas de transporte adecuadas.

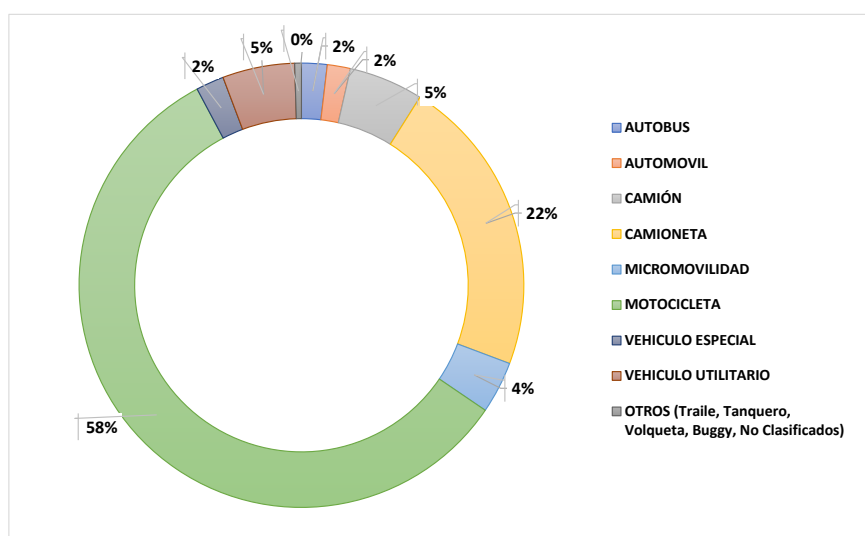


Figura 5. Segmentación del parque automotor inventariado durante el Censo Vehicular CGREG-ANT 2019.

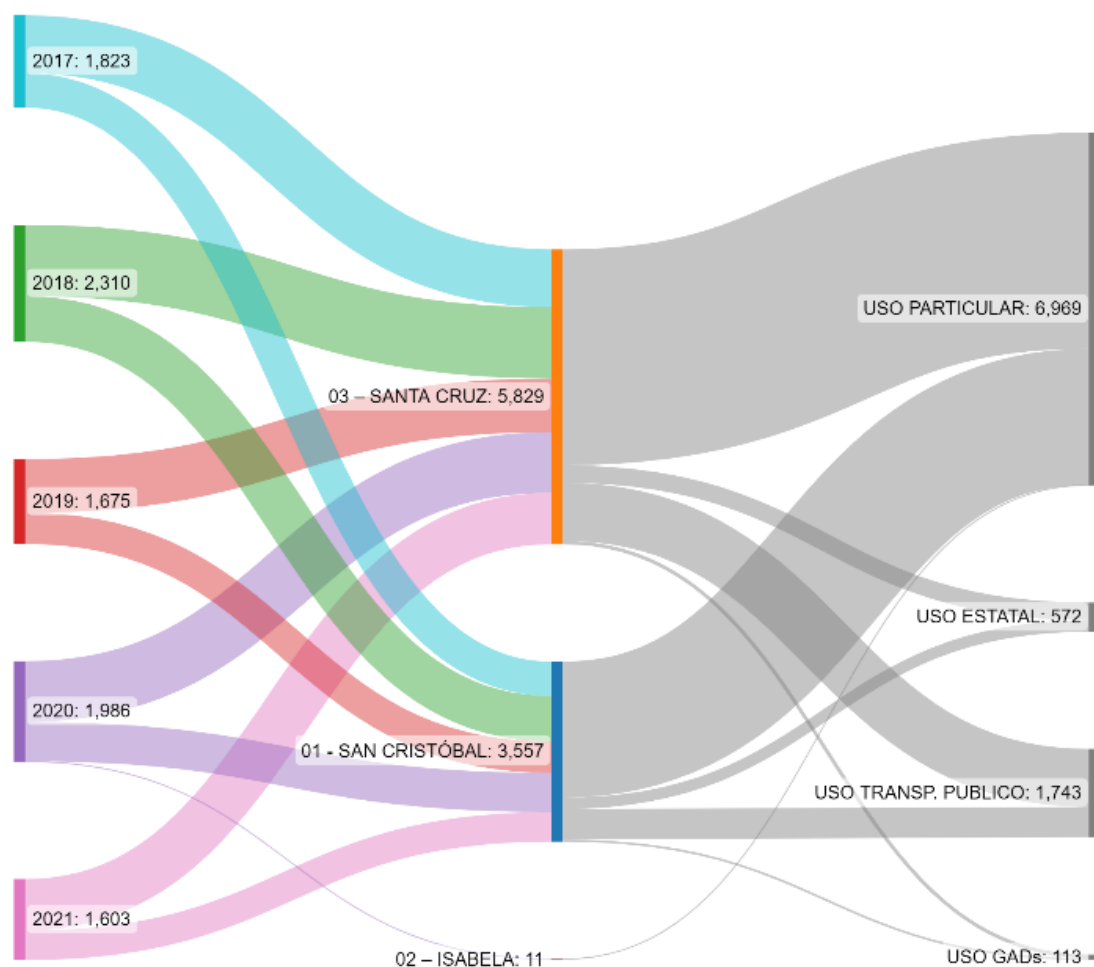


Figura 6. Flujo de segmentación de matriculación en Galápagos por cantón y tipo de uso en el periodo 2017-2021.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Condiciones de movilidad interna en Galápagos

Conforme al Plan Galápagos 2020-2030, en lo que respecta a la movilidad dentro de los centros poblados de las islas, se destaca que los principales medios de desplazamiento son los no motorizados, tales como la bicicleta o simplemente caminar. En San Cristóbal, estos medios representan un 49,60 % de la movilidad, mientras que en Santa Cruz alcanzan el 79,20 % y en Isabela llegan al 78,00 %. Es relevante observar que la bicicleta es el medio de transporte más empleado en las islas de Isabela y Santa Cruz. La Figura 7 proporciona una representación gráfica de la distribución porcentual de los diferentes medios de transporte utilizados en los centros poblados, enfatizando la preferencia por los métodos no motorizados, lo que sugiere un enfoque sostenible en la movilidad de estas comunidades insulares.

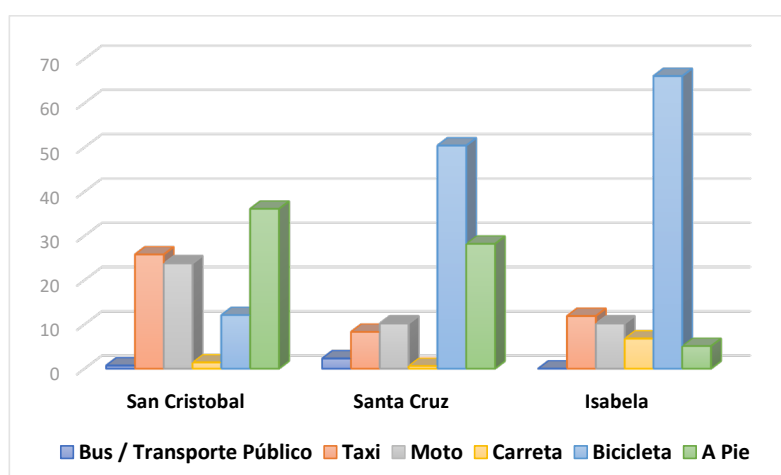


Figura 7. Distribución de los medios de transporte empleados en los centros poblados, por cada cantón en el año 2019.

3.2. Uso de combustibles

Para el año 2018, según los datos proporcionados por el Balance Energético de la Provincia de Galápagos, elaborado por el Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador, el sector del transporte se posiciona como el principal consumidor de combustibles, con un total de 8.005.369 galones de Diesel y 4.036.228 galones de Gasolina. Estos valores equivalen a 191,61 y 86,09 miles de Barriles Equivalentes de Petróleo (kBEP), respectivamente. Es importante señalar que, únicamente en el caso del Diesel, se estima que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) alcanzaron los 119,63 miles de toneladas equivalentes de CO₂ (kTeCO₂). El sector del transporte marítimo destaca como el principal contribuyente a estas emisiones, representando aproximadamente el 59 % del consumo total de Diesel, con un estimado de 163,72 kBEP.

Es relevante destacar que el sector del transporte aéreo solamente contempla los desplazamientos interislas. La Figura 8 proporciona un resumen visual del panorama relacionado con el uso de combustibles de origen fósil en las islas Galápagos. Estos datos subrayan la necesidad de abordar eficazmente las emisiones de GEI y promover prácticas de transporte más sostenibles en la región.

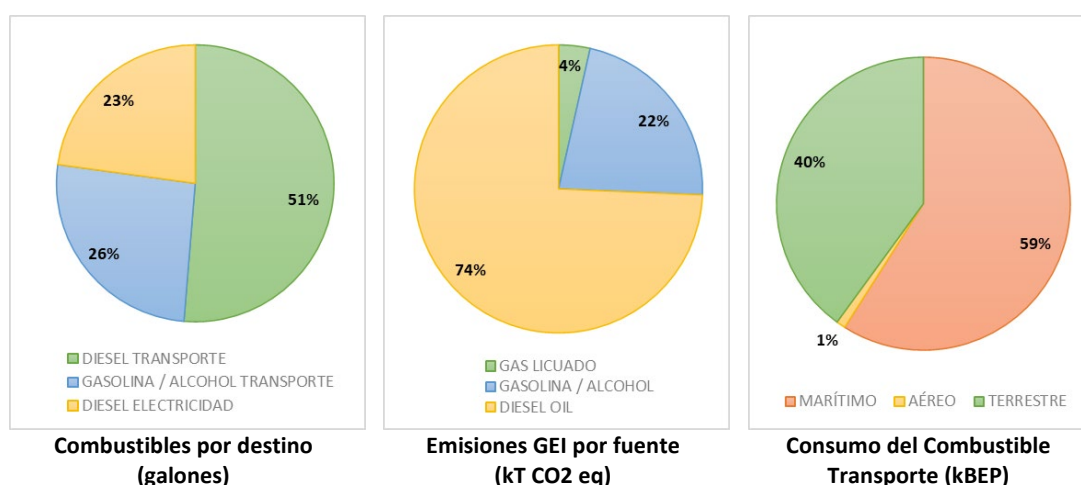


Figura 8. Detalles de combustibles fósiles, emisiones y distribución de consumo en Galápagos para el año 2018.

El balance energético de la provincia de Galápagos revela que el sector del transporte ejerce un impacto ambiental y energético significativo en las islas. De hecho, este sector representa el 73 % de todas las emisiones de gases de efecto invernadero en la región. Además, destaca por tener el índice más elevado de consumo final de energía per cápita, con 8,8 barriles equivalentes de petróleo por habitante, como se muestra en la Figura 9. Estos datos subrayan la importancia crítica de abordar los desafíos ambientales y energéticos en el sector del transporte de las islas Galápagos para avanzar hacia un enfoque más sostenible y eficiente.

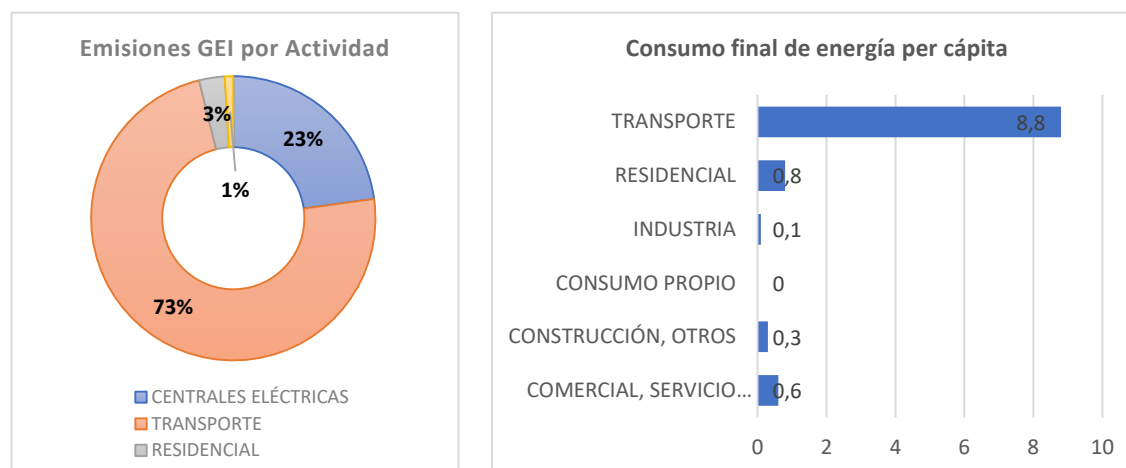


Figura 9. Detalle de emisiones GEI por actividad y representación de los índices de consumo final de energía per cápita, para el año 2018.

3.3. Estado de la electromovilidad

Dado que Galápagos es una región única con un ecosistema altamente frágil, donde el 97 % de su extensión total pertenece al Parque Nacional y solo el 3 % se considera área poblada, resulta de vital importancia emprender una transición energética. Este esfuerzo se centra en cumplir con los objetivos dirigidos hacia la preservación del medio ambiente y, aún más, hacia la conservación de su belleza natural.

En este contexto, se están evaluando propuestas energéticas basadas en recursos renovables con el propósito de reducir drásticamente la dependencia de combustibles fósiles en la generación de energía. Además, se busca fortalecer las infraestructuras de transmisión y distribución para fomentar el uso de tecnologías limpias en el transporte y la movilidad de los residentes y visitantes de las islas. Este enfoque tiene como objetivo la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al transporte y, al mismo tiempo, mitigar los riesgos ambientales vinculados a su uso.

El Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos confirma que, efectivamente, el transporte marítimo, el transporte terrestre y la producción de energía son los principales consumidores de combustibles fósiles en las islas. Estos esfuerzos por reducir su dependencia de fuentes de energía no sostenibles son cruciales para la conservación a largo plazo de este frágil y excepcional ecosistema.

Varios estudios previos muestran una demanda energética que se deriva de análisis previos de [1] y [25] donde se considera que el 60 % de los residentes están relacionados con actividades turísticas y este sector representa casi un 80 % de la economía local. Como un referente de la situación a la que se enfrenta el archipiélago, consideremos los siguientes indicadores que están presentes en el documento final resultado del Proyecto Mecanismos y Redes de Transferencia de Tecnologías relacionadas con el Cambio Climático en América Latina y El Caribe (RG-72384) y se observa además la proyección realizada en dicho estudio hasta el 2040:

Atendiendo al Plan de Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Régimen Especial de Galápagos [1], en el que se indica que un transporte público colectivo basado en buses como en el resto del Ecuador continental, éste no existe; se cuenta tan solo con mínimas unidades escolares o institucionales, además de servicio de transporte turístico por el tema de la actividad principal que se desarrolla en las islas y los buses que conectan el Aeropuerto de Baltra con el Canal de Itabaca (empresa CITTEG).

Con estos datos, es evidente que el servicio de transporte público en las zonas rurales es muy deficiente, no cuenta con frecuencias ni horarios específicos por lo que no es fiable para la comunidad insular. Esta situación obliga a la utilización de taxis, transporte mixto y motocicletas, lo que incrementa el tránsito de vehículos en las vías que unen a las urbes con las zonas rurales, y los costos de movilización para los usuarios son muy elevados; también se identifica otros vehículos que se han adaptado para ofrecer transporte público masivo y son denominados “chivas”.

Al considerar todos los indicadores ya analizados, se aprecia como el sector de la energía debe considerarse de una manera integral, es decir tanto la generación eléctrica y la movilización deben ir avanzando a la par, esto debido a su interrelación, de ahí que se considera que hoy en día hay varias alternativas viables tanto técnica como económicamente hablando, y, en esos esfuerzos el archipiélago ha venido orientando su trabajo para disminuir el consumo de combustibles fósiles a través de la introducción de energías renovables y promoviendo la entrada de vehículos eléctricos y otros medios de transporte sostenibles como la bicicleta, a través de la construcción y adecuación de ciclovías.

En los términos y consideraciones legales se tiene, que para el uso de los vehículos eléctricos el Ecuador cuenta con un marco regulatorio que promueve la adquisición de este tipo de vehículos, mediante incentivos tributarios tales como la exención de aranceles, exención de IVA en casos específicos, reducciones en el Impuesto de Consumos Especiales (ICE) y descuentos en el Impuesto Ambiental a la Contaminación Vehicular (IACV).

De igual manera, existen tarifas diferenciadas de energía eléctrica para la recarga de vehículos eléctricos y otros incentivos y obligaciones específicas para transporte público. Pero es importante mencionar que debido a que los combustibles fósiles cuentan con un alto valor de subsidio en el país, los vehículos eléctricos se enfrentan a una competitividad económica con sus equivalentes a gasolina o diésel.

A pesar de que el ingreso de los vehículos hacia las islas está controlado mediante la ejecución de ordenanzas tanto locales como provinciales, las cuales se establecen en el Régimen Jurídico Administrativo en lo que se refiere al ingreso permanente o temporal de vehículos y maquinarias. En 2016 se redujeron dichas restricciones, permitiendo el ingreso de motocicletas y automóviles, siempre y cuando sean eléctricos, y efectivamente el número de vehículos de este tipo aumentó hasta alcanzar un total de 183 vehículos eléctricos registrados en las islas de Santa Cruz y San Cristóbal a abril del 2019, representando un 7,1 % del parque automotor de la época, lo que ocasionó nuevos problemas de carácter técnicos y especialmente de abastecimiento de carga por parte de la red de energía eléctrica. De ahí que a comienzos de 2019 se decidió suspender la entrada de nuevos vehículos eléctricos en Santa Cruz hasta nueva orden, obligando a que ELECGALÁPAGOS, el Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos (CGREG), los GAD Municipales de Galápagos, la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) y ELECGALÁPAGOS evaluarán bajo criterios técnicos como retomar el ingreso de vehículos eléctricos en la isla de manera gradual, para así evitar mayores afectaciones al sistema, brindando una mejor calidad de energía e ir cumpliendo con los objetivos planteados para disminuir las emisiones con la implementación e integración de las energías renovables en sus plantas de generación.

Tras analizar detenidamente los datos proporcionados por las entidades públicas, se han extraído diversas conclusiones de relevancia. A continuación, se presentan tales conclusiones,

tomando como referencia los 2.305 vehículos matriculados en la provincia de Galápagos en el año 2020, como se muestra en la Figura 10.

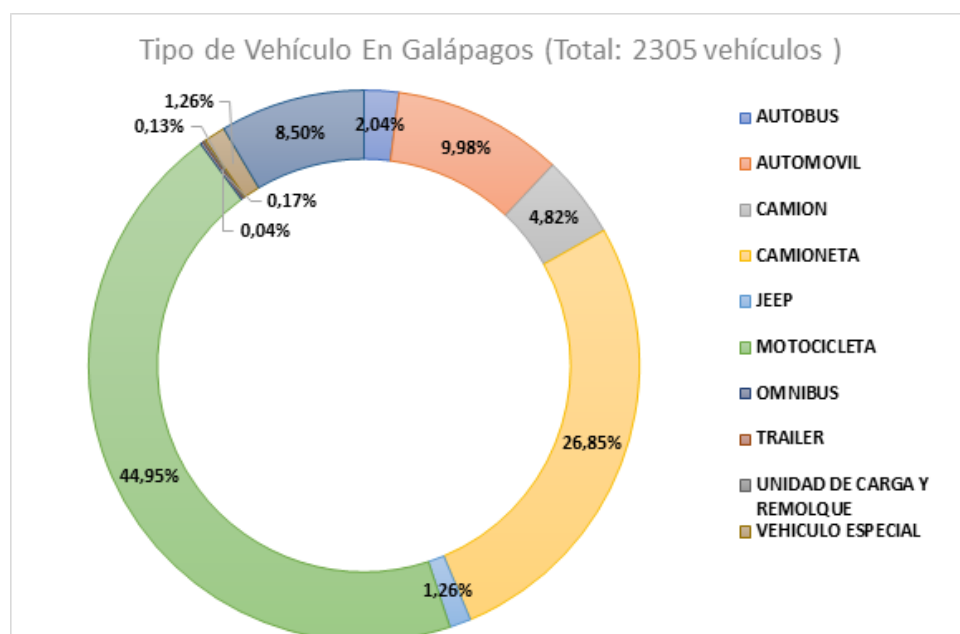


Figura 10. Segmentación del tipo de vehículos en Galápagos, según el registro de matriculación 2020.

La Tabla 5 presenta el detalle de la constitución del parque automotor dentro de las islas en función del tipo de combustible empleados por los vehículos, según el inventario de vehículos facilitado por la Agencia Nacional de Tránsito – ANT. En esta se refleja que, la isla de Santa Cruz ostenta la mayor concentración de vehículos de todos los tipos, con un total de 1334 unidades, mientras que San Cristóbal cuenta con 926 vehículos registrados, lo que representa aproximadamente el 98 % de la flota vehicular en toda la provincia. No obstante, es fundamental tener en cuenta que existe una cantidad indeterminada de vehículos no regularizados, principalmente pertenecientes al segmento de motocicletas. Esta situación plantea preocupaciones significativas tanto en términos de control como en lo que respecta al suministro de combustible, lo que podría arrojar luz sobre el consumo real de energía en caso de que se decida reemplazar estos medios de transporte.

Tabla 5. Detalle de vehículos por cantón registrado en el año 2020, según el tipo de combustible.

	Isabela	Santa Cruz	San Cristóbal	Total
Diésel	11	176	225	412
Eléctrico	1	14	55	70
Gasolina	32	730	1.051	1.813
Híbrido	-	6	3	9
Híbrido, gasolina, baterías	1	-	-	1
Total	45	926	1.334	2.305

Dada la densidad vehicular en cada isla, los esfuerzos para fomentar la adopción de vehículos eléctricos deberían priorizar Santa Cruz y San Cristóbal, con un enfoque particular en el segmento

de automóviles como el grupo objetivo. Esto implica la construcción de una infraestructura integral que incentive a diversos actores, especialmente en el transporte mixto y de pasajeros, a realizar la transición hacia esta tecnología. Es importante destacar que la colaboración de todas las instituciones públicas y cantones es esencial para promover el uso de vehículos 100 % eléctricos.

Si bien la conciencia ambiental se ve favorecida en todos los casos, la falta de apoyo en la adopción de esta tecnología ha generado desánimo entre los residentes, en particular en Santa Cruz. Se ha generado una percepción negativa debido a la introducción inadecuada de tecnología con vehículos compactos de baja autonomía (60 - 100 km), la falta de garantías y asistencia por parte de los importadores. Esto ha llevado a reclamos legales y cobertura mediática local.

En el caso de Isabela, la situación debe abordarse de manera diferente, ya que la movilización interna se basa en gran medida en bicicletas y caminar. Aquí, se debe buscar un modelo que permita la integración de la micro movilidad con vehículos eléctricos, garantizando la satisfacción de todos los usuarios. Es importante mencionar que en todas las islas se ha experimentado un aumento exponencial en el uso de scooters eléctricos, sin un registro o cuantificación precisa de su cantidad en cada isla. En algunos casos, los scooters han reemplazado a las motocicletas, aunque no han logrado desplazar completamente su uso. Un aspecto relevante es que en casi el 95 % de los casos, estos scooters son alimentados mediante baterías extraíbles, como se muestra en la Figura 11. Esto abre la posibilidad de diseñar una infraestructura para la recarga masiva en lugares estratégicos durante el día, evitando sobrecargar la red eléctrica durante las horas de máxima demanda.



Figura 11. Scooter eléctrico para 2 personas con batería extraíble en las calles de Santa Cruz.

Un sector que demanda un análisis exhaustivo en cuanto a su potencial migración hacia la movilidad eléctrica es el transporte interislas, especialmente las lanchas, debido al gran número de personas que se desplazan diariamente.

La transición del transporte marítimo entre islas hacia la movilidad eléctrica puede lograrse mediante la adopción de motores fuera de borda eléctricos para embarcaciones. La autonomía energética de tales embarcaciones para cubrir las distancias a recorrer entre islas puede ser garantizada mediante el uso combinado de baterías y de sistemas solares fotovoltaicos incorporados [23], [24]. En lo que respecta al abastecimiento energético de las embarcaciones, similar a la ubicación estratégica de electrolineras cerca de muelles en tierra firme, la instalación de puntos de carga eléctrica en áreas portuarias y cercanas a los muelles facilitaría una transición suave hacia la movilidad eléctrica marítima. La planificación cuidadosa de la infraestructura de carga, considerando las necesidades específicas del transporte marítimo entre islas, contribuiría a superar desafíos logísticos y acelerar la adopción de soluciones sostenibles en el sector [24].

La implementación exitosa de la movilidad eléctrica en las Islas Galápagos puede contribuir de manera significativa a su sostenibilidad a largo plazo, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y el Acuerdo de París de varias maneras. Primero, al reducir la dependencia de combustibles fósiles, se disminuirían las emisiones de gases de efecto

invernadero, apoyando directamente el ODS 13 (Acción por el clima) y los compromisos del Acuerdo de París en este sentido. La movilidad eléctrica también se alinea con el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) al promover el uso de fuentes de energía sostenibles y renovables para cargar los vehículos eléctricos. Asimismo, al mejorar la eficiencia del transporte, contribuiría al ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), al reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire en las islas.

Por último, la adopción de la electromovilidad podría generar oportunidades económicas locales, fomentando el desarrollo sostenible (ODS 8) y mejorando la calidad de vida de las comunidades. La planificación cuidadosa de la infraestructura de carga y la gestión de recursos naturales también respaldarían el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres).

4. CONCLUSIONES

El entorno controlado que caracteriza a las islas Galápagos brinda la oportunidad de recopilar datos con un nivel de precisión excepcional, lo que facilita la adopción de estrategias óptimas para la implementación de la movilidad eléctrica en estas islas.

En este estudio se ha identificado nichos específicos para la implementación eficaz de iniciativas hacia un modelo de transporte terrestre y marítimo más eficiente y respetuoso con el medio ambiente. La colaboración estratégica con entidades gubernamentales y la recopilación de datos en el terreno fueron fundamentales para obtener información crucial. Conforme al Plan Galápagos 2020-2030, se destaca que, en los centros poblados, la movilidad no motorizada, representa un porcentaje significativo, alcanzando el 49,60 % en San Cristóbal, el 79,20 % en Santa Cruz y el 78,00 % en Isabela, donde la bicicleta es el medio de transporte más empleado.

El análisis del balance energético revela que el sector del transporte en 2018 fue el principal consumidor de combustibles, con notables emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), destacando el transporte marítimo como el mayor contribuyente. El transporte en las islas lideró el consumo de combustibles con 8.005.369 galones de Diesel y 4.036.228 galones de Gasolina, equivalente a 191,61 y 86,09 miles de Barriles Equivalentes de Petróleo (kBEP), respectivamente. De la información recabada, se estimó que las emisiones GEI del Diesel fueron de alrededor de 119,63 miles de toneladas equivalentes de CO₂ (kTeCO₂). El transporte marítimo, siendo responsable del 59 % del consumo de Diesel, destacó como el principal contribuyente a estas emisiones, con un estimado de 163,72 kBEP. De estos indicadores, se resalta la necesidad de un análisis exhaustivo para migrar hacia la movilidad eléctrica, especialmente en el transporte interislas, proponiendo la adopción de motores fuera de borda eléctricos para embarcaciones y la planificación estratégica de infraestructuras de carga.

Además, de este estudio se podría generar una guía estratégica para los tomadores de decisiones en los sectores público y privado de las islas Galápagos, permitiéndoles desarrollar políticas y proyectos específicos para abordar los desafíos medioambientales y económicos. La alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París fortalecerá la posición de las islas Galápagos a nivel nacional e internacional, fomentando un enfoque sostenible y ecológico para la conservación del entorno natural y la prosperidad económica a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS: El trabajo documentado en este artículo forma parte de las actividades ejecutadas en el proyecto titulado: “Movilidad eléctrica: retos, limitaciones y plan de implementación en el régimen especial de la provincia de Galápagos enfocada en el desarrollo sostenible y su factibilidad en la ciudad de Cuenca”, en el marco del II Concurso de Proyectos de Investigación – Vinculación, organizado por el Vicerrectorado de Investigación y la Dirección de Vinculación con la Sociedad de la Universidad de Cuenca, en el cual participan los autores. Los autores agradecen a la Universidad de Cuenca por facilitar el acceso a las instalaciones del

Laboratorio de Micro-Red del Centro Científico, Tecnológico y de Investigación Balzay (CCTI-B), y a los ayudantes de investigación, ingenieros Juan Carlos Granda y Tania Duchi, cuya contribución ha hecho posible la recolección, sistematización y presentación de datos in-situ, necesarios para la realización y culminación de este trabajo. Finalmente, los autores expresan su gratitud con las siguientes instituciones públicas y privadas, pues, la información proporcionada por éstas ha sido vital para desarrollar la investigación que se documenta en este artículo: Empresa Eléctrica Provincial de Galápagos – ELECGALAPAGOS S.A., Ministerio de Transporte y Obras Públicas – MTOP, Ministerio de Energía y Minas, Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica – MAATE, Consejo de Gobierno de Régimen Especial de Galápagos – CGREG, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Cruz, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Cristóbal, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Isabela, Agencia Nacional de Tránsito – ANT.

REFERENCIAS

- [1] CGREG, *Plan de Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Régimen Especial de Galápagos, Plan Galápagos 2030*. Puerto Baquerizo Moreno, Galápagos, Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://unidosporgalapagos.com/2020/12/17/example-post/>
- [2] S. Zander *et al.*, "The Spatio-Temporal Cloud Frequency Distribution in the Galapagos Archipelago as Seen from MODIS Cloud Mask Data", *Atmosphere*, vol. 14, n.º 8, jul. 2023, doi: 10.3390/atmos14081225.
- [3] A. Moreira-Mendieta *et al.*, "Detection and quantification of microplastic pollution in the endangered Galapagos sea lion", *Sci. Total Environ.*, vol. 896, sep. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.166223.
- [4] A. Muñoz Barriga, "La contradicción del turismo en la conservación y el desarrollo en Galápagos - Ecuador", *Estud. Perspect. En Tur.*, vol. 24, n.º 2, pp. 399-413, abr. 2015. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180738583011>
- [5] A. M. Grube, J. R. Stewart, y V. Ochoa-Herrera, "The challenge of achieving safely managed drinking water supply on San Cristobal island, Galápagos", *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 228, may. 2020, doi: 10.1016/j.ijheh.2020.113547.
- [6] M. Carrere, "Sin turismo no hay dinero: COVID-19 detiene el 60% de los ingresos de Galápagos". Accedido: 14 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.mongabay.com/2020/05/ecuador-turismo-en-galapagos-covid-19/>
- [7] F. I. Ormaza-González, D. Castro-Rodas, y P. J. Statham, "COVID-19 Impacts on Beaches and Coastal Water Pollution at Selected Sites in Ecuador, and Management Proposals Post-pandemic", *Front. Mar. Sci.*, vol. 8, jul. 2021, doi: 10.3389/fmars.2021.669374.
- [8] V. Iñiguez-Morán, E. Villa-Ávila, D. Ochoa-Correa, C. Larco-Barros, y R. Sempertegui-Álvarez, "Study of the Energy Efficiency of an Urban E-Bike Charged with a Standalone Photovoltaic Solar Charging Station and its Compliance with the Ecuadorian Grid Code No. ARCERNR – 002/20", *Ingenius*, n.º 29, Art. n.º 29, ene. 2023, doi: 10.17163/ings.n29.2023.04.
- [9] D. A. Carrillo Rosero, E. P. Gavilanes González, R. A. Ríos García, y D. F. Carrillo Rosero, "La pandemia del Covid-19 y sus implicaciones en la actividad turística de la isla Santa Cruz en las Islas Galápagos", *Rev. Univ. Soc.*, vol. 15, n.º S1, pp. 476-484, abr. 2023.
- [10] Ministerio de Energía y Minas, "Balance Energético Nacional 2021", jun. 2022, Accedido: 14 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Balance_Energe%CC%81tico_Nacional_2021-VF_opt.pdf

- [11] P. F. Kingston, D. Runciman, y J. McDougall, "Oil contamination of sedimentary shores of the Galápagos Islands following the wreck of the *Jessica*", *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 47, n.º 7, pp. 303-312, jul. 2003, doi: 10.1016/S0025-326X(03)00159-0.
- [12] K. A. McKenzie, "Sun, wind and waves: Ev fossil fuel use and emissions on an isolated, oil-dependent Hawaiian Island", *World Electr. Veh. J.*, vol. 12, n.º 2, jun. 2021, doi: 10.3390/wevj12020087.
- [13] L. Rodgers *et al.*, "Designing an electric motorcycle for the Isle of Man TT Zero race, and how electric vehicle racing could be used to spur innovation", presentado en 26th Electric Vehicle Symposium 2012, EVS 2012, 2012, pp. 2862-2873.
- [14] R. Rabl, M. Reuter-Oppermann, y P. E. P. Jochem, "Charging infrastructure for electric vehicles in New Zealand", *Transp. Policy*, vol. 148, pp. 124-144, jan. 2024, doi: 10.1016/j.tranpol.2024.01.010.
- [15] K. J. Dillman, R. Fazeli, E. Shafiei, J. Ö. G. Jónsson, H. V. Haraldsson, y B. Davíðsdóttir, "Spatiotemporal analysis of the impact of electric vehicle integration on Reykjavik's electrical system at the city and distribution system level", *Util. Policy*, vol. 68, dec. 2021, doi: 10.1016/j.jup.2020.101145.
- [16] J. H. M. Langbroek, M. Cebecauer, J. Malmsten, J. P. Franklin, Y. O. Susilo, y P. Georén, "Electric vehicle rental and electric vehicle adoption", *Res. Transp. Econ.*, vol. 73, pp. 72-82, jun. 2019, doi: 10.1016/j.retrec.2019.02.002.
- [17] L. A. Paredes, "Electromovilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental", *Rev. Téc. Energ.*, vol. 16, n.º 1, ene. 2019, doi: 10.37116/revistaenergia.v16.n1.2019.340.
- [18] E. Villa-Ávila, P. Arévalo, D. Ochoa-Correa, V. Iñiguez-Morán, y F. Jurado, "Innovative Power Smoothing Technique for Enhancing Renewable Integration in Insular Power Systems Using Electric Vehicle Charging Stations", *Appl. Sci.*, vol. 14, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2024, doi: 10.3390/app14010375.
- [19] Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, "Balance Energético Nacional 2018". Accedido: 17 de diciembre de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/03/Balance-Energe%CC%81tico-Nacional-2018.pdf>
- [20] A.-M. Vasile, "Transition to a Low-Carbon Economy and the Impact on the Urban Regeneration Process", presentado en Springer Proceedings in Business and Economics, 2023, pp. 157-175. doi: 10.1007/978-3-031-30996-0_12.
- [21] Naciones Unidas Ecuador, «Sustainable Development Goal 7: Energía asequible y no contaminante | Naciones Unidas en Ecuador». Accedido: 6 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ecuador.un.org/es/sdgs/7>
- [22] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035*. Ecuador, 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/1.PLAN_NACIONAL_EFICIENCIA_ENERGETICAmaqueta-final-digital.pdf
- [23] F. R. G. Cruz, B. W. C. Garcia, R. C. M. Gania, J. C. R. Nob, y M. P. A. H. Bongon, "Solar-Assisted Electric Boat Power and Propulsion System Simulations", presentado en 2021 IEEE 13th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management, HNICEM 2021, 2021. doi: 10.1109/HNICEM54116.2021.9732023.

- [24] M. Moya, J. Martínez-Gómez, E. Urresta, y M. Cordovez-Dammer, «Feature Selection in Energy Consumption of Solar Catamaran INER 1 on Galapagos Island», *Energies*, vol. 15, n.º 8, abr. 2022, doi: 10.3390/en15082761.
- [25] F. Pizzitutti *et al.*, "Scenario planning for tourism management: a participatory and system dynamics model applied to the Galapagos Islands of Ecuador", *J. Sustain. Tour.*, vol. 25, n.º 8, pp. 1117-1137, ago. 2017, doi: 10.1080/09669582.2016.1257011.



Impacto de los sistemas de información en la agricultura inteligente: Una revision general

(Impact of Information Systems on Smart Agriculture: An Overview)

Geover Alexander Bowen Quiroz , Gema Isabel Medranda Cobeña
Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador
gbowen3242@utm.edu.ec, gema.medranda@utm.edu.ec

Resumen: Los sistemas de información (SI) desempeñan un papel fundamental en la agricultura inteligente, ya que permiten la recopilación, el análisis y la gestión de datos para mejorar la toma de decisiones, la eficiencia, la sostenibilidad y la rentabilidad en la agricultura, no obstante, el principal desafío es la brecha digital en la ruralidad. Por ello, el objetivo de este trabajo fue analizar la literatura científica disponible sobre el impacto de los SI en la agricultura inteligente, incluyendo estudios empíricos y revisiones sistemáticas. La investigación tiene un diseño descriptivo de tipo bibliográfico con nivel de síntesis aplicando la metodología RSL, la técnica de recopilación de datos utiliza recursos electrónicos, buscando en Google Scholar, IEEE, Scopus, entre otros. Los resultados evidencian el impacto de los sistemas de información en la agricultura con relación a la eficiencia agrícola. Se deducen las tendencias, se destacan patrones y recomendaciones basadas en las investigaciones analizadas con el fin de mejorar la implementación y uso de SI en la agricultura inteligente.

Palabras clave: agricultura inteligente, sistemas de información, IoT, impacto, gestión

Abstract: Information systems (IS) play a key role in smart agriculture, as they enable the collection, analysis and management of data to improve decision making, efficiency, sustainability and profitability in agriculture, however, the main challenge is the digital divide in rurality. Therefore, the objective of this work was to analyze the available scientific literature on the impact of IS in smart agriculture, including empirical studies and systematic reviews. The research has a descriptive design of bibliographic type with synthesis level applying the RSL methodology, the data collection technique uses electronic resources, searching in Google Scholar, IEEE, Scopus, among others. The results show the impact of information systems in agriculture in relation to agricultural efficiency. Trends are deduced, patterns and recommendations are highlighted based on the research analyzed in order to improve the implementation and use of IS in smart agriculture.

Keywords: Smart Agriculture, Information Systems, IoT, Impact, Management.

1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo de revisión se origina en torno a la premisa de que "la agricultura en la era de información promete importantes repercusiones en el bienestar económico y social de los agricultores, los sistemas bancarios y postales rurales, la comercialización agrícola y las empresas de insumos agrícolas" según Tumiwa *et al.* [1]. Para examinar el impacto de los sistemas de información (SI) en la agricultura, se propone una revisión sistemática utilizando el marco de trabajo establecido por Kitchenham y Charters [2], con el fin de establecer conclusiones significativas sobre el tema.

La agricultura inteligente se ha consolidado como una tendencia influyente que impulsa el desarrollo agrícola mediante la implementación de los sistemas de información, generando eficiencias en los costes operativos para incrementar los márgenes en la producción de productos agrícolas según expresa Dato *et al.* [3]. Este enfoque cobra relevancia dado al aumento de la

demanda mundial de alimentos, lo que subraya la necesidad imperante de explorar cómo las tecnologías de la información pueden contribuir de manera sostenible a la agricultura. Además, afirman que un componente esencial para el despliegue efectivo de la agricultura inteligente es la conectividad a través de la tecnología 5G, la cual emerge como el núcleo de la infraestructura en la agricultura moderna, permitiendo la agricultura de precisión y optimizando la gestión de recursos agrícolas. Ejemplos prácticos, como el de la empresa "Teltonika Network", ilustran cómo la agricultura se dirige hacia el 5G, posibilitando la autonomía de tractores mediante la conexión de dispositivos inteligentes.

En la región de América Latina y el Caribe, la implementación tecnológica ha avanzado a un ritmo lento, reflejándose en las cifras de exportaciones agroalimentarias que, según [4] los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), pasaron del 8,3 % en 1990 al 13,8 % en 2015; la FAO ha respondido a este desafío con la publicación en 2021 de un documento que establece principios regulatorios para la agricultura inteligente.

El impacto de los SI en la agricultura inteligente ha suscitado un creciente interés, especialmente en el contexto de beneficios potenciales para prácticas agrícolas sostenibles y eficientes planteados por Lamis *et al.* [5]. La exploración de Sistemas de Información ecológicos (Green IS) y tecnologías de la información ecológicas (Green IT) apunta a maximizar los impactos positivos y minimizar los efectos negativos en el medio ambiente.

En un estudio planteado en [6] se simuló los comportamientos entre agricultores, minoristas, mayoristas, consumidores y reguladores dentro de un sistema de circulación de productos, donde revelaron que con la implementación de sistemas de información aplicando metodologías *blockchain* se puede mejorar la tasa de calificación hasta un 30 %, aumentando significativamente los beneficios económicos, minimizando los costos de supervisión a través de la automatización de procesos, e incrementando la investigación sobre la aplicación de sistemas *blockchain* en la gestión y circulación de productos agrícolas modernos.

Por su parte, la aplicación del Internet de las Cosas (IoT) en invernaderos inteligentes según Maraveas y Bartzanas [7] se focaliza en crear un microclima ideal para el crecimiento de las plantas, optimizar el riego que emplean sensores para el monitoreo periódico, la fertilización, controlar infecciones y mejorar la seguridad.

Por otro lado, las nuevas aplicaciones de la agricultura inteligente emplean metodologías aplicadas que según Quishpe *et al.* [8] varían acorde la persona o empresas involucradas lo requieran, aprovechando redes de sensores inalámbricos de bajo consumo eléctrico para grandes extensiones, computación en la nube y tecnologías como IoT que buscan reducir los gastos innecesarios en fertilizantes y agua en los sistemas de riego mejorando el reconocimiento automático de patrones y características de cultivos junto con el uso de sistemas automáticos para la gestión y difusión de información según Duarte [9], lo cual contribuye a la gestión oportuna de riesgos en la agricultura, propiciando el desarrollo social, económico y ambiental.

En última instancia, la rápida transformación de los procesos agrícolas tradicionales mediante sistemas de información, como la inteligencia artificial, el IoT, la analítica de datos

y la automatización, destaca la necesidad de investigar cómo se implementan estas tecnologías en la agricultura inteligente. Este análisis es fundamental para comprender y adaptarse a los cambios en curso en el sector agrícola.

2. METODOLOGÍA

La investigación tiene un diseño descriptivo, de tipo bibliográfico con nivel de síntesis; aplicando la metodología revisión sistemática de literatura (RSL) sintetizada a partir de la propuesta por Kitchenham *et al.* [2], esto con el fin de conocer el impacto de los sistemas de información en la agricultura inteligente. Los métodos utilizados se definieron en tres fases, la primera dedicada a la planificación de la revisión, que consistió en desarrollar las preguntas de

investigación, asociar temáticas secundarias e identificar las bases de datos donde se obtendrá información. La segunda fase es la identificación de fuentes o estudios relevantes donde se aplican los criterios de inclusión y exclusión para seleccionar artículos científicos, además se revisa exhaustivamente si están relacionados a la temática y tengan una estructura IMRYD. La tercera fase consiste en el análisis y descripción de cada estudio como parte del contenido de la presente investigación, en esta fase se recopilamos datos puntuales sobre las preguntas de investigación y temáticas secundarias. A continuación, en la Figura 1 se presentan las fases llevadas a cabo en esta investigación:

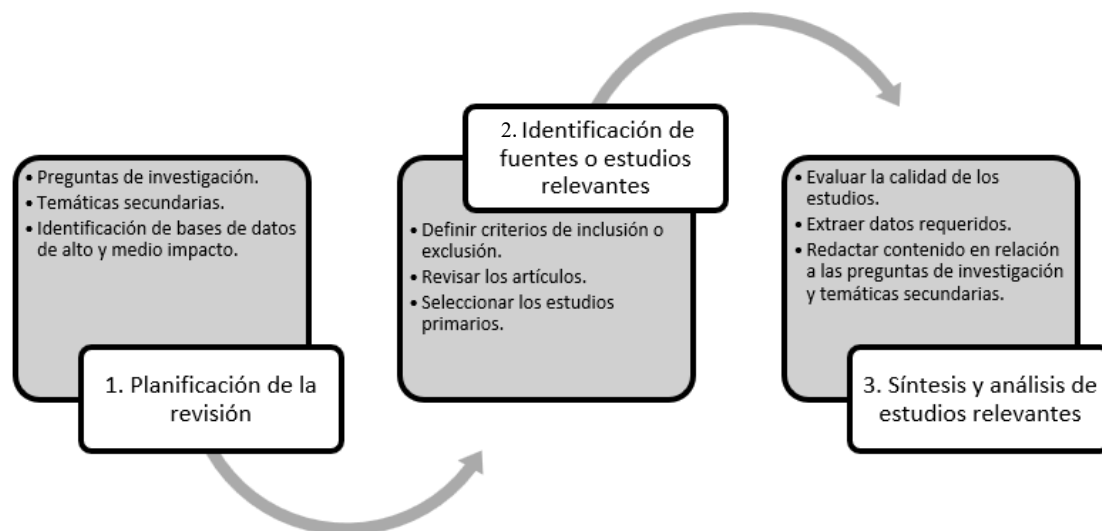


Figura 1. Fases de la metodología RSL sintetizada a partir de la propuesta planteada en [2].

Fase 1: Planificación de la revisión

Preguntas de investigación. El objetivo principal de esta investigación es analizar exhaustivamente los estudios sobre los sistemas de información aplicados en la agricultura inteligente, con el fin de obtener un conocimiento más detallado y una visión sintetizada del impacto generado por dichos sistemas de información en la agricultura inteligente. Partiendo de lo mencionado se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué sistemas de información son los más relevantes aplicados en la agricultura inteligente?
- ¿Cuáles son los principales avances de las tecnologías en la agricultura de precisión?
- ¿Qué mecanismos de conectividad, seguridad e IoT se implementan en la agricultura?
- ¿Cómo varían las metodologías aplicadas en nuevas aplicaciones de la agricultura inteligente?
- ¿Cuál es la contribución de los sistemas de información en la gestión eficiente de recursos naturales?

De manera explícita en el presente trabajo también se presentan algunas temáticas a abordar:

- Principales tecnologías habilitantes para los sistemas de información en la agricultura.
- Avances tecnológicos en la agricultura de precisión.
- Mecanismos de conectividad, seguridad e IoT en la agricultura.
- Contribución de los SI en la gestión eficiente de recursos naturales.
- Impacto de los SI en el consumo energético y reducción de huella de carbono.
- Impacto el sistema de computación y bases de datos en la nube para los procedimientos agrícolas.

Identificación de bases de datos de alto y medio impacto. Para la recopilación de la literatura las búsquedas se realizaron en Scopus, Dimensions, Google Scholar, IEEE, Scielo y Redalyc. A continuación, en la Tabla 1 se describe el CiteScore y el criterio de elección de cada una de las bases de datos que dieron soporte a la presente investigación.

Tabla 1. Bases de datos para búsqueda de literatura.

Base de datos	CiteScore	Criterio de elección
Google Scholar	0,8	Motor de búsqueda de literatura académica y científica, amplio y completo.
IEEE	2,5	Base de datos especializada en áreas de la ingeniería.
Scopus	3,2	Base de datos internacional y que presenta artículos de alto impacto en diferentes disciplinas.
Dimensions	1,2	Base de datos internacional que presenta artículos relacionados a diferentes áreas de investigación.
Scielo	2,0	Bases de datos de acceso abierto.
Redalyc	1,4	

Se formuló varias ecuaciones y se evaluó la precisión en razón de los objetivos, tomando los resultados más relacionados y considerando también el número de citas de los mismos. Los términos predominantes para la búsqueda de literatura son los correspondientes a las ecuaciones 4 y 5 presentadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Fórmulas bibliográficas y resultados obtenidos.

# de ecuación	Ecuación bibliográfica	Resultados	Selección	Precisión
1	"Impacto de los Sistemas de Información en la Agricultura"	3		
2	"Impacto de los Sistemas de Información" y "Agricultura Inteligente"	0		
3	"Impact of Information Systems" AND "Smart Agriculture".	6	1	2,5
4	"Sistemas de Información" AND "Agricultura"	14800	27	67,5
5	"Sistema de Información" AND "Internet de las cosas"	2950	12	30
Total		17759	40	100

Facilidad en el acceso a la información: Las bases de datos que fueron seleccionadas permitieron descargar los artículos sin novedad alguna.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Fase 2: Revisión de fuentes o estudios relevantes

Criterios de inclusión y exclusión. Los criterios para seleccionar las fuentes de información, fueron: fecha de publicación comprendida entre 2017 a 2024, tipo de publicación donde solo se aceptaban artículos o tesis y sobre todo la relevancia al tema de investigación y accesibilidad al documento original.

Realizar la revisión de la literatura. Leer y analizar cada fuente de información seleccionada, identificando los principales hallazgos, conclusiones y recomendaciones. En esta exhaustiva revisión, se logró obtener de manera general 85 artículos relacionados al tema, pero finalmente se seleccionaron 35 debido a criterios de inclusión antes mencionados.

Selección de estudios primarios. El proceso de clasificación de los documentos científicos está basado en responder a los objetivos por medio de las preguntas de investigación. Para la selección de los estudios primarios se llevan a cabo los siguientes filtros de revisión:

- Títulos y resúmenes, centrándose en la coincidencia de los mismos con los temas de interés, los objetivos de la investigación y las preguntas planteadas.
- Coherencia entre los métodos, tecnologías o técnicas empleadas en los estudios y su relevancia para la temática.
- Relevancia de los sistemas de información, las tecnologías aplicadas, los métodos de evaluación de impacto, y la contribución a la gestión eficiente de recursos naturales en la agricultura inteligente.

Fase 3: Síntesis y análisis de estudios relevantes

Evaluar la calidad de los estudios y extracción de datos requeridos. Las metodologías de investigación seleccionadas varían entre revisiones bibliográficas y aplicaciones de uso (ejecución del proyecto, prototipo y modelado) para analizar las características técnicas recopiladas de los análisis de las investigaciones; adentrándonos en los sensores termográficos y las cámaras multispectrales (móviles por medio de drones y fijas), para detectar diferencias de temperatura e imágenes de las plantas en diferentes longitudes de onda que pueden indicar la presencia de insectos o enfermedades, así como sensores de reflectancia para identificar la salud y la productividad de los cultivos.

Extraer datos requeridos. La información es tabulada para extraer datos en relación con las tecnologías habilitadoras que en sinergia forman los sistemas de información. A continuación, en la Tabla 3 se presentan algunas tecnologías disponibles:

Tabla 3. Tecnologías, aplicaciones y protocolos utilizados en la agricultura inteligente.

Tecnologías habilitadoras	Aplicaciones	Uso	Protocolos y Compatibilida
Big data	Análisis de grandes cantidades de datos para identificar patrones y tendencias. Monitoreo del cultivo, detección de insectos y enfermedades, optimización del riego y la fertilización, gestión de la cadena de suministro.	Alto	UBIDOTS, Hadoop, Spark, Cassandra. MQTT, HTTP, REST.

Cloud Database	Gestión de datos agrícolas. Acceso remoto. Análisis de datos avanzado. Gestión de inventario y logística. Colaboración y compartición de datos. Escalabilidad y flexibilidad.	Alto	MQTT, CoAP, OPC UA, SSL/TLS.
Cloud Computing	Monitoreo remoto de cultivos. Predicción y gestión de riesgos. Plataformas de mercado agrícola.	Alto	MQTT, CoAP, HTTP, TLS.
Sistemas embebidos	Control de riego. Gestión de plagas y enfermedades. Automatización de maquinaria agrícola. Optimización de la producción.	Medio	Modbus, CAN, MQTT, LoRaWAN, APIs.
Internet de las cosas (IoT)	Recopilación y transmisión de datos en tiempo real desde los cultivos y el entorno. Monitoreo del cultivo, detección de insectos y enfermedades, control del riego y la fertilización, automatización de tareas agrícolas.	Medio	MQTT, HTTP, REST.
Sistemas de información geográfica (SIG)	Análisis espacial de datos para la planificación y gestión de las explotaciones agrícolas. Planificación de cultivos, gestión de recursos hídricos, análisis de riesgos.	Medio	PostgreSQL, MySQL, Oracle.
Robótica	Automatización de tareas agrícolas, como la siembra, la cosecha y la aplicación de fertilizantes. Siembra, cosecha, aplicación de fertilizantes, control de plagas.	Medio	ROS, Python, C++.
Automatización	Automatización de procesos agrícolas, como el riego y el control de plagas.	Medio	Python, C++.

Análisis y validación de datos requeridos

Sistema de Información

Para Pazmiño *et al.* [10], un sistema de información es una estructura organizada y planificada que consiste en personas, procesos, tecnologías y datos diseñados para recopilar, almacenar, procesar y distribuir información dentro de una organización o entre varias. Todo sistema de información cuenta con una arquitectura interna, la cual puede ser identificada como cliente-servidor, red entre pares, Modelo-Vista-Controlador (MVC), arquitectura orientada a eventos (EDA), arquitectura de microservicios, pero lo que resulta importante son sus elementos internos para que estas funcionen de manera efectiva y eficiente, según Lapiedra *et al.* [11], los elementos de cualquier arquitectura de SI, son los siguientes:

Base de datos. Es el componente central que almacena la información de manera estructurada y organizada para facilitar su acceso y manipulación. Puede utilizar diferentes tecnologías de bases de datos como SQL, NoSQL, o bases de datos en memoria, dependiendo de los requisitos del sistema.

Capa de lógica de negocio. Esta capa contiene la lógica de negocio del sistema, que incluye reglas de negocio, algoritmos de procesamiento y cualquier otra lógica necesaria para realizar operaciones sobre los datos. Puede implementarse utilizando diferentes tecnologías, como lenguajes de programación (Java, Python, entre otros) o motores de reglas empresariales.

Capa de presentación. Es la interfaz a través de la cual los usuarios interactúan con el sistema. Puede incluir interfaces de usuario gráficas (GUI), interfaces de línea de comandos (CLI) o interfaces de programación de aplicaciones (API) para la integración con otros sistemas.

Servicios. Estos son componentes que proporcionan funcionalidades específicas del sistema, como autenticación, autorización, gestión de sesiones, etc. Estos servicios pueden ser compartidos por diferentes partes del sistema.

Seguridad. La seguridad es un aspecto crítico de la arquitectura de un sistema de información. Incluye mecanismos de autenticación, autorización, cifrado de datos, auditoría, y otras medidas para proteger la información contra accesos no autorizados y garantizar la privacidad y la integridad de los datos.

Escalabilidad y rendimiento. La arquitectura debe ser diseñada para ser escalable y para proporcionar un rendimiento adecuado, especialmente en sistemas que manejan grandes volúmenes de datos o que requieren una alta disponibilidad.

Integración. Los sistemas de información suelen necesitar integrarse con otros sistemas y servicios externos. La arquitectura debe permitir esta integración de manera eficiente y robusta, utilizando estándares y protocolos de comunicación adecuados.

Sistema de información en la agricultura inteligente

Según Vite *et al.* [12], algunos centros de investigación de China e India, como la Universidad de Ciencia y Tecnología Huazhong, Universidad de Agricultura en China y el Centro Nacional de Agricultura de la India, analizan la creciente demanda de alimentos orgánicos y la necesidad de reducir el impacto ambiental de la agricultura reflejando la necesidad de implementar tecnologías de agricultura inteligente con resultados en esta área de Big Data, Cloud Computing, IoT, SIG, Robótica y Automatización.

Para comprender de manera general la importancia de los sistemas de información, se debe conceptualizar su término, entendido como el conjunto organizado de componentes que interactúan para recopilar, procesar, almacenar y distribuir datos con el objetivo de apoyar la toma de decisiones, el control y la coordinación en una organización. Estos sistemas no solo incluyen tecnología informática, como hardware y software, sino también procesos, procedimientos, personas y datos. Su función principal es facilitar la gestión eficiente de la información dentro de una empresa u organización, ayudando a mejorar la productividad, la eficacia y la calidad de las decisiones según López *et al.* [13].

Un informe de la consultora McKinsey citado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) sustenta en [14], que las tecnologías o herramientas de información más utilizadas en la agricultura inteligente son los SIG (80 %), el IoT (70 %) y el Big Data y análisis predictivo (60 %). La cadena de bloques (*Blockchain*) según la LISA INSTITUTE es un libro contable digital distribuido y descentralizado que almacena y comparte información a proveedores y compañías cuyos registros son inmutables, en tiempo real de transacciones y

propiedad, por ello *blockchain* es considerado como un nuevo paradigma disruptivo en seguridad que se distribuye por toda la red para los sistemas de información.

Un aspecto importante para considerar el uso de tecnologías habilitadoras o sistemas de información en la agricultura es conocer la reducción del consumo energético que estas puedan ofrecer, según Tobar y Moran [15], quienes sustentan que utilizar hardware y software eficientes en términos energéticos puede reducir significativamente el consumo de energía. Esto podría incluir la selección de servidores de baja potencia, computadoras de bajo consumo energético y software optimizado para realizar tareas con la menor cantidad de recursos posibles. Por otra parte, utilizar sensores y dispositivos de monitoreo de bajo consumo energético, es posible debido a la existencia de tecnologías que permiten recopilar datos importantes con un impacto mínimo en la huella energética.

También, Blanco [16] manifiesta que donde sea posible, utilizar fuentes de energía renovable para alimentar los sistemas de información agrícola puede ayudar a reducir la huella de carbono general del sector. Esto podría incluir la instalación de paneles solares o el uso de energía eólica. Además, capacitar a los usuarios sobre prácticas de eficiencia energética y promover una cultura de conservación de energía puede ayudar a reducir el consumo energético en sistemas de información agrícola. Esto podría incluir capacitación sobre cómo optimizar el uso de hardware y software, así como fomentar hábitos de trabajo que minimicen el consumo de energía.

Según las proyecciones realizadas en [17] por la experta en investigación sobre agricultura y bienes de consumo, el mercado global de agricultura inteligente, que tuvo un valor de 12.000 millones de dólares en 2022, se espera que alcance los 28.000 millones de dólares en 2028. Otras estimaciones realizadas en [18] por *Precedence Research y Global Market Insights Inc.* sitúan el tamaño del mercado en alrededor de 1.7 mil millones de dólares en 2022, con una proyección de crecimiento a una tasa anual compuesta del 20 % al 23,3 % hasta 2032. Estas proyecciones reflejan el creciente interés y la adopción de la inteligencia artificial en el sector agrícola.

La selección del sistema de información adecuado para agricultura inteligente depende de una serie de factores, incluyendo el área de suelo a ser cultivado, los sensores empleados, las condiciones del suelo, el tipo de red a emplear, el protocolo de conexión, la base de datos y la aplicación a desarrollar o usar ya sea local o en la nube, en la Tabla 4, se describe una recopilación de los sistemas de información y de los sensores empleados según el criterio o variable de estudio.

Tabla 4. Alcance de tecnologías empleadas en la agricultura inteligente.

Tecnologías habilitadoras	Alcance y/o beneficios
Sistema de Información Geográfica (SIG)	Representar y analizar datos espaciales, para la planificación y gestión de grandes explotaciones agrícolas.
Internet de las Cosas (IoT)	Recopila datos en tiempo real desde los cultivos y el entorno.
Big data	Analizar grandes cantidades de datos para identificar patrones y tendencias, ayuda a mejorar la gestión del suelo. Aumenta la ganancia neta al no existir intermediarios usando Blockchain y aplicaciones a medida.
Robótica	Automatizar tareas agrícolas, libera mano de obra y aumenta la eficiencia.
Automatización	Controla procesos agrícolas, para reducir el consumo de energía y los residuos.

Base de datos en la nube	Almacena y gestiona en la nube de información (servidores), todos los datos recopilados por los sistemas de información y sensores para agricultura inteligente.
Sistemas embebidos	Permite el monitoreo y control de condiciones ambientales. Además, se pueden automatizar a través de estos sistemas, el riego, fertilización, control de plagas, funcionalidad de máquina agrícolas.
Cloud Computing	Permite incorporar infraestructura digital, con el objetivo de utilizar software para el almacenamiento, procesamiento y análisis de datos agrícolas obtenidos de las operaciones ejecutadas por la organización.

En la agricultura también existe una gran demanda por recursos de IoT, tales como sensores, a continuación, en la Tabla 5 se especifican los nombres, fabricantes, características y el tipo de monitoreo de cada uno de ellos.

Los sistemas de información y los sensores agrícolas han beneficiado significativamente los avances de la agricultura de precisión. Estos sistemas permiten recopilar datos detallados sobre el suelo, el clima, el agua y las plantas, y enviarlos a la nube para un análisis y visualización precisos. La integración de tecnologías como el GPS, los drones, los sistemas de información geográfica y los sensores inteligentes ha revolucionado la forma en que los agricultores toman decisiones y gestionan sus cultivos.

Estos avances son fundamentales para la agricultura de precisión, ya que permiten una gestión más eficiente de los recursos, una toma de decisiones basada en datos y una mayor sostenibilidad en la producción de alimentos, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que busca "construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación" según Fernández *et al.* [19]. La agricultura de precisión contribuye a la sostenibilidad agrícola, al cuidado del medioambiente a través del uso óptimo de los recursos, y a la mejora de la toma de decisiones para los agricultores. Además, en [20] se sostiene como forma parte de la estrategia para garantizar una cadena alimentaria sostenible, en línea con los objetivos de desarrollo sostenible.

Estos avances tecnológicos se muestran en la Tabla 6 y han permitido mejorar la eficiencia y la productividad de los cultivos, así como la toma de decisiones más precisa y sostenible en la agricultura. La implementación de la agricultura de precisión ha sido fundamental para enfrentar el cambio climático y mejorar la sostenibilidad en la agricultura.

Tabla 5. Sensores empleados en la agricultura inteligente.

Sensores	Fabricante	Características	Tipo de monitoreo
Cybershot DSC-QX100	Sony	Cámara digital compacta con sensor CMOS de 20 megapíxeles y zoom óptico de 3,6x. Se utiliza para capturar imágenes de los cultivos para su análisis con software de visión artificial.	Cultivo
Parrot Sequoia	MicaSense	Cámara multiespectral con sensor CMOS de 16 a 23 megapíxeles. Se utiliza para capturar imágenes de los cultivos en diferentes longitudes de onda, lo que permite a los agricultores determinar la salud y la productividad de los cultivos. Rango de temperatura: -20 a 150 °C. Sensibilidad térmica: <0,05 °C	
FLIR Blackfly 23S6C	FLIR Systems	Cámara termográfica con sensor de infrarrojos de 640x512 píxeles. Se utiliza para detectar diferencias de temperatura en las plantas que pueden indicar la presencia de insectos o enfermedades. Espectro visible (RGB), infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo térmico (TIR).	
ACS-430	Holland Scientific	Sensores de reflectancia activos con un rango de 400-1000 nm. Se utilizan para medir la cantidad de luz reflejada por las plantas, lo que se puede utilizar para determinar la salud y la productividad de los cultivos. Rango de reflectancia: 0 a 1.	
ACS-470	Holland Scientific	Sensor de reflectancia activo de 470 nm. Rango de reflectancia: 0 a 1.	
3DR Iris+	3D Robotics	Drones con cámara RGB de 12 MP y cámara térmica de 160 x 120 píxeles. Rango de temperatura: -10 a 60 °C. Sensibilidad térmica: <0,2 °C.	
DJI Mavic 2 Enterprise Advanced	DJI	Drone con cámara RGB de 20 MP y cámara térmica de 640 x 512 píxeles. Rango de temperatura: -20 a 60 °C. Sensibilidad térmica: <0,04 °C.	

Variable a medir: Temperatura.			
DS18B20	Integrated	Sensor de temperatura digital con rango de -55 a 125 °C. Precisión: $\pm 0,5$ °C.	
VH400	Vegetaroni x	Sensor de temperatura digital con rango de -40 a 80 °C. Precisión: $\pm 0,5$ °C.	
HL-69, ECH2O- 10000	Group	Sensor de temperatura de resistencia con rango de -10 a 80 °C. Precisión: $\pm 0,5$ °C.	
Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2	DERobots	Rango de medición: 0-50 % de humedad del suelo. Precisión: ± 2 %. Voltaje de operación: 3.3-5 V Corriente de operación: <20 mA. Salida analógica y digital	Sustrato
Capacitive Soil Moisture Sensor	Adafruit	Rango de medición: 0-50 % de humedad del suelo. Precisión: ± 2 %. Voltaje de operación: 3.3-5 V. Corriente de operación: <20 mA. Salida analógica	
Resistive Soil Moisture Sensor v1.2	DERobots	Rango de medición: 0-100 % de humedad del suelo. Precisión: ± 5 %. Voltaje de operación: 3.3-5 V. Corriente de operación: <20 mA. Salida analógica y digital	
Soil Moisture Sensor	SparkFun	Rango de medición: 0-50 % de humedad del suelo. Precisión: ± 5 %. Voltaje de operación: 3.3-5 V. Corriente de operación: <20 mA. Salida analógica.	

Variable a medir: pH.		
ECH2O 5TE	De METER Group	Este sensor mide la humedad del suelo, la conductividad eléctrica y el pH. Precisión: $\pm 0,3$ en condiciones normales y precisión: $\pm 0,2$ en condiciones específicas del suelo.
SEN0244	DERobots	Sensor de pH con rango de 0 a 14. Precisión: $\pm 0,1$ pH.
EnviroSCAN	Sentek	Proporciona mediciones de humedad del suelo, conductividad eléctrica y temperatura, lo que puede utilizarse para inferir el pH del suelo. Precisión: $\pm 0,3$ pH.
EC-5	Decagon Devices (ahora METER Group)	Mide la humedad del suelo y la conductividad eléctrica, que se puede utilizar para estimar la salinidad del suelo. Precisión: $\pm 0,1$ pH.
Variable a medir: Temperatura y humedad del aire.		
DHT11, DHT22	Aosong Electronics Co., Ltd., Guangzhou, China	Rango de temperatura: 0 a 50 °C. Precisión: ± 2 °C. Rango de humedad: 0 a 100 %. Precisión: ± 5 %.
Variable a medir: Radiación.		
SQ-110	Apogee Instruments, Inc., Logan, UT, USA	Rango de radiación: 0 a 20.000 lux. Precisión: ± 10 %.
Variable a medir: Lluvia.		
YF-S402, YL-83, SE- WS700D	Graylogix, Bangalore, Karnataka, India; Vaisala Corp., Helsinki, Finland; Lufft Inc., Berlin, Germany	Rango de lluvia: 0 a 500 mm. Precisión: ± 1 mm.

Ambiente

Variable a medir: Luminosidad.		
BH1750, TSL2561	Rohm Semiconductor, Kyoto, Japan; Adafruit Industries, New York City, NY, USA	Rango de luminosidad: 0 a 40.000 lux. Precisión: $\pm 5\%$.
Variable a medir: Presión atmosférica.		
MPL3115A2	NXP Semiconductors, Eindhoven, The Netherlands	Rango de presión: 300 a 1.100 hPa. Precisión: $\pm 0,03$ hPa.
Variable a medir: Dirección y velocidad del viento.		
WS-3000, SparkFun	Ambient Weather, Chandler, AZ, USA; SparkFun Electronics, Niwot, CO, USA.	Rango de velocidad del viento: 0 a 30 m/s. Precisión: $\pm 0,2$ m/s.
Variable a medir: Concentración de CO_2 .		
MG-811, MQ135	Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd., Zhengzhou, China; Waveshare Electronics, Shenzhen, China	Rango de concentración de CO_2 : 0 a 5.000 ppm. Precisión: ± 50 ppm.

Tabla 6. Análisis de los Sistemas de información y sensores empleados.

Tecnologías habilitadoras	Tecnologías en la agricultura de precisión	Alcance o uso	Porcentaje de implementación según estudios publicados	Porcentaje de ahorro en pesticidas o fertilizante	Porcentaje de mejora en la producción/ cosecha	Porcentaje de ahorro energético
Robótica	Sembradoras de precisión: sembradoras que colocan las semillas de manera precisa y uniforme en el suelo.	Grandes extensiones de área para cultivar e industrializar la agricultura.	10-20 %	20-30 %	10-20 %	10-30 %
Automatización	Riego automatizado: sistemas que controlan el riego de los cultivos de forma automática, en función de las condiciones del suelo y del clima.	Explotaciones agrícolas de gran tamaño o con escasez de mano de obra.	5-10 %	10-20 %	10-20 %	20-50 %
Big Data	Análisis de datos: análisis de grandes cantidades de datos para identificar patrones y tendencias.	Explotaciones agrícolas de todos los tamaños.	5-10 %	10-20 %	10-20 %	10-30 %
SIG	Geolocalización: ubicación de los cultivos y el entorno en un mapa.	Explotaciones agrícolas de todos los tamaños.	5-10 %	10-20 %	10-20 %	20-50 %

Impacto de los SI en el consumo energético y reducción de huella de carbono

Los SI tienen un impacto significativo en el consumo energético y la reducción de la huella de carbono, por lo que Zanfrillo *et al.* [21] describe algunas de estas razones:

Eficiencia energética. Los SI pueden optimizar el uso de recursos energéticos al monitorear y controlar sistemas de iluminación, calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) en edificios comerciales y residenciales. Mediante el uso de sensores, automatización y análisis de datos, los SI pueden ajustar el consumo de energía según la demanda real, lo que resulta en un uso más eficiente de la energía.

Gestión de la cadena de suministro. Los SI permiten una mejor gestión de la cadena de suministro, lo que puede reducir las emisiones asociadas con el transporte y el almacenamiento de productos. Al optimizar las rutas de entrega, minimizar los tiempos de almacenamiento y reducir el desperdicio, los SI pueden ayudar a disminuir la huella de carbono de las operaciones logísticas.

Teletrabajo y videoconferencias. La adopción de SI facilita el trabajo remoto y las videoconferencias, lo que reduce la necesidad de desplazamientos físicos hacia y desde el lugar de trabajo. Menos desplazamientos significan una menor emisión de gases de efecto invernadero asociados con el transporte.

Monitorización y gestión de energía. Los SI pueden recopilar datos detallados sobre el consumo de energía en tiempo real, lo que permite a las organizaciones identificar áreas de alto consumo y tomar medidas para reducirlo. Esto puede incluir la identificación de equipos ineficientes, la programación de apagado automático de dispositivos no utilizados y la implementación de políticas de ahorro de energía.

Fomento de prácticas sostenibles. Los SI también pueden ayudar a las organizaciones a promover prácticas sostenibles entre sus empleados y clientes. Por ejemplo, aplicaciones móviles y plataformas en línea pueden educar sobre la importancia de reducir el consumo de energía y proporcionar herramientas para hacerlo, como consejos para un consumo más eficiente o la configuración de recordatorios para apagar dispositivos.

Impacto de los sistemas de computación y bases de datos en la nube para los procedimientos agrícolas

El impacto de los sistemas de computación y bases de datos en la nube en los procedimientos agrícolas ha sido significativo en los últimos años según Tovar [22], además estas son las principales ventajas que resulta de incorporar estas tecnologías en los procesos agrícolas:

Gestión de datos agrícolas. La agricultura de precisión se ha beneficiado enormemente de los sistemas de computación en la nube y las bases de datos. Los agricultores pueden recopilar datos de sensores, imágenes satelitales y drones, y almacenarlos de manera centralizada en la nube. Esto les permite acceder a información sobre el clima, el suelo, los cultivos y el rendimiento de manera más eficiente, lo que facilita la toma de decisiones informadas.

Optimización de la cadena de suministro. Los sistemas de bases de datos en la nube permiten una mejor coordinación entre los diversos actores de la cadena de suministro agrícola, desde los agricultores hasta los minoristas. Esto puede mejorar la planificación de la producción, la logística y la distribución, lo que reduce el desperdicio y aumenta la eficiencia.

Aplicaciones móviles para agricultores. Muchas aplicaciones móviles diseñadas para agricultores se basan en sistemas en la nube para almacenar datos y ofrecer servicios como recomendaciones de cultivos, seguimiento de inventario, gestión de la mano de obra y acceso a información sobre precios de productos.

Agricultura inteligente y automatización. La combinación de sistemas en la nube con tecnologías como el IoT y la Inteligencia Artificial (IA) ha llevado a avances en la agricultura inteligente y la automatización. Los agricultores pueden monitorear y controlar de forma remota equipos agrícolas, sistemas de riego y condiciones ambientales en tiempo real, lo que les permite optimizar el uso de recursos y maximizar el rendimiento de los cultivos.

Análisis predictivo y modelado. Los datos almacenados en la nube pueden ser utilizados para desarrollar modelos predictivos que ayuden a los agricultores a anticipar eventos como plagas, enfermedades de los cultivos o cambios en el clima. Esto les permite tomar medidas proactivas para mitigar riesgos y maximizar la producción.

4. CONCLUSIONES

Las tecnologías habilitantes de la agricultura inteligente en sinergia con los sistemas de información mejoran la eficiencia y la productividad de los cultivos, permiten tomar decisiones precisas sobre el riego, la fertilización, la siembra y la cosecha. Alineando los beneficios de la agricultura inteligente con los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas se tiene:

- **ODS 2:** Hambre cero, ayuda a aumentar la producción de alimentos, lo que contribuye a reducir el hambre y la malnutrición.
- **ODS 6:** Agua limpia y saneamiento, ayuda a reducir el consumo de agua, lo que puede contribuir a la conservación de los recursos hídricos.
- **ODS 12:** Producción y consumo responsables, ayuda a reducir los residuos, enfermedades, plagas en los cultivos y la contaminación, lo que puede contribuir a un consumo más sostenible y saludable.

Así lo respalda la información que se recopila por medio de sensores y se analiza a través de los sistemas de información, obteniendo una mayor eficiencia en el uso de los recursos y una mejora de la productividad de los cultivos, como consta en [1], [3], [14] - [17] y [19] con una reducción del 25 % en consumo de agua, una productividad de los cultivos en un 10 %; reducción de fertilizantes en un 50 % y pesticidas en un 25 %, con los datos obtenidos se logra conocer las necesidades nutricionales de los cultivos.

Para el mismo propósito en las investigaciones [5] - [7], [16] y [17] se utilizó *Machine Learning* mejorando la precisión en un ± 5 %, mientras que en [8], [9], [19] y [21] implementando cultivos hidropónicos evaluamos una reducción del consumo de agua entre 20 % al 30 %, y un aumento en la productividad de 5 – 10 % incluso la calidad del agua lo que permite tener consciencia de la huella hídrica y la calidad de los alimentos que se consumen, con lo cual se aplican prácticas justas para optimizar el uso del agua a la vez que protegemos al medio ambiente.

Además en los estudios [22] y [23] a través de sus razones que parten de los sistemas de información, junto con la computación en la nube y las bases de datos, desempeñan un papel importante en la agricultura debido a que permiten reducir costos de infraestructura, mejorar la logística y cadena de suministros, así como acceder a datos y análisis avanzados en síntesis, esto evidencia un impacto significativo en la eficiencia y sostenibilidad general. Actualmente los sistemas de información actúan de manera integral en la reducción del consumo de energía y la huella de carbono al haberse proporcionado buenas prácticas por parte de las organizaciones a la hora de implementar tecnologías en el agro, siendo una de estas, el uso de tecnologías limpias, la eficiencia operativa y la concientización y educación del personal.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que la población mundial seguirá aumentando en las próximas décadas, alcanzando los 9.700 millones de personas en 2050 y los 10.900 millones de personas en 2100, ante esta información aumenta la presión sobre el control y buena gestión que se debe realizar de los recursos naturales, en especial del agua.

En las investigaciones [24] - [33], se confirman datos de ahorro de agua hasta en un 25 %, además del ahorro energético en un 35 % a su vez que se genera la incorporación de elementos robóticos del 1 % al 30 %, esto gracias a la funcionalidad de dispositivos a través de baterías, en estos estudios aparecen otras tecnologías habilitadoras como la automatización que genera del 20 % al 50 % de reducción energética, así como la big data y SIG que permiten el ahorro de entre 10 % a 50 %.

Por otra parte, el aumento de la productividad por medio de distintos sistemas de información que con la implementación de sensores agrícolas logrando reducir el uso de fertilizantes hasta en un 30 % y el uso de pesticidas en un 20 % aproximadamente, los desafíos para el desarrollo del agro son grandes pero el cambio climático, la pérdida de cosechas y los contaminantes como metales pesados pueden evitarse aplicando correctamente la agricultura inteligente y los distintos sistemas de información descritos en la Tabla 6.

Este artículo reúne datos relevantes para futuras investigaciones y permitió elaborar una guía sobre un modelado usando hardware de bajo costo y simuladores para que estudiantes universitarios puedan tener sus primeros pasos aplicando la agricultura inteligente.

REFERENCIAS

- [1] J. Tumiwa, O. Tuegeh, B. Bittner y A. Nagy, “The Challenges to Developing Smart Agricultural Village in The Industrial Revolution 4.0: The Case of Indonesia”, *Torun International Studies*, vol. 1, no. 15, pp. 25-45, jun. 2022. [Online], Available: <https://doi.org/10.12775/TIS.2022.002>
- [2] B. Kitchenham, y S. Charters,” Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering”, Keele University and Durham University, 2007. [Online], Available: https://www.researchgate.net/publication/302924724_Guidelines_for_performing_Systematic_Literature_Reviews_in_Software_Engineering
- [3] P. Dato, B. Khairul y E. Luah, “The Role of Smart Farming in Sustainable Development”, *International Journal of Asian Business and Information Management*, vol. 13, no. 2, pp. 1–12, jul. 2021. [Online], Available: <https://doi.org/10.4018/ijabim.20220701.0a5>
- [4] A. Sonnino y J. Ruane, “La innovación en agricultura y las biotecnologías agrícolas como herramientas de las políticas de seguridad alimentaria”, en *Biotechnologías e innovación: el compromiso social de la ciencia*, Pontificia Universidad Javeriana, 2013, pp. 25-52, https://www.researchgate.net/publication/263443721_La_innovacion_en_agricultura_y_las_biotecnologias_agricolas_como_herramientas_de_las_politicas_de_seguridad_alimentaria.
- [5] J. Lamis, J. Plasencia y F. Marrero, “Evaluación del nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información a través de la Lógica Difusa Compensatoria”, *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*. vol. 33, no. 1, pp. 154-168, jun. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.4383>
- [6] L. Wang, C. Qi, P. Jiang y S. Xiang, “The Impact of Blockchain Application on the Qualification Rate and Circulation Efficiency of Agricultural Products: A Simulation Analysis with Agent- Based Modelling”. *International Journal Environment Research Public Health*, vol. 19, no. 13, pp. 1-17 jun. 2022. [Online], Available: <https://doi.org/10.3390/ijerph19137686>

- [7] C. Maraveas y T. Bartzanas, “Aplicación de internet de las cosas (IoT) para entornos de invernadero optimizados”, *Magna Sci. UCEVA*, vol. 2, no. 2, pp. 260-275, dic. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a11>
- [8] S. Quishpe, M. Padilla, y M. Ruiz, “Despliegue Óptimo de Redes Inalámbricas para Medición Inteligente”, *Revista Técnica Energía*, vol. 16, no. 1, pp. 106–113, jul. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v16.n1.2019.341>
- [9] D. Duarte, “Modelo matemático de conductividad eléctrica en función del flujo acuífero en suelos usando mallado de flujos”. *Ingeniería UC*, vol. 27, no. 3, pp. 343–352, dic. 2020. [En línea]. Disponible en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v27n3/art08.pdf>
- [10] S. Pazmiño, R. Carriel y J. Mosquera, “Importancia de los sistemas de información para tomar mejores decisiones empresariales”, *Conciencia Digital*, vol. 6, no. 1, pp. 87-101, en. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i1>
- [11] R. Lapiedra, J. López, S. Ferrer y J. Darocha, “Planificación y organización de los sistemas de información en la empresa”, 1^{er} ed. España: Universidad Jaume I, Sarpienta, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia169>
- [12] H. Vite, J. Townsend y H. Carvajal, “Big Data e internet de las cosas en la producción de banano orgánico”, *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 12, no. 4, pp. 192-200, jul. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1630/1635>
- [13] O. López, M. Dorado y D. Martínez, “Aplicabilidad de los sistemas de información en una EAPB de la ciudad de Cali 2021”, *Ciencia Latina*, vol. 7, no. 3, pp. 7786-7801, jul. 2023. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6758
- [14] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), “Tecnologías digitales para un nuevo futuro”, Santiago: Naciones Unidas, 2021. <https://hdl.handle.net/11362/46816>
- [15] B. Tobar y M. Morán, “Agricultura de precisión y redes de sensores inalámbricos, análisis de su implementación y ventajas en el Ecuador”, *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 15, no. 6, pp. 54-69, jun. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://publicaciones.uci.cu/index.php/serie/article/view/1082>
- [16] N. Blanco, “Generación de energía eléctrica en sistemas de generación distribuida de pequeña escala usando bioenergía en Nicaragua”, *Revfue*, vol. 19, no. 1, pp. 21–31, dic. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/12371>
- [17] M. Shahbandeh, “Estimated value of artificial intelligence in agriculture market from 2023 to 2028”, *Statista*, oct 2023. [Online], Available: <https://www.statista.com/statistics/1326924/ai-in-agriculture-marketvalue-worldwide/>.
- [18] Precedence Research, “Artificial Intelligence in Agriculture Market Size”, *Precedence Research*, jul. 2023. [En línea]. Available: <https://www.precedenceresearch.com/table-of-content/3157>
- [19] F. Fernández, “IoT aplicado al monitoreo en tiempo real de cultivos agrícolas”, *Reportes Científicos de La FACEN*, vol. 14, no. 1, pp. 62-69, jun. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18004/rcfacen.2023.14.1.62>

- [20] S. Fonseca, M. Andrade, A. Luchiari y S. Medeiros, “A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente”, *Embrapa*, vol. 1, no. 2, pp. 20-45, sep. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217698/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap1.pdf>
- [21] A. Zanfrillo y M. Artola, “Aportes para la inclusión de la dimensión medioambiental en los sistemas de información”, *CAPIC REVIEW*, vol. 17, no. 1, pp. 1–13, dic. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://capicreview.com/index.php/capicreview/article/view/59>
- [22] A. Tovar, “Agricultura 4.0: uso de tecnologías de precisión y aplicación para pequeños productores”, *Informador Técnico*, vol. 87, no. 2, pp. 168–184, oct. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/588299670.pdf>
- [23] S. Jones, J. Smith, y M. Brown, “The role of big data, the internet of things (IoT), and spatial information systems (GIS) in smart agriculture”, *Sustainability*, vol. 13, no. 18, pp. 10-143, ago. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su131810143>
- [24] P. Dev, S. Khandelwal, S. Yadav, V. Arya y H. Mali, “Climate Based Smart Agriculture: Need for Food Security and Sustainability”, *International Journal of Environment and Climate Change*, vol. 13, no. 3, pp. 224-231, mar. 2023. [Online], Available: <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i31702>
- [25] G. Martínez, D. Flórez y N. Bravo, “Desarrollo de un sistema web y móvil para la gestión de cultivos agrícolas”, *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, vol. 10, no. 18, pp. 151-166, sep. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5343/534367758010/html/>
- [26] J. González, M. Montaña, O. Jiménez, L. Mingo y C. Carrión, “Diseño y despliegue de un sistema de monitoreo basado en IoT para cultivos hidropónicos”, *Ingenius: Revista de Ciencia y Tecnología*, vol. 13, no. 30, pp. 9-18, jul. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.17163/ings.n30.2023.01>
- [27] J. Saavedra, M. Hernández y C. Mendoza, “Aplicaciones y beneficios IOT como alternativa en el gobierno TI: Revisión sistemática de literatura”, *Revista Científica de La UCSA*, vol. 10, no. 1, pp. 120-138, abr. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2023.010.01.120>
- [28] S. Kumar, A. Pandey, y M. Singh, “Smart agriculture: A review of the role of spatial information systems (GIS) and robotics”, *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 15, no. 6, pp. 1-14, 2022. <https://doi.org/10.22065/j.ijabe.2022.2340>
- [29] J. Laverde y C. Laverde, “Internet de las cosas aplicado en la agricultura ecuatoriana: Una propuesta para sistemas de riego”, *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, vol. 8, no. 2, pp. 1-14, abr. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i2.2542>
- [30] A. Molina, C. Hueichaqueo, B. Martínez, A. Placeres, C. Molina, P. Hueichaqueo, B. Martínez y A. Placeres, “Monitoreo de calidad del agua en sistema de agua potable rural”, *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, vol. 42, no. 3, pp. 60-70, 2021. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282021000300060

- [31] E. Montoya, S. Colorado, W. Muñoz y G. Golondrino, “Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT”, *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*, vol. 17, no. 24, pp. 39-56, mar. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6673698>
- [32] C. Ordoñez, H. Ordoñez y A. Ordoñez, “Low-cost Prototype for Automating of Greenhouse Medicinal Cannabis Production Supported by IoT”, *Revista científica*, vol. 45, no. 3, pp. 414-421, Sep. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.14483/23448350.19678>
- [33] A. González, G. Amarillo, M. Amarillo y F. Sarmiento, “Drones Aplicados a la Agricultura de Precisión”, *Publicaciones e Investigación*, vol. 10, no. 1, pp. 23-39, mar. 2016. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/25394088.1585>



Análisis de accesibilidad en los sitios web de las universidades ecuatorianas

(Accessibility Analysis of Ecuadorian University Web sites)

Washington Chiriboga-Casanova¹, Nuria Medina Medina², Patricia Paderewski Rodríguez²

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador

² Universidad de Granada, Granada, España

wchiriboga@uteq.edu.ec, nmedina@ugr.es, patricia @ugr.es

Resumen: El artículo aborda las dificultades de navegación que presentan las páginas web de universidades ecuatorianas respecto a la accesibilidad. El objetivo de este artículo es determinar el grado de aplicación de las pautas WCAG 2.1, en las universidades ecuatorianas. Para ello se aplicaron varias herramientas de validación. Del total de 61 páginas web analizadas, solo 11 presentaban un botón para ajustes visuales. Utilizando TAW (Test de Accesibilidad Web) y un análisis de dispersión, se determinó que la mayoría de las universidades tienen hasta 26,8 errores en el principio "Perceptible"; 46,8 errores en el principio "Operable"; 9,4 errores en el principio "Comprensible" y 9,4 errores en el principio "Robusto". Utilizando Markup Validation Service se encontraron hasta 80 errores de marcado. La aplicación del CSS Validation Service evidenció hasta 143 errores en las páginas web. Con estos resultados, los desarrolladores web podrán enfocar sus mejoras, considerando las pautas de accesibilidad.

Palabras clave: Accesibilidad, WCAG, Web, Universidad.

Abstract: The article addresses the navigation difficulties encountered on the web pages of Ecuadorian universities about accessibility. The aim is to determine the extent to which the WCAG 2.1 guidelines applied in these universities. Of the 61 web pages analyzed, only 11 featured a button for visual adjustments. Utilizing TAW (Web Accessibility Test) and dispersion analysis, it was found that most universities exhibit up to 26,8 errors in the 'Perceivable' principle, 46,8 errors in the 'Operable' principle, 9,4 errors in the 'Understandable' principle, and 9,4 errors in the 'Robust' principle. When using the Markup Validation Service, as many as 80 markup errors were discovered. Similarly, with the CSS Validation Service, up to 143 errors were identified on the web pages. These findings enable web developers to better target their improvements, considering accessibility guidelines.

Keywords: Accessibility, WCAG, Web, University.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, internet es una herramienta indispensable, transformando radicalmente la forma en que accedemos a la información, nos comunicamos y aprendemos [1]. Su omnipresencia en la vida cotidiana subraya la importancia de que los recursos en línea sean accesibles para todos, incluyendo a personas con discapacidades. La accesibilidad web se constituye entonces en un componente crucial de la Interacción Humano-Computador (IHC). La accesibilidad se refiere a la práctica de hacer que los sitios web y las aplicaciones web sean utilizables por personas de todas las habilidades y discapacidades [2], [3]. Por lo tanto, no es solo una cuestión de inclusión, sino también una necesidad imperativa en el mundo digital.

En este escenario, organizaciones como el W3C (Consorcio World Wide Web) establecen directrices para asegurar la accesibilidad de la web a personas con discapacidades. La Iniciativa

de Accesibilidad Web (WAI, Web Accessibility Initiative) consta de tres elementos principales: pautas de accesibilidad para contenidos web (WCAG, Web Content Accessibility Guidelines), pautas de accesibilidad para herramientas de creación (ATAG, Authoring Tool Accessibility Guidelines) y pautas de accesibilidad para agentes de usuario (UAAG, User Agent Accessibility Guidelines) [4].

Los estándares establecidos WCAG 2.0 (en 2008 [5]) y WCAG 2.1 (en 2018 [6]) tienen pautas organizadas bajo 4 principios: Perceptibles, Operables, Comprensibles y Robustos. Para cada guía, hay criterios de éxito comprobables, que se encuentran en tres niveles: A, AA y AAA; que se asignan según el cumplimiento de criterios. Las WCAG establecen un marco para garantizar que los sitios web sean accesibles para todos los usuarios [6]. Cabe recalcar que en nuestra investigación nos enfocaremos en el cumplimiento de la versión WCAG 2.1, la cual abarca en su totalidad a la versión WCAG 2.0, esto quiere decir que si los sitios web cumplen con las WCAG 2.1 también cumplirían con las WCAG 2.0.

Implementar estas pautas en los sitios web universitarios presenta desafíos significativos. Estudios recientes han revelado que muchas universidades no alcanzan un nivel aceptable de cumplimiento con las WCAG, lo que indica un camino por recorrer hacia la accesibilidad web en la educación superior [7]–[10]. Los desafíos incluyen barreras como la sintaxis del lenguaje de marcado, la presentación del contenido y la legibilidad visual del texto, que son aspectos críticos en la accesibilidad [11], [12]. Además, la evaluación de la conformidad con las WCAG plantea dificultades adicionales, como la compatibilidad con tecnologías de asistencia, la comprobación de criterios de éxito y la interpretación de resultados parciales [13].

Bajo este contexto, se plantea como objetivo principal de esta investigación determinar el grado de aplicación de las pautas WCAG 2.1, en las universidades ecuatorianas. Como objetivos específicos se definen los siguientes:

- Establecer los elementos de evaluación de accesibilidad
- Caracterizar el nivel de cumplimiento de accesibilidad

Este estudio se centra en la aplicación de las pautas WCAG 2.1 [6], como marco de referencia para evaluar la accesibilidad de las páginas web, acorde a los 4 principios de que la conforman: Perceptible, Operable, Comprensible y Robusta. La evaluación se aplicó al criterio de más alto nivel, equivalente a AAA.

Se analizaron las páginas web iniciales de las universidades del Ecuador como fuente principal para este estudio, considerando que estas instituciones poseen infraestructura y personal calificado para la creación de sitios web, acorde a las especificaciones y normativas nacionales y extranjeras.

Consideramos que la evaluación de accesibilidad de las universidades ecuatorianas no solo beneficia a los estudiantes con discapacidades, sino que también mejora la experiencia de todos los usuarios. Un sitio web accesible es generalmente más navegable, más fácil de usar y más eficiente en términos de mantenimiento. Además, las universidades que priorizan la accesibilidad web pueden mejorar su reputación y cumplir con las obligaciones legales y éticas [11].

Las siguientes secciones de este artículo se estructuraron de la siguiente manera: trabajos relacionados, metodología, resultados, discusión y conclusiones.

2. TRABAJOS RELACIONADOS

La accesibilidad web en las universidades es un tema de creciente importancia en la era digital, especialmente en el contexto de las universidades ecuatorianas. Los desarrolladores de sitios web deben procurar que los sitios web universitarios sean accesibles para todos, incluidas las personas

con discapacidad. La accesibilidad es fundamental para garantizar la igualdad de oportunidades en la educación y el acceso a la información.

La recomendación de las WCAG 2.0 establecidas por la W3C en el 2008, estandarizadas por la ISO 40500 en el 2012, sirvieron de referencia para crear la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN ISO/IEC 40500 [15], que tiene como base las recomendaciones establecidas por las WCAG 2.0. Por otro lado, en Ecuador se cuenta con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 288 de Accesibilidad para el contenido web del 10 de febrero de 2016 [16]. Estas normas deben aplicarse a cada institución pública del país, incluyendo las universidades y escuelas politécnicas.

Investigaciones recientes han mostrado que muchas universidades aún enfrentan desafíos significativos para cumplir con las WCAG. Un estudio de Laitano [11] encontró que las barreras de accesibilidad en los sitios web universitarios son principalmente graves y están relacionadas con la sintaxis del lenguaje de marcado y la presentación del contenido. Además, un estudio de Máñez Carvajal [8] reveló que los sitios web de las universidades chilenas presentan barreras significativas para el acceso a la información por parte de personas con discapacidades. De manera similar, Ismail y Kuppusamy [12] presentaron el informe de accesibilidad de los sitios web muestran que es necesario realizar una serie de mejoras adicionales para hacerlos más accesibles.

Los problemas más comunes en la accesibilidad web en las universidades incluyen la falta de compatibilidad con tecnologías de asistencia, la ausencia de texto alternativo para imágenes, la inadecuada estructuración de los contenidos y la falta de opciones de navegación accesibles. Estos problemas no solo impiden que los estudiantes con discapacidades accedan a la información, sino que también afectan la calidad general de la experiencia educativa en línea [7].

Los retos de la accesibilidad web son numerosos y complejos, y van desde cuestiones técnicas a consideraciones de diseño. Un reto importante es la sintaxis del lenguaje de marcado, que puede afectar a la precisión y coherencia de la información presentada en la web. Esto es especialmente importante para las personas con discapacidad que utilizan tecnologías de apoyo para acceder a los contenidos en línea, como lectores de pantalla o programas de reconocimiento de voz.

Otro factor crítico es la presentación del contenido, que puede afectar en gran medida a su legibilidad y comprensión. Esto incluye aspectos como el tamaño de la fuente, el contraste de colores y el espaciado, que pueden afectar a la capacidad del usuario para navegar e interactuar con la página web. Además, la legibilidad visual del texto es una consideración crucial, ya que puede ser una barrera importante para las personas con deficiencias visuales [11], [12].

Además de estos retos, evaluar el cumplimiento de las WCAG presenta su propio conjunto de dificultades. Esto incluye garantizar la compatibilidad con las tecnologías de asistencia, verificar los criterios de éxito e interpretar los resultados parciales. Conseguir el pleno cumplimiento de las WCAG puede ser un proceso complejo y continuo, que requiere pruebas, auditorías y actualizaciones constantes para garantizar que todos los usuarios, independientemente de sus capacidades, puedan acceder y utilizar el contenido web sin barreras ni limitaciones [13].

Estudios realizados en universidades del Ecuador [15], [16], en Institutos Tecnológicos [17] y en Instituciones de educación [18] [19] también revelan el incumplimiento de la aplicación de la norma NTE INEN ISO/IEC 40500 y de las pautas WCAG.

Entre las recomendaciones más comunes se mencionan la implementación de texto alternativo para imágenes, la creación de contenido que sea fácilmente navegable y comprensible, y la garantía de que todos los elementos interactivos sean accesibles mediante teclado. Además, la formación y sensibilización del personal y los desarrolladores web en las universidades es crucial para garantizar la implementación efectiva de estas prácticas [20].

En general, abordar los retos de la accesibilidad web requiere un enfoque integral que tenga en cuenta tanto los aspectos técnicos como los de diseño, así como una evaluación y perfeccionamiento continuos para garantizar que todos los usuarios puedan beneficiarse de toda la gama de contenidos y servicios en línea.

Los estudios anteriores evidencian que los problemas de accesibilidad web persisten, tanto en diferentes escenarios geográficos como en Ecuador. Además, se plantean recomendaciones para superar estos inconvenientes. Sin embargo, no se presentan con suficiente detalle los errores encontrados con relación a las pautas actuales WCAG en su versión 2.1. En la mayoría de los estudios se verifica el cumplimiento a nivel AA, aunque existe un nivel AAA que podría incrementar la accesibilidad y mejorar la experiencia de usuario. También se observa que en pocas evaluaciones de accesibilidad se determina la existencia de alternativas de adaptación dinámica de la página web para resolver en tiempo real los problemas de accesibilidad. Nuestro estudio aborda estas brechas y presenta un enfoque diferente de presentación de los errores de accesibilidad detectadas por la combinación de tres herramientas automatizadas de evaluación. Además, se realiza la verificación de la existencia de un medio de adaptación de la página mediante un elemento que modifique la interfaz para mejorar la accesibilidad web.

3. METODOLOGÍA

Para establecer los elementos de evaluación de accesibilidad se realizó una revisión de bibliografía elemental, determinando cuáles son los estándares que pudieren aplicarse para evaluar los niveles de accesibilidad de las universidades ecuatorianas.

La caracterización del nivel de cumplimiento de accesibilidad se desarrolló en las siguientes fases:

1. Obtener el listado de sitios web de las universidades ecuatorianas. La fuente de información oficial de este dato se lo obtiene del sitio web del Consejo de Educación Superior (CES) [21].
2. Aplicar software de evaluación de páginas web. La W3C provee una orientación muy detallada del proceso de evaluación, así como una lista de posibles herramientas que están disponibles de manera gratuita [22]. Entre las herramientas disponibles se seleccionó TAW (Test de Accesibilidad Web), creada por la fundación CTIC (Centro Tecnológico de la Información y la Comunicación) [23]. Una vez que se ingresa al sitio web de TAW se ingresa la URL de la página a revisar, seleccionando el nivel de análisis AAA, lo que permite obtener el número de errores y un reporte detallado de las falencias encontradas en los cuatro criterios: Perceptible, Operable, Compresible y Robusto. También se consideró apropiado realizar una verificación de la calidad con las que se construyó el sitio web de las universidades, por lo que se utilizó las herramientas Markup Validation Service y CSS Validation Service, que provee la W3C [24], [25].
3. Revisión básica de las páginas web. Con base en el listado, se visitó cada sitio web de las universidades ecuatorianas, para verificar cuantas de ellas aplicaba algún elemento de accesibilidad de fácil reconocimiento y activación. Específicamente se verificó la existencia del botón de accesibilidad.
4. Consolidación de los datos obtenidos. Toda la información que se obtuvo de las herramientas de validación, así como de la visita de cada sitio web se registró en una hoja electrónica.
5. Aplicación de estadísticas descriptivas para caracterizar la aplicación de pautas de accesibilidad. Se aplicó un análisis de dispersión de los errores detectados para determinar el nivel de accesibilidad de los sitios web.

La fase dos y las subsiguientes, en las que se recolectan y procesan los datos se realizó en el mes de noviembre de 2022.

4. RESULTADOS

De las 61 páginas web universitarias ecuatorianas revisadas, solo 11 incluyen un botón de accesibilidad (ver Apéndice 1). Los aspectos que se manejan con el botón de accesibilidad son los que se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Aplicación de botón de accesibilidad en páginas web de universidades ecuatorianas.

Adecuación de accesibilidad	Número de universidades que aplican el tipo de adecuación de accesibilidad
Escala gris	7
Saturación	2
Contraste	9
Blanco y negro	2
Tamaño de fuente	10
Fuente legible	3
Subrayar enlaces	4
Detener movimientos	1
Redirección a página accesible	1
Regla resaltada para lectura	1

En el Apéndice 2 consta el resultado de la verificación del botón de accesibilidad.

La herramienta TAW se aplicó a las 61 universidades; sin embargo, solo se obtuvieron resultados de 50 de ellas, pues esta herramienta no lograba presentar resultados, aún después de tres intentos diarios en diferentes fechas; quizás los sitios tenían alguna restricción de seguridad o la cantidad de elementos de la página sobrecargaba el tiempo de respuesta. Mediante el uso de TAW, se obtuvo un desglose detallado de problemas, advertencias y elementos no verificados en cada página web revisada. Además, se generó el reporte detallado de los errores encontrados.

La Tabla 2 muestra un resultado general de los errores encontrados. Dentro del contexto de la prueba usando TAW, el criterio “Operable” es el de mayor cantidad de errores; mientras que los criterios “Comprensible” y “Robusto” son los de menor número de errores. Las pruebas con Markup Validation Service y con CSS Validation Service también revelan un elevado número de errores.

Tabla 2. Media y desviación estándar del número de errores en cada criterio de WCAG 2.1 (nivel AAA).

	Prueba TAW				Markup Validation Service	CSS Validation Service
	Perceptible	Operable	Comprensible	Robusto		
Media	28,2	53,9	3,8	3,9	52,7	57,2
Desv. Std.	30,2	46,9	7,3	7,4	78,9	102,6

Con el fin de destacar la importancia de los resultados, se realizó un conteo y se determinó la cantidad de errores en cada uno de los principios de accesibilidad definidos por las pautas WCAG 2.1: Perceptible, Operable, Comprensible y Robusto.

Los gráficos que se observan en la Figura 1 revelan que existe mayor dispersión de la cantidad de errores en el principio Perceptible y en el principio Operable. En el principio Perceptible la mayoría de los casos tienen menos de 60 errores y el peor de los casos tiene 134 errores. En el principio Operable la mayoría de los casos tienen menos de 80 errores, aunque el peor de los casos llega a tener 234 errores. Por otro lado, en el principio Compresible y en el principio Robusto la mayoría de los errores se encuentran cercanos al límite inferior, aunque pocos casos superan los 20 errores.

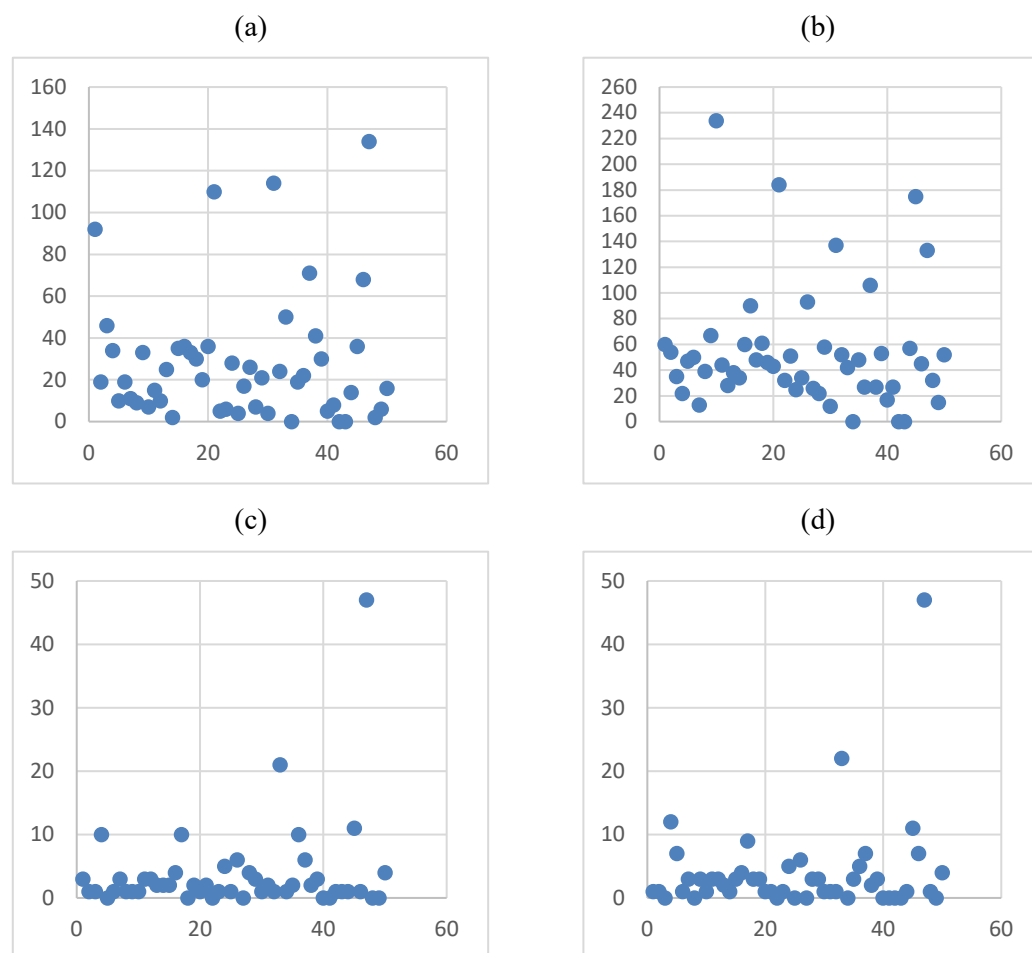


Figura 1. Gráficos de dispersión del número de errores por principio: (a) Perceptible, (b) Operable, (c) Compresible, (d) Robusto.

Para identificar de manera más precisa las áreas donde se concentran los errores, se establecieron cinco intervalos. Primero, se determinó la cantidad máxima y mínima de errores en cada criterio (Perceptible, Operable, Compresible, Robusto). Luego, se calculó la diferencia entre el valor máximo y mínimo y se dividió por 5, obteniendo así el rango de cada intervalo. Este rango se utilizó para determinar los límites inferior y superior para cada uno de los cinco intervalos.

Los resultados de las Tablas 3, 4, 5, y 6 demuestran que el 62 % de las universidades tiene entre cero y 26,8 errores en el principio Perceptible; el 54 % tiene hasta 46,8 errores en el principio Operable; el 88 % tiene hasta 9,4 errores en el principio Compresible; y el 92 % tiene hasta 9,4 errores en el principio Robusto. Se evidencia numéricamente que la mayor cantidad de errores se encuentran en el principio Perceptible y en el Operable.

Tabla 3. Conteo de errores del criterio “Perceptible”.

Número máximo de errores: 134			
Número mínimo de errores: 0			
Rango: 26,8			
Límite inferior	Límite superior	Conteo	%
0	26,8	31	62,0 %
26,8	53,6	13	26,0 %
53,6	80,4	2	4,0 %
80,4	107,2	1	2,0 %
107,0	134,0	3	6,0 %
Total		50	100,0 %

Tabla 4. Conteo de errores del criterio “Operable”.

Número máximo de errores: 234			
Número mínimo de errores: 0			
Rango: 46,8			
Límite inferior	Límite superior	Conteo	%
0	46,8	27	54,0 %
46,8	93,6	17	34,0 %
93,6	140,0	3	6,0 %
140,0	187,0	2	4,0 %
187,0	234,0	1	2,0 %
Total		50	100,0 %

Tabla 5. Conteo de errores del criterio “Comprensible”.

Número máximo de errores: 47			
Número mínimo de errores: 0			
Rango: 9,4			
Límite inferior	Límite superior	Conteo	%
0	9,4	44	88,0 %
9,4	18,8	4	8,0 %
18,8	28,2	1	2,0 %
28,2	37,6	0	0,0 %
37,6	47,0	1	2,0 %
Total		50	100,0 %

Tabla 6. Conteo de errores del criterio “Robusto”.

Número máximo de errores: 47			
Número mínimo de errores: 0			
Rango: 9,4			
Límite inferior	Límite superior	Conteo	%
0	9,4	46	92,0 %
9,4	18,8	2	4,0 %
18,8	28,2	1	2,0 %
28,2	37,6	0	0,0 %
37,6	47,0	1	2,0 %
Total		50	100,0 %

Se realizó un proceso similar con los resultados obtenidos de la evaluación mediante las herramientas Markup Validation Service y CSS Validation Service. Los gráficos de dispersión que se observan en la Figura 2.

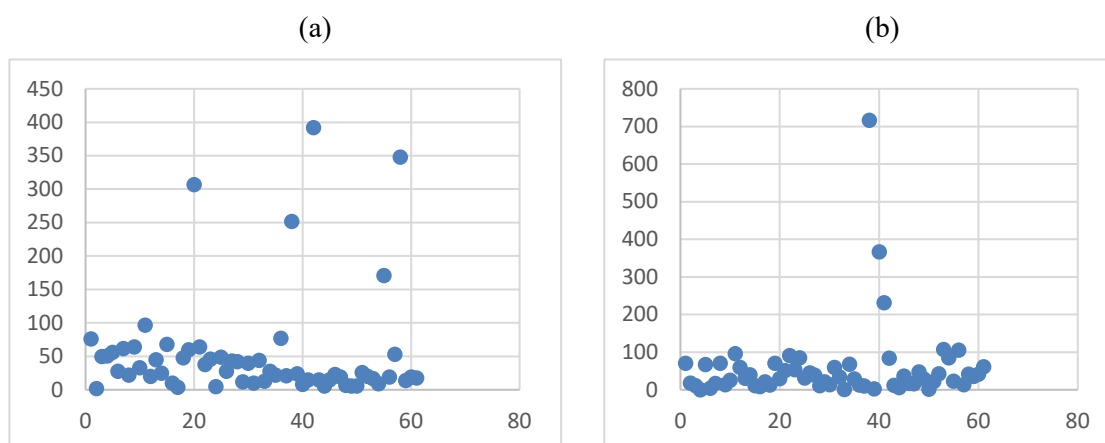


Figura 2. Gráficos de dispersión del número de errores: (a) errores con Markup Validation Service, (b) errores con CSS Validation Service.

De manera similar, se calcularon los límites de cada uno de los cinco intervalos. Los resultados que se observan en las Tablas 7 y 8. En esta ocasión se logró aplicar la evaluación a todas las páginas web de las 61 universidades. Utilizando el Markup Validation Service se encontró que el 90,2 % de páginas web tienen entre dos a 80 errores. Con la herramienta CSS Validation Service se determinó que el 95,1 % de páginas web tienen entre cero y 143 errores (ver las Tablas 7 y 8).

Tabla 7. Conteo de errores con Markup Validation Service.

Número máximo de errores: 392			
Número mínimo de errores: 2			
Rango: 78			
Límite inferior	Límite superior	Conteo	%
2	80	55	90,2 %
80	158	1	1,6 %
158	236	1	1,6 %
236	314	2	3,3 %
314	392	2	3,3 %
Total		61	100,0 %

Tabla 8. Conteo de errores con CSS Validation Service.

Número máximo de errores: 717			
Número mínimo de errores: 0			
Rango: 143			
Límite inferior	Límite superior	Conteo	%
0	143	58	95,1 %
143	287	1	1,6 %
287	430	1	1,6 %
430	574	0	0,0 %
574	717	1	1,6 %
Total		61	100,0 %

En el apéndice tres consta el detalle de la verificación de cada página web acorde a las herramientas utilizadas.

5. DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación muestran que muchas de las páginas web analizadas presentan dificultades de navegación debido a la falta de cumplimiento con las pautas de accesibilidad WCAG 2.1. Siguiendo los criterios de Alsaeedi [26], empleamos herramientas automáticas de validación como TAW, Markup Validation Service y CSS Validation Service, para verificar la aplicación de las pautas de accesibilidad.

El uso de TAW reveló errores significativos en los principios de "Perceptible", "Operable", "Comprensible" y "Robusto". Estos hallazgos son similares a los de García-Ruiz *et al.* [2], quienes también observaron un alto número de errores en sitios web universitarios, especialmente en los principios de "Operable" y "Perceptible". Este hallazgo también es consistente con estudios previos de varios autores ([7], [16]–[19]) que han identificado barreras de accesibilidad en sitios web universitarios, quienes también encontraron que la mayoría de los sitios web universitarios del Ecuador no cumplían con las pautas de accesibilidad.

El hecho de que solo 11 de las 61 páginas web analizadas presentaran un botón para ajustes visuales refleja la falta de consideración hacia las necesidades específicas de los usuarios en el diseño web. Este resultado es similar al de Segarra-Faggioni *et al.* [27], quienes encontraron que un número limitado de sitios web ofrecían opciones de personalización visual para mejorar la accesibilidad.

El alto número de errores de marcado y de validación de CSS en las páginas web analizadas sugiere que los desarrolladores web de universidades en Ecuador podrían beneficiarse de una mayor capacitación y concienciación en cuanto a las pautas de accesibilidad y su aplicación práctica. Este hallazgo respalda el argumento de Gay [28] quien también destaca la necesidad de capacitar a los desarrolladores en el diseño de sitios web accesibles.

Es importante destacar que nuestro enfoque en el contexto ecuatoriano respalda la necesidad de investigaciones adicionales en diferentes contextos geográficos y culturales para obtener una comprensión más amplia de la accesibilidad web en sitios web universitarios a nivel mundial. Los estudios realizados en otros países ([9]–[11], [29]–[32]) pueden proporcionar pautas adicionales de mejora considerando un aporte al diseño universal, mucho más si se considera que los sitios web universitarios también son visitados por estudiantes extranjeros.

La identificación de errores en los principios "Perceptible", "Operable", "Comprensible" y "Robusto" en nuestro estudio proporciona información valiosa para los desarrolladores web, quienes pueden utilizar estos datos para enfocar sus esfuerzos de mejora en áreas específicas de las pautas WCAG 2.1. Los resultados de este estudio revelan que la mayoría de los sitios web de las universidades ecuatorianas no cumplen adecuadamente con las pautas WCAG 2.1, lo que indica barreras significativas en la accesibilidad web. Este incumplimiento plantea desafíos en áreas como la presentación de contenido, navegabilidad y compatibilidad con tecnologías de asistencia.

Contrastando con otros estudios, como el de Laitano [11] y Máñez Carvajal[8], quienes también identificaron problemas similares en sitios web universitarios en diferentes regiones, se evidencia una tendencia global hacia la necesidad de mejorar la accesibilidad web en el ámbito educativo. Estos autores destacan barreras en la sintaxis del lenguaje de marcado y la presentación del contenido, que coinciden con nuestras observaciones.

Además, el trabajo de Ismail y Kuppusamy [12] sobre la accesibilidad web en instituciones educativas subraya la importancia de la formación y sensibilización del personal y los desarrolladores web en las universidades, lo cual es crucial para la implementación efectiva de las pautas de accesibilidad. Esto resalta la necesidad de un enfoque integral que no solo aborde los aspectos técnicos sino también la conciencia y el compromiso institucional hacia la accesibilidad web.

La falta de cumplimiento con las pautas WCAG 2.1 en los sitios web universitarios ecuatorianos puede limitar la inclusión digital de los usuarios y afectar negativamente su acceso a la información y los servicios en línea. Este hallazgo respalda la afirmación de Navarrete y Lujan [33], quienes enfatizaron la importancia de la accesibilidad web para promover la inclusión digital de todos los usuarios.

Aunque nuestro estudio proporciona una evaluación detallada de la accesibilidad web en los sitios web de universidades ecuatorianas, es importante reconocer que la accesibilidad es un concepto dinámico y en constante evolución. Por lo tanto, será fundamental llevar a cabo investigaciones futuras para evaluar el progreso en el cumplimiento de las pautas WCAG y analizar el impacto de las mejoras en la accesibilidad web en la experiencia del usuario.

6. CONCLUSIONES

La accesibilidad web requiere de la atención a varios aspectos como la reducción o pérdida de la visión, la audición, la cognición y la coordinación motora; Sin embargo, en los sitios web universitarios, analizados en esta investigación, solo se encontró la aplicación del botón de accesibilidad en 11 universidades, únicamente enfocados en adecuar aspectos de la visión de la página web.

La adecuación de los sitios web puede realizarse partiendo del uso de herramientas de detección de cumplimiento de las pautas WCAG. Esta investigación demostró la efectividad del uso de estas herramientas para detectar falencias en las páginas web. Los reportes obtenidos de ellas muestran errores, advertencias y los aspectos que se deben revisar de manera personalizada, incluso señalan las líneas de codificación que se deben corregir. La revisión mediante la herramienta TAW demostró que todas las páginas web revisadas tenían errores de accesibilidad. La validación de CSS y del lenguaje de marcado mostraron varios aspectos que se deben corregir para mejorar la forma de presentación y ajustarse a las pautas de accesibilidad.

Ante la situación actual de incumplimiento de las recomendaciones de accesibilidad, consideramos dos vías de solución: a) realizar un rediseño de cada sitio web, lo que conlleva a la asignación de presupuestos económicos y tiempo de desarrollo; b) desarrollar una herramienta tecnológica que permitan la adaptación dinámica de las páginas web y realice las modificaciones de manera automática, acorde al perfil del usuario que la utilice.

En trabajos futuros se ampliará el ámbito geográfico para realizar un análisis comparativo de la accesibilidad web entre universidades en diferentes países, lo que permitiría identificar errores adicionales y consecuentemente plantear mejores prácticas en el diseño y desarrollo de sitios web accesibles. También se requiere de un estudio longitudinal que evalúe la evolución de la accesibilidad web en los sitios de universidades ecuatorianas a lo largo del tiempo.

REFERENCIAS

- [1] S. Abou-Zahra y J. Brewer, “Standards, Guidelines, and Trends” en *Web Accessibility A Foundation for Research*, London: Springer, 2019, pp. 225-246. [En línea]. Disponible en: 10.1007/978-1-4471-7440-0_13.
- [2] M. Campoverde-Molina, S. Lujan-Mora, y L. Valverde Garcia, “Empirical Studies on Web Accessibility of Educational Websites: A Systematic Literature Review”, *IEEE ACCESS*, vol. 8, pp. 91676-91700, may. 2020. [En línea]. Disponible en: 10.1109/ACCESS.2020.2994288.
- [3] A. Yeratziotis y P. Zaphiris, “A Heuristic Evaluation for Deaf Web User Experience (HE4DWUX)”, *Int J Hum Comput Interact*, vol. 34, no. 3, pp. 195-217, mrz. 2018. [En línea]. Disponible en: 10.1080/10447318.2017.1339940.

- [4] W3C, “W3C Accessibility Standards Overview | Web Accessibility Initiative (WAI) | W3C”, W3C Web Accessibility Initiative (WAI). Accedido: 25 de abril de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/>
- [5] W3C, “Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0”. Accedido: 18 de abril de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/WCAG20/>
- [6] W3C, “Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1”. Accedido: 18 de abril de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
- [7] P. Acosta-Vargas, S. Lujan-Mora, y L. Salvador-Ullauri, “Evaluation of the web accessibility of higher-education websites”, *2016 15th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, ITHET 2016*, nov. 2016. [En línea]. Disponible en: 10.1109/ITHET.2016.7760703.
- [8] C. M. Carvajal, “Evaluación de accesibilidad web de las universidades chilenas”, *Formación universitaria*, vol. 13, no. 5, pp. 69-76, oct. 2020. [En línea]. Disponible en: 10.4067/S0718-50062020000500069.
- [9] M. Akram, G. A. Ali, A. Sulaiman, y M. ul Hassan, “Accessibility evaluation of Arabic University websites for compliance with success criteria of WCAG 1.0 and WCAG 2.0”, *Univers Access Inf Soc*, vol. 22, pp.1199-1214, oct. 2023. [En línea]. Disponible en: 10.1007/s10209-022-00921-8.
- [10] S. Alim, “Web Accessibility of the Top Research-Intensive Universities in the UK”, *Sage Open*, vol. 11, no. 4, oct. 2021. [En línea]. Disponible en: 10.1177/21582440211056614.
- [11] M. I. Laitano, “Web accessibility in the Argentine public university space”, *Revista Española de Documentación Científica*, vol. 38, no. 1, mzo. 2015. [En línea]. Disponible en: 10.3989/redc.2015.1.1136.
- [12] A. Ismail y K. S. Kuppusamy, “Accessibility of Indian universities’ homepages: An exploratory study”, *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 30, n.º 2, pp. 268-278, abr. 2018. [En línea]. Disponible en: 10.1016/J.JKSUCI.2016.06.006.
- [13] F. Alonso, J. L. Fuertes, Á. L. González, y L. Martínez, “Evaluating conformance to WCAG 2.0: Open challenges”, en *Computers Helping People with Special Needs, Part I*. Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 2010, 417-424. [En línea]. Disponible en: 10.1007/978-3-642-14097-6_67/COVER.
- [14] ISO/IEC, “ISO/IEC 40500:2012 Information technology -- W3C Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0”, *ISO*. 2012. Accedido: 18 de abril de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/58625.html>
- [15] L. V Rodríguez, J. B. Antepara, y L. B. Braganza, “Análisis de accesibilidad web de las Universidades y Escuelas Politécnicas Públicas de Guayaquil aplicando la Norma NTE INEN ISO/IEC 40500:2012”, *Espiraes revista multidisciplinaria de investigación científica*, vol. 3, no. 27, mzo. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=573263326006>
- [16] P. Acosta-Vargas, S. Luján-Mora, y L. Salvador-Ullauri, “Evaluación de la accesibilidad de las páginas web de las universidades ecuatorianas”, presentada en XI Congreso de Ciencia y Tecnología, Salgolquí-Ecuador, jun. 2016. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10045/62300>
- [17] D. Naranjo-Villota, J. Guaña-Moya, P. Acosta-Vargas, y V. Muirragui-Irrazábal, “Evaluación de la accesibilidad web en institutos acreditados de educación superior del

- Ecuador”, *Espacios*, vol. 41, no. 4, feb. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n04/a20v41n04p05.pdf>
- [18] M. Campoverde Molina y L. Valverde, “Análisis de la accesibilidad de los portales web de las instituciones educativas en la ciudad de Cuenca, Ecuador”, *Cátedra*, vol. 2, no. 2, pp. 55-75, may. 2019. [En línea]. Disponible en: 10.29166/catedra.v2i2.1646.
- [19] M. Campoverde-Molina, S. Lujan-Mora, y L. Valverde, “Web accessibility in the web portals of the educational institutions of Ecuador. Preliminary analysis”, presentado en *EDULEARN19: 11th International Conference on Education And New Learning Technologies*, Spain, 1-3 jul, 2019.
- [20] L. A. Casasola Balsells, J. C. Guerra González, M. A. Casasola Balsells, y V. A. Pérez Chamorro, “La accesibilidad de los portales web de las universidades públicas andaluzas”, *Revista Española de Documentación Científica*, vol. 40, no. 2, pp. e169-e169, jun. 2017. [En línea]. Disponible en: 10.3989/REDC.2017.2.1372.
- [21] CES – Consejo de Educación Superior, “Universidades y escuelas politécnicas – CES – Consejo de Educación Superior”. Accedido: 23 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.ces.gob.ec/?page_id=326
- [22] W3C, “Web Accessibility Evaluation Tools List”. Accedido: 23 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/ER/tools/>
- [23] CTIC, “TAW | Servicios de accesibilidad y movilidad web”. Accedido: 23 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.tawdis.net/>
- [24] W3C, “The W3C Markup Validation Service”. Accedido: 23 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://validator.w3.org/>
- [25] WC3, “El Servicio de Validación de CSS del W3C”. Accedido: 23 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://jigsaw.w3.org/css-validator/>
- [26] A. Alsaeedi, “Comparing Web Accessibility Evaluation Tools and Evaluating the Accessibility of Webpages: Proposed Frameworks”, *Information*, vol. 11, no. 1, ene. 2020. [En línea]. Disponible en: 10.3390/info11010040.
- [27] V. Segarra-Faggioni, M. Mora Arciniegas, y G. Tenesaca Luna, “Web accessibility analysis with semantic approach of the academic services web portal to university level”, en *2016 11th Iberian Conference On Information Systems And Technologies (CISTI)*, A. Rocha, L. P. Reis, M. P. Cota, O. S. Suarez, y R. Goncalves, Eds., en *Iberian Conference on Information Systems and Technologies*. 345 E 47TH ST, New York EW YORK, NY 10017 USA: IEEE, 2016.
- [28] G. Gay, “Open curriculum for teaching digital accessibility”, *Front Comput Sci*, vol. 5, feb. 2023. [En línea]. Disponible en: 10.3389/fcomp.2023.1113936.
- [29] A. Ismail y K. S. Kuppusamy, “Accessibility of Indian universities’ homepages: An exploratory study”, *Journal Of King Saud University-Computer And Information Sciences*, vol. 30, no. 2, pp. 268-278, abr. 2018. [En línea]. Disponible en: 10.1016/j.jksuci.2016.06.006.
- [30] S. F. Verkijika y L. De Wet, “Accessibility of South African university websites”, *Univers Access Inf Soc*, vol. 19, no. 1, pp. 201-210, mzo. 2020. [En línea]. Disponible en: 10.1007/s10209-018-0632-6.
- [31] P. Acosta-Vargas, M. Gonzalez, y S. Lujan-Mora, “Dataset for evaluating the accessibility of the websites of selected Latin American universities”, *Data Brief*, vol. 28, feb. 2020. [En línea]. Disponible en: 10.1016/j.dib.2019.105013.

- [32] C. Manéz-Carvajal, J. Francisco Cervera-Merida, y R. Fernández-Piqueras, “Web accessibility evaluation of top-ranking university Web sites in Spain, Chile and Mexico”, *Univers Access Inf Soc*, vol. 20, no. 1, pp. 179-184, mzo. 2021. [En línea]. Disponible en: 10.1007/s10209-019-00702-w.
- [33] R. Navarrete y S. Luján, “Accesibilidad web en las Universidades del Ecuador. Análisis preliminar”, *Revista Politécnica*, vol. 33, no. 1, feb. 2014. En línea]. Disponible en: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/94



Apéndice 1. Listado de universidades.

Ord.	TIPO	IES	SIGLAS	URL
1	Públicas	Escuela Politécnica Nacional	EPN	https://www.epn.edu.ec/
2	Públicas	Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López	ESPAM	http://www.espam.edu.ec/
3	Públicas	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo	ESPOCH	https://www.espoch.edu.ec/
4	Públicas	Escuela Superior Politécnica del Litoral	ESPOL	https://www.espol.edu.ec/
5	Públicas	Instituto de Altos Estudios Nacionales	IAEN	https://www.iaen.edu.ec/
6	Públicas	Universidad Agraria del Ecuador	UAE	http://www.uagraria.edu.ec/
7	Públicas	Universidad Central del Ecuador	UCE	https://www.uce.edu.ec/
8	Públicas	Universidad de Cuenca	UCUENCA	https://www.ucuenca.edu.ec/
9	Públicas	Universidad de Guayaquil	UG	https://www.ug.edu.ec/
10	Públicas	Universidad de las Artes	UARTES	http://www.uartes.edu.ec/sitio/
11	Públicas	Universidad de las Fuerzas Armadas	ESPE	https://www.espe.edu.ec/
12	Públicas	Universidad Estatal Amazónica	UEA	https://www.uea.edu.ec/
13	Públicas	Universidad Estatal de Bolívar	UEB	https://www.ueb.edu.ec/
14	Públicas	Universidad Estatal de Milagro	UNEMI	http://www.unemi.edu.ec
15	Públicas	Universidad Estatal del Sur de Manabí	UNESUM	https://unesum.edu.ec/
16	Públicas	Universidad Estatal Península de Santa Elena	UPSE	https://www.upse.edu.ec/
17	Públicas	Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí	ULEAM	https://www.uleam.edu.ec/
18	Públicas	Universidad Nacional de Chimborazo	UNACH	https://www.unach.edu.ec/
19	Públicas	Universidad Nacional de Educación	UNAE	https://unae.edu.ec/

20	Públicas	Universidad Nacional de Loja	UNL	https://www.unl.edu.ec/
21	Públicas	Universidad Politécnica Estatal del Carchi	UPEC	https://upec.edu.ec/
22	Públicas	Universidad Regional Amazónica IKIAM	IKIAM	https://www.ikiam.edu.ec/
23	Públicas	Universidad Técnica de Ambato	UTA	https://www.uta.edu.ec/v4.0/
24	Públicas	Universidad Técnica de Babahoyo	UTB	https://utb.edu.ec/
25	Públicas	Universidad Técnica de Cotopaxi	UTC	https://www.utc.edu.ec/
26	Públicas	Universidad Técnica de Machala	UTMACH	https://www.utmachala.edu.ec/portalwp/
27	Públicas	Universidad Técnica de Manabí	UTM	https://www.utm.edu.ec/
28	Públicas	Universidad Técnica del Norte	UTN	https://www.utn.edu.ec/
29	Públicas	Universidad Técnica Estatal de Quevedo	UTEQ	https://uteq.edu.ec/
30	Públicas	Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas	UTELVT	https://utelvt.edu.ec/sitioweb/
31	Públicas	Universidad Yachay Tech	YACHAY	https://www.yachaytech.edu.ec/
32	Públicas	Universidad Intercultural de las Nacionalidades y Pueblos Indígenas Amawtay Wasi	UAW	https://www.uaw.edu.ec/
33	Particulares que reciben asignaciones y rentas del Estado	Pontificia Universidad Católica del Ecuador	PUCE	https://www.puce.edu.ec/
34	Particulares que reciben asignaciones y rentas del Estado	Universidad Católica de Cuenca	UCACUE	https://www.ucacue.edu.ec/
35	Particulares que reciben asignaciones y rentas del Estado	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	UCSG	https://www.ucsg.edu.ec/

36	Particulares que reciben asignaciones y rentas del Estado	Universidad del Azuay	UDA	https://www.uazuay.edu.ec/
37	Particulares que reciben asignaciones y rentas del Estado	Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	ULVR	https://www.ulvr.edu.ec/
38	Particulares que reciben asignaciones y rentas del Estado	Universidad Politécnica Salesiana	UPS	https://www.ups.edu.ec/
39	Particulares que reciben asignaciones y rentas del Estado	Universidad Técnica Particular de Loja	UTPL	https://www.utpl.edu.ec/
40	Particulares que reciben asignaciones y rentas del Estado	Universidad UTE	UTE	https://www.ute.edu.ec/
41	Particulares autofinanciadas	Universidad Particular Internacional SEK	SEK	https://uisek.edu.ec/
42	Particulares autofinanciadas	Universidad Casa Grande	UCG	https://www.casagrande.edu.ec/
43	Particulares autofinanciadas	Universidad de Especialidades Espíritu Santo	UEES	https://uees.edu.ec/
44	Particulares autofinanciadas	Universidad de Especialidades Turísticas	UDET	https://udet.edu.ec/
45	Particulares autofinanciadas	Universidad de Las Américas	UDLA	https://www.udla.edu.ec/
46	Particulares autofinanciadas	Universidad Hemisferios	UDLH	https://www.uhemisferios.edu.ec/
47	Particulares autofinanciadas	Universidad de Otavalo	UO	https://www.uotavalo.edu.ec/
48	Particulares autofinanciadas	Universidad del Pacífico Escuela de Negocios	UPACIFICO	https://web.upacifico.edu.ec/
49	Particulares autofinanciadas	Universidad del Río	UDR	http://www.udr.edu.ec/

50	Particulares autofinanciadas	Universidad Iberoamericana del Ecuador	UNIBE	https://unibe.edu.ec/
51	Particulares autofinanciadas	Universidad Internacional del Ecuador	UIDE	https://www.uide.edu.ec/
52	Particulares autofinanciadas	Universidad Metropolitana	UMET	https://www.umet.edu.ec/
53	Particulares autofinanciadas	Universidad Regional Autónoma de los Andes	UNIANDES	https://www.uniandes.edu.ec/
54	Particulares autofinanciadas	Universidad San Francisco de Quito	USFQ	https://www.usfq.edu.ec/
55	Particulares autofinanciadas	Universidad San Gregorio de Portoviejo	USGP	https://sangregorio.edu.ec/
56	Particulares autofinanciadas	Universidad Tecnológica ECOTEC	ECOTEC	https://www.ecotec.edu.ec/
57	Particulares autofinanciadas	Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil	UTEG	https://www.uteg.edu.ec/
58	Particulares autofinanciadas	Universidad Tecnológica Indoamérica	UTI	https://uti.edu.ec/~utiweb/
59	Particulares autofinanciadas	Universidad Tecnológica Israel	UISRAEL	https://www.uisrael.edu.ec/
60	Particulares autofinanciadas	Instituto Superior Tecnológico Lemas	TECLEMAS	https://teclemas.edu.ec/
61	Particulares autofinanciadas	Universidad Bolivariana del Ecuador	UBE	https://ube.edu.ec/

Apéndice 2. Listado de Universidades que aplican botón de accesibilidad y sus tipos de control.

Sigla de la Universidad	URL	Nro. Controles	Tiene boton de accesibilidad	Escala gris	Saturación	Contraste	Blanco y Negro	Tamaño de Fuente	Fuente Legible	Subrayar Enlaces	Detener movimientos	Redirección a página accesible	Regla resaltada para lectura
ESPOL	https://www.espol.edu.ec/	3	S			S		S					
UAE	http://www.uagraria.edu.ec/	4	S	S	S	S							
UCUENCA	https://www.ucuenca.edu.ec/	3	S			S		S					
UNEMI	http://www.unemi.edu.ec	2	S					S					
ULEAM	https://www.ulearn.edu.ec/	7	S	S		S	S	S	S	S			
UNACH	https://www.unach.edu.ec/	7	S	S		S		S	S	S	S		
UNL	https://www.unl.edu.ec/	6	S	S		S		S		S		S	
UTMACH	https://www.utmachala.edu.ec/portalwp/	3	S			S		S					
UTEQ	https://uteq.edu.ec/	8	S	S	S	S		S	S	S			S
UAW	https://www.uaw.edu.ec/	5	S	S		S	S	S					
UPS	https://www.ups.edu.ec/	3	S	S				S					

Apéndice 3. Listado de Universidades y problemas detectados según los validadores aplicados.

Ord.	SIGLAS	URL	Markup Validation Service	CSS Validation Service	TAW			
					Perceptible	Operable	Compresible	Robusto
1	EPN	https://www.epn.edu.ec/	76	71				
2	ESPAM	http://www.espam.edu.ec/	2	18	92	60	3	1
3	ESPOCH	https://www.esPOCH.edu.ec/	50	11	19	54	1	1
4	ESPOL	https://www.espol.edu.ec/	51	0	46	35	1	0
5	IAEN	https://www.iaen.edu.ec/	56	67	34	22	10	12
6	UAE	http://www.uagraria.edu.ec/	28	4	10	47	0	7
7	UCE	https://www.uce.edu.ec/	62	17	19	50	1	1
8	UCUENCA	https://www.ucuenca.edu.ec/	22	71				
9	UG	https://www.ug.edu.ec/	64	14	11	13	3	3
10	UARTES	http://www.uartes.edu.ec/sitio/	33	26	9	39	1	0
11	ESPE	https://www.espe.edu.ec/	97	96	33	67	1	3
12	UEA	https://www.uea.edu.ec/	20	60	7	234	1	1
13	UEB	https://www.ueb.edu.ec/	45	31	15	44	3	3
14	UNEMI	http://www.unemi.edu.ec	25	40	10	28	3	3
15	UNESUM	https://unesum.edu.ec/	68	11	25	38	2	2
16	UPSE	https://www.upse.edu.ec/	10	9	2	34	2	1
17	ULEAM	https://www.uleam.edu.ec/	4	21	35	60	2	3
18	UNACH	https://www.unach.edu.ec/	48	13				
19	UNAE	https://unae.edu.ec/	60	71	36	90	4	4

20	UNL	https://www.unl.edu.ec/	307	30				
21	UPEC	https://upec.edu.ec/	64	51				
22	IKIAM	https://www.ikiam.edu.ec/	38	91				
23	UTA	https://www.uta.edu.ec/v4.0/	46	54	33	48	10	9
24	UTB	https://utb.edu.ec/	5	85	30	61	0	3
25	UTC	https://www.utc.edu.ec/	49	32	20	46	2	3
26	UTMACH	https://www.utmachala.edu.ec/portalwp/	28	45	36	43	1	1
27	UTM	https://www.utm.edu.ec/	43	39	110	184	2	1
28	UTN	https://www.utn.edu.ec/	42	11	5	32	0	0
29	UTEQ	https://uteq.edu.ec/	12	21				
30	UTELVT	https://utelvt.edu.ec/sitioweb/	40	14				
31	YACHAY	https://www.yachaytech.edu.ec/	10	60	6	51	1	1
32	UAW	https://www.uaw.edu.ec/	44	34	28	25	5	5
33	PUCE	https://www.puce.edu.ec/	13	1	4	34	1	0
34	UCACUE	https://www.ucacue.edu.ec/	28	68	17	93	6	6
35	UCSG	https://www.ucsg.edu.ec/	22	29	26	26	0	0
36	UDA	https://www.uazuay.edu.ec/	77	13	7	22	4	3
37	ULVR	https://www.ulvr.edu.ec/	21	10	21	58	3	3
38	UPS	https://www.ups.edu.ec/	252	717	4	12	1	1
39	UTPL	https://www.utpl.edu.ec/	24	3	114	137	2	1
40	UTE	https://www.ute.edu.ec/	8	367	24	52	1	1
41	SEK	https://uisek.edu.ec/	15	232	50	42	21	22

42	UCG	https://www.casagrande.edu.ec/	392	84	0	0	1	0
43	UEES	https://uees.edu.ec/	15	12	19	48	2	3
44	UDET	https://udet.edu.ec/	6	6	22	27	10	5
45	UDLA	https://www.udla.edu.ec/	15	37	71	106	6	7
46	UDLH	https://www.uhemisferios.edu.ec/	23	17	41	27	2	2
47	UO	https://www.uotavalo.edu.ec/	19	16	30	53	3	3
48	UPACIFICO	https://web.upacifico.edu.ec/	7	48	5	17	0	0
49	UDR	http://www.udr.edu.ec/	6	29	8	27	0	0
50	UNIBE	https://unibe.edu.ec/	6	2	0	0	1	0
51	UIDE	https://www.uide.edu.ec/	26	22	0	0	1	0
52	UMET	https://www.umet.edu.ec/	20	43				
53	UNIANDES	https://www.uniandes.edu.ec/	17	107	14	57	1	1
54	USFQ	https://www.usfq.edu.ec/	9	85				
55	USGP	https://sangregorio.edu.ec/	171	23	36	175	11	11
56	ECOTEC	https://www.ecotec.edu.ec/	19	106				
57	UTEG	https://www.uteg.edu.ec/	53	14	68	45	1	7
58	UTI	https://uti.edu.ec/~utiweb/	348	42	134	133	47	47
59	UISRAEL	https://www.uisrael.edu.ec/	14	36	2	32	0	1
60	TECLEMAS	https://teclemas.edu.ec/	19	42	6	15	0	0
61	UBE	https://ube.edu.ec/	18	61	16	52	4	4

Simulation and conceptual design of an aniline production process from catalytic hydrogenation of nitrobenzene in ChemCAD®

(Simulación y diseño conceptual de un proceso de producción de anilina a partir de la hidrogenación catalítica del nitrobenceno en ChemCAD®)

Amaury Pérez Sánchez, Yerelis Pons García, Lennis Leidy Basulto Cruz, Maria Isabel La Rosa Veliz
University of Camagüey, Camagüey, Cuba
amaury.perez84@gmail.com, yerelis.pons@reduc.edu.cu, lennis.basulto@reduc.edu.cu,
maria.rosa@reduc.edu.cu

Abstract: Aniline is a very important compound in organic chemistry, mainly used to synthesize polyurethane and its precursors. In the present work, the simulation and conceptual design of an aniline production process through the catalytic hydrogenation route of nitrobenzene was carried out using ChemCAD® simulator. The simulated aniline production process consisted of a fired heater, a tubular reactor, several heat exchangers, a phase separator, a decanter, as well as two distillation columns. By means of the simulation, the temperatures, pressures, mass flowrates and enthalpies of the main intermediate and final streams were known, as well as the main operating and design parameters of some equipment. About 1.743 kg/h of aniline with a purity of 99,78 % are produced at the top stream of the second distillation column, while about 49.881 kg/h of hydrogen are obtained as a by-product in the phase separator. In this work a first-of-its-kind ChemCAD® simulation model was obtained in this work, which can be utilized for further optimization studies and tasks involving the increment of aniline purity, yields and productivity.

Keywords: aniline, nitrobenzene, ChemCAD®, catalytic hydrogenation, conceptual design.

Resumen: La anilina es un compuesto importante en la química orgánica, usado principalmente para sintetizar poliuretano y sus precursores. En el presente trabajo se llevó a cabo la simulación y diseño conceptual de un proceso de producción de anilina a partir de la ruta de la hidrogenación catalítica del nitrobenceno usando el simulador ChemCAD®. El proceso de producción de anilina simulado consistió de un calentador quemador, un reactor tubular, varios intercambiadores de calor, un separador de fases, un decantador así como dos columnas de destilación. Por medio de la simulación se conocieron las temperaturas, presiones, caudales máscos y entalpias de las principales corrientes intermedias y finales, así como los principales parámetros de operación y diseño de algunos equipos. Alrededor de 1.743 kg/h de anilina con una pureza de 99,78 % se producen por la corriente del tope de la segunda columna de destilación, mientras que se obtienen alrededor de 49.881 kg/h de hidrógeno como subproducto en el separador de fases. En este trabajo se obtuvo un modelo de simulación de ChemCAD primero de su tipo, el cual puede utilizarse para estudios posteriores de optimización y tareas que involucren el incremento de la pureza, rendimiento y productividad de la anilina.

Palabras clave: anilina, nitrobenceno, ChemCAD®, hidrogenación catalítica, diseño conceptual.

1. INTRODUCTION

Aniline is an organic compound consisting of a phenyl group bonded to an amino group, being a typical aromatic amine. The amino group gives aniline a unique reactivity, making it a very important intermediate compound from an industrial point of view. It is a flammable liquid slightly soluble in water.

Most of the aniline produced is used to manufacture methylene-diphenyl-isocyanate, which is used to prepare polyurethane foams and insulation for refrigerators, freezers and buildings. It is also used in various industries such as polymers, rubber, pigments, agrochemicals, varnishes, explosives and dyes [1].

Aniline production reached 8 million tons per year in 2021, and is expected to reach 10 million tons per year by 2027, which could contribute to the development of more efficient and innovative aniline synthesis production processes [2].

Aniline is produced in both gas and liquid phases. In the case of gas phase production, the catalytic hydrogenation process of nitrobenzene is used at temperatures of 300-475 °C and pressures of 1-10 bar in fixed-bed multitubular reactors provided with cooling systems due to the highly exothermic nature of the reactions [3]. The production of aniline from catalytic hydrogenation of nitrobenzene in liquid phase has been studied by several authors [4], [5] as well as the conversion of nitrobenzene to aniline by means of a semi-continuous bioelectrochemical system using a microbially catalyzed cathode [6].

There is a report [7] where the production of aniline from nitrobenzene in liquid phase was described. This aniline production process was divided into three main steps: hydrogenation of nitrobenzene, dehydration and purification, obtaining aniline with a purity of 99,95 % in the distillate of the last distillation column. The aniline production capacity of this study was 350.000 MT/year, and the total fixed capital of a plant of this capacity using this production technology was estimated to be around USD \$ 200 million in the first quarter of 2015.

The production of aniline by the catalytic hydrogenation route of nitrobenzene has been studied primarily in terms of the catalysts to be applied, specifically mono- and bi-metallic nickel catalyst containing hypercrosslinked polystyrene [2]; Pd/AlO₃ catalyst [4], [8]; Pd/layered double hydroxide (LDH) catalyst [9]; Au/ZrO₂ catalyst [10]; Cu/SiO₂ catalyst [11]; Ni/bentonite catalyst [12] and industrial copper catalyst promoted by chromium and nickel and supported in kieselguhr [13].

The integration of a process using Aspen Plus® simulator and Aspen Dynamics® to simultaneously produced aniline by the hydrogenation of nitrobenzene together with the dehydrogenation of methyl cyclohexane to produce toluene has also been investigated [3]. This study proposed to carry out both reactions coupled in a tubular adiabatic reactor instead of a multi-tubular reactor, thus not needing to complex arrangement of the hydrogenation reaction and the high amounts of hydrogen required preventing the occurrence of irreversible deviations. Furthermore, in [14] the production of syngas from the steam reforming process using the nitrobenzene hydrogenation reaction to produce aniline as a heat source was investigated and simulated in MATLAB®. A coupled recuperative reactor was employed in this study where the steam reforming reactions occur inside the tubes, while the nitrobenzene hydrogenation reaction occurs in the shell. The reactor performance was evaluated and analyzed based on methane conversion, hydrogen yield and nitrobenzene conversion. Also, in [15] the catalytic dehydrogenation reaction of ethylbenzene to produced styrene was coupled with the catalytic hydrogenation of nitrobenzene to produce aniline in a simulated integrated reactor consisting of two fixed beds separated by a hydrogen selective membrane, where both hydrogen and heat are transferred across the surface of the membrane tubes. In this study, both countercurrent and cocurrent operation were investigated and the results obtained by simulation were compared

with the corresponding predictions for an industrial adiabatic fixed-bed reactor operated under the same feed conditions. Other authors [11] studied the catalytic hydrogenation of gas-phase nitrobenzene over Cu/SiO₂ catalyst in both a single-stage and two-stage fluidized bed reactor at 513-553 K and atmospheric pressure, obtaining as main result that the nitrobenzene conversion and aniline production selectivity increased in the two-stage fluidized bed reactor compared to those results obtained in the single-stage fluidized bed reactor.

Chemical process simulation consists of the computerized representation of one or multiple interconnected unit operations contained in a given chemical plant. It is applied in different fields of process engineering, either to analyze an existing process (assessment), synthesis of new chemical processes (design), or as training for operators and supervisor. In recent years, it has become a basic tool in the field of chemical engineering, mainly to perform the conceptual design of different chemical, petrochemical and biotechnological processes as an important area for research and development [16].

Among the simulators used today is ChemCAD[®] (Chemstations Inc.). ChemCAD[®] is a simulator programmed to perform calculations and simulation of chemical processes commonly found in chemical, petrochemical, pharmaceutical and environmental technology, which provides an alternative for carrying out large-scale continuous process simulations. It contains an extensive database of both pure substances and binary mixtures and several thermodynamic model packages in order to model the chemical process under study in an easy, efficient, feasible way, as well as a palette of equipment usually found in the chemical industry.

This simulator has been extensively used in recent years to carry out the modeling, simulation, optimization and sensitivity analysis of different industrial chemical processes. Among these processes we can mention the design and comparison of different chemical processes for fuel generation using syngas as a feedstock [17]; the conceptual design of an acetone production process from the dehydrogenation of isopropyl alcohol for industrial applications [18]; the simulation of an olive pit pyrolysis plant using a rotary kiln [19]; the implementation of a separation process of an acetol/acetic acid mixture to design the flowsheet [20]; the thermal design of a shell and tube heat exchanger used as a cooler and based on the calculation algorithm of CC-THERM integrated module [21]; and the modeling, simulation and control of a reactive distillation column for the production of ethyl acetate from acetic acid and ethanol [22].

Specifically, the authors of this article have used ChemCAD[®] simulator to simulate various chemical processes, among which we can mention the production of styrene [23]; acrylic acid [24]; cumene [25]; maleic anhydride [26] and ethylene oxide [27].

It is of interest for an investment company to erect an aniline production plant by means of the catalytic hydrogenation of nitrobenzene, since there is a secure, stable market for this product and the economic, financial and logistic conditions for such a project are available. Therefore, the conceptual design of a plant of this type is desired in order to know its productivity, performance and operation, as one of the first stages of the development of a project in the chemical industry [28].

In this context, in the present work an aniline production process from the gas-phase catalytic hydrogenation of nitrobenzene was simulated using ChemCAD[®] simulator 7.1.2, in order to know the mass composition, temperature, pressure and enthalpy of the main intermediate and final streams, the productivity of the production process, the operational and design parameters of the main equipment, the operating parameters of the heat exchangers, and the preliminary purchase and installed cost of various equipment.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Physicochemical properties of aniline

Table 1 shows the main physicochemical properties of aniline, according to [1]:

Table 1. Main physicochemical properties of aniline.

Property	Value
Other names	Aminobenzene, Phenylamine
Molecular formula	C_6H_7N
Molecular weight	93,09 g/mol
Solubility	Miscible in water, ethanol, ethylether, benzene and acetone.
Melting point	- 6 °C
Boiling point	184 °C
Flash point	76 °C
Density	1.022 g/mL at 27 °C

2.2. Description of the aniline production process by catalytic hydrogenation of nitrobenzene

Initially, 2.500 kg/h of liquid nitrobenzene are vaporized to a temperature of 310 °C using a shell and tube heat exchanger (Preheater 1) against the hot gaseous mixture coming from the tubular reactor, as will be discussed later. In another section of the plant, 50,000 kg/h of hydrogen are preheated (hydrogen/nitrobenzene ratio of 20:1 [14]) from 25 °C to 310 °C in a fired heater, to then mix the preheated hydrogen with the vaporized nitrobenzene. A high hydrogen/nitrobenzene ratio is employed to avoid reaction run-away and decontrol [3]. The resulting gaseous mixture, which is at 309 °C, is compressed to 5 bar in a centrifugal compressor. Because the compressed gaseous stream exiting the compressor is at 750 °C, it is cooled to 340 °C in a shell and tube heat exchanger (Cooler 1) that uses cooling water at 2 °C as the heat exchange agent. The cooled gaseous stream is then sent to the tubular reactor, which is already loaded with Cu/Ni catalyst [3], [14]. In this tubular reactor, a temperature and pressure of 320-340 °C and 2-5 bar, respectively, are maintained during the course of the chemical reaction, where the temperature control is performed by circulating a special oil as a cooling agent, since the catalytic reaction is highly exothermic. Once the chemical reaction is completed, the hot gas mixture leaving the tubular reactor is sent to a shell and tube heat exchanger (Preheater 1), where it gives part of its heat content to the nitrobenzene feed stream in order to vaporize it. The hot gaseous mixture leaving the Preheater 1, which is at 337 °C, is sent to another shell and tube heat exchanger (Cooler 2), where its temperature is reduced to 30 °C by means of cooling water at 2 °C, to then send this cooled stream to a phase separator, where hydrogen is separated from the liquid phase (aniline, nitrobenzene, water). Subsequently, the liquid phase leaving the phase separator is sent to a decanter where a certain amount of water is separated from the rest of the components (aniline and nitrobenzene). The liquid water is obtained at the bottom stream while the aniline/nitrobenzene/water liquid mixture is obtained at the top stream of this decanter. Both the phase separator and decanter operate at 30 °C. The top stream coming from the decanter is preheated to 110 °C in a shell and tube heat exchanger (Preheater 2) which uses saturated steam at 152 °C and 5 bar as the heating agent, and then this preheated stream is sent to a first sieve tray distillation column (Water Column) to separate the water (top stream) from the aniline/nitrobenzene mixture (bottom stream). The bottom stream of the Water Column, which is at a temperature of 186 °C, is cooled in a shell and tube heat exchanger (Cooler 3) to 110 °C, which uses cooling water at 2 °C. Finally, this stream at 110 °C is fed to a second sieve tray distillation column (Aniline Column), where aniline is separated from nitrobenzene, thus obtaining about 1.740 kg/h of liquid aniline with a purity of 99,7 % in

the top stream, while about 72 kg/h of liquid nitrobenzene are obtained at the bottom stream with a purity of 43,7 %, being aniline the main impurity found in this stream. Figure 1 shows the flow diagram of the aniline production process described above.

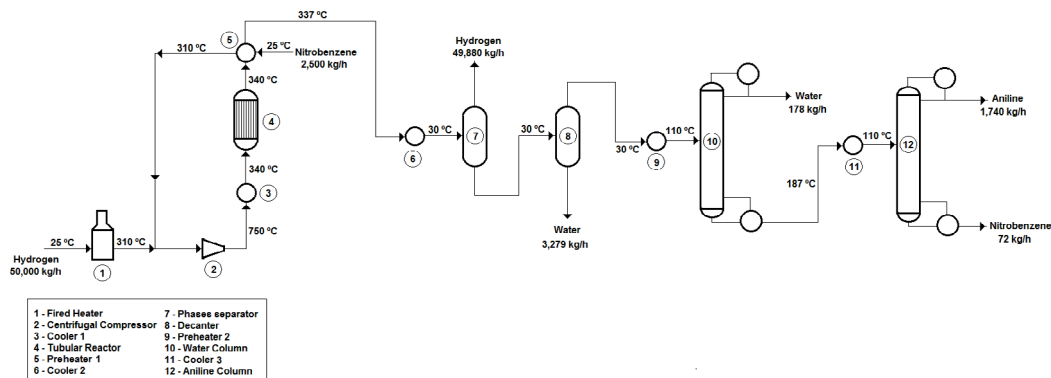
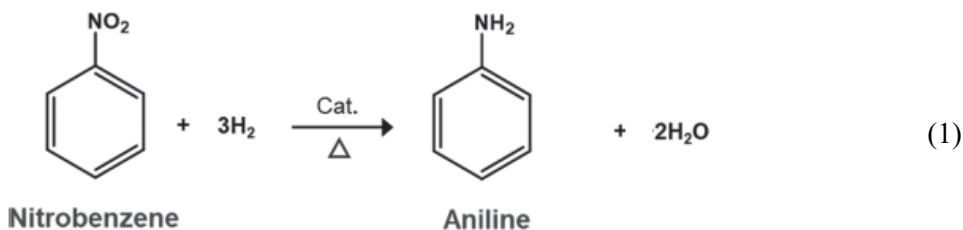


Figure 1. Flow diagram of the aniline production process from the catalytic hydrogenation of nitrobenzene.

2.3. Chemical reaction occurring in the tubular reactor, and its conversion, kinetics and catalyst properties

According to [8], the reaction of aniline production from the catalytic hydrogenation of nitrobenzene has the following stoichiometry:



The conversion of this reaction is 97 % [3] with a $\Delta H_{298} = -443,0$ kJ/mol [14], [15] while the catalyst used (Cu/Ni) presents the following properties [14], [15]:

- Density: 1.400 kg/m³.
- Diameter of the catalyst particle: 4,7x10⁻³ m.
- Void fraction: 0,46.

The kinetics of the catalytic hydrogenation reaction of nitrobenzene is described by the following rate equation [14], [15]:

$$r' = \frac{k' \cdot K_{NB} \cdot K_{H_2} \cdot p'_{NB} \cdot \sqrt{p'_{H_2}}}{\left(1 + K_{NB} \cdot p'_{NB} + K_{H_2} \cdot \sqrt{p'_{H_2}}\right)^2} \quad (2)$$

In this case, the reaction rate constant (k') is defined as:

$$k' = A' \cdot \exp\left(-\frac{E'}{R \cdot T}\right) \quad (3)$$

Where:

$$A' = 0,186; E' = 10,0 \text{ kJ/mol}; K_{H_2} = 4,427 \times 10^{-3} \text{ Pa}^{-0,5}; K_{NB} = 1,510 \times 10^{-5} \text{ Pa}^{-1}.$$

2.4. Selection of the thermodynamic model

The selected thermodynamic model was PSRK with vapor phase association of Hayden O'Connell, while it was considered the global phase option of vapor/liquid/liquid/solid and the global enthalpy models of latent heat. Finally, the chosen ideal gas heat capacity was DIPPR and the selected steam table was of IAPWS-IF97.

2.5. Equipment design parameters

Table 2 shows the design parameters considered for each of the main equipment involved in the simulation of the aniline production process, which were set taking into account the suggestions and recommendations reported in [29], [30], [31], [32] and [33].

Table 2. Main design parameters of the equipment included in the aniline production process simulated in ChemCAD®.

Equipment	Design parameters
Fired heater	Type: Vertical, cylindrical. Tube material: Stainless steel 316. Thermal efficiency: 0,75.
Compressor	Type: centrifugal. Driver type: Variable speed drive coupling. Motor type: Explosion proof. Motor RPM: 3600.
Cooler 1	Type: Shell and tube. Exchanger type: Fixed head. Material: Stainless steel 316. Area: 30 m ² .
Preheater 1	Type: Shell and tube. Exchanger type: U Tube. Material: Stainless Steel 304. Area: 40 m ² .
Reactor	Type: Tubular, fixed bed. Material: Stainless steel 304. Diameter: 4,0 m. Length: 7,0 m. Tubes: 700 2-inch diameter tubes 5,5 m long.
Cooler 2	Type: Shell and tube. Exchanger type: Fixed head. Material: Stainless steel 304. Area: 30 m ² .
Phases separator	Type: Cylindrical tank. Material: Carbon steel. Diameter: 2,5 m. Height: 4,0 m.

Decanter	Type: Cylindrical tank. Material: Carbon steel. Diameter: 3,0 m. Height: 5,0 m.
Preheater 2	Type: Shell and tube. Exchanger type: U Tube. Material: Stainless Steel 316. Area: 40 m ² .
Water column	Type: Cylindrical. Material: Carbon steel. Diameter: 2,0 m. Tray type: Sieve.
Cooler 3	Type: Shell and tube. Exchanger type: Fixed head. Material: Carbon steel. Area: 20 m ² .
Aniline column	Type: Cylindrical. Material: Carbon steel. Diameter: 1,5 m. Tray type: Sieve.

2.6. Purchase and installed costs of various equipment

The purchase and installed costs of various equipment involved in the simulated production process were determined using the “Costing” option contained in ChemCAD[®] software. Accordingly, the purchase and installed cost contained in the software was updated to November 2023 using the cost index of Chemical Engineering magazine [34].

Figure 2 shows the flowsheet of the aniline production process by the catalytic hydrogenation route of nitrobenzene simulated in ChemCAD[®].

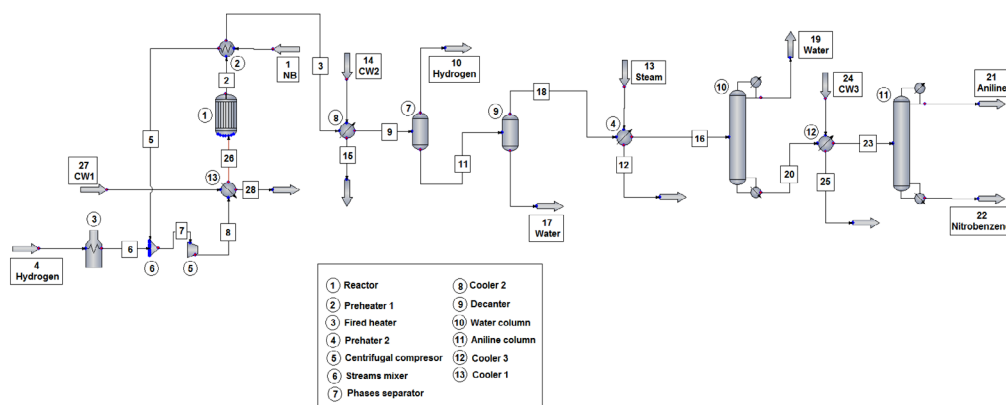


Figure 2. Flowsheet of the aniline production process by the catalytic hydrogenation of nitrobenzene obtained by the simulation in ChemCAD[®].

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Simulation parameters of the intermediate and final streams

Table 3 displays several parameters of the main intermediate and final streams, which were obtained by simulating the production process in ChemCAD® simulator. For the values of these parameters, according to the stream number, refer to Figure 2.

Table 3. Simulated parameters of the main intermediate and final streams.

Parameter	Stream number (refer to Figure 2)			
	7	26	2	9
Temperature (°C)	310,74	340	340	30
Pressure (bar)	1	5	5	2
Vapor fraction	1	1	1	0.999
Enthalpy (MJ/h)	209.413	231.370	222.042,7	-4.467,28
	Mass flowrate (kg/h)			
Nitrobenzene	2.500	2.500	74,99	74,99
Hydrogen	50.000	50.000	49.880,88	49.880,88
Aniline	-	-	1.834,42	1.834,42
Water	-	-	709,71	709,71
Total flow (kg/h)	52.500	52.500	52.500	52.500

Table 3. Continued...

Parameter	Stream number (refer to Figure 2)			
	10	11	17	16
Temperature (°C)	30	30	30	110
Pressure (bar)	1	1	1	1
Vapor fraction	1	0	0	0.184
Enthalpy (MJ/h)	3.670,13	-10.601,21	-8.430,17	-1.559,54
	Mass flowrate (kg/h)			
Nitrobenzene	-	74,99	-	74,99
Hydrogen	49.880,88	-	-	-
Aniline	-	1.834,42	-	1.834,42
Water	-	709,71	532,28	177,43
Total flow (kg/h)	49.880,88	2.619,12	532,28	2.086,84

Table 3. Final.

Parameter	Stream number (refer to Figure 2)			
	19	20	21	22
Temperature (°C)	99,60	187,00	186,43	194,51
Pressure (bar)	1	1	1	1
Vapor fraction	1	0	0	0
Enthalpy (MJ/h)	-2.357,52	1.298,46	1.206,01	92,83
	Mass flowrate (kg/h)			
Nitrobenzene	-	74,99	3,75	71,25
Hydrogen	-	-	-	-
Aniline	-	1.834,42	1.742,68	91,72
Water	177,43	0,001	0,001	-
Total flow (kg/h)	177,43	1.909,41	1.746,43	162,97

According to the results of Table 3, the outlet stream of the tubular reactor (stream 2 in Figure 2) is composed of 3,49 % aniline, being hydrogen the chemical compound with the highest presence in this stream (95,01 %).

Of the 2,500 kg/h of nitrobenzene fed to the tubular reactor, approximately 75 kg/h remained unreacted for a conversion rate of 97 % with respect to this compound, which is consistent with that reported by [3]. In addition, the amount of hydrogen that reacted was 119,12 kg/h and the amount of aniline formed was 1.834,42 kg/h, thus agreeing with the results reported by [35].

In the phase separator, all the hydrogen contained in the inlet stream fed to this equipment (49,880.88 kg/h) is separated at the top stream (stream 10), which can be recovered, purified and conditioned to be recirculated to the aniline production process, or used as raw material in other chemical processes. Thus, it is recommended to carry out further studies to implement steps and operations to recover, purify and condition this important flowrate of hydrogen.

The liquid stream coming from the bottom of the phase separator (stream 11) contains 70,04 % aniline, in addition to water (27,09 %) and nitrobenzene (2,86 %), while 532,28 kg/h of water are discharged from the bottom stream of the decanter (stream 17), for a separation percentage of 75 % regarding this compound in this equipment. This water can be treated and reused in the production plant for the cleaning of equipment, areas and other operations where it is needed.

In the first distillation column (Water Column), almost all the inlet water is separated, which is obtained in the top stream (19) with a flowrate of 177,43 kg/h, while a liquid mixture consisting of aniline (96,07 %) and nitrobenzene (3,93 %) is contained in the bottom stream. The percentage of water separation in this column is almost 100%.

In the second distillation column, the separation of aniline from nitrobenzene is carried out, obtaining 1.742,68 kg/h of aniline with a purity of 99,78 % at the top stream of this equipment (stream 21), being nitrobenzene the main impurity found on this stream. The bottom stream of this Aniline Column (stream 22) is composed of nitrobenzene (43,72 %) and aniline (56,28 %). It is recommended to evaluate the possible recycle of this bottom stream to the aniline production process to recover the quantities of both chemicals, thus improving the productivity and profitability of the simulated plant.

3.2. Operating parameters of equipment

Shown below are several operating and design parameters calculated by ChemCAD® simulator for several equipment involved in the simulated aniline production process.

Reactor:

- Calculated heat of reaction: - 464,28 kJ/mol.

Fired heater:

- Heat absorbed: 206,55 GJ/h.

Centrifugal compressor:

- Theoretical power: 245.929 MJ/h.
- Actual power: 327.905 MJ/h.
- Cp/Cv: 1,393

Cooler 1:

- Log Mean Temperature Difference (LMTD): 486,305 °C.
- LMTD Correction factor: 0,976.
- Calculated overall heat transfer coefficient: 5.966 W/m².K.

Preheater 1

- LMTD: 120,463 °C.

- LMTD Correction factor: 0,987.
- Calculated overall heat transfer coefficient: 120,97 W/m².K.

Cooler 2:

- LMTD: 106,029 °C.
- LMTD Correction factor: 1,00.
- Calculated overall heat transfer coefficient: 19.600 W/m².K.

Preheater 2:

- LMTD: 75,022 °C.
- LMTD Correction factor: 1,00.
- Calculated overall heat transfer coefficient: 75,47 W/m².K.

Cooler 3:

- LMTD: 109,989 °C.
- LMTD Correction factor: 1,00.
- Calculated overall heat transfer coefficient: 42,21 W/m².K.

Water column:

- Condenser duty: - 500,97 MJ/h.
- Reboiler duty: 1.001,45 MJ/h.
- Minimum stages: 27.
- Reflux ratio, minimum: 1,643.

Aniline column:

- Condenser duty: - 1.877,7 MJ/h
- Reboiler duty: 2.212,41 MJ/h.
- Minimum stages: 10.
- Reflux ratio, minimum: 0,891.

According to the results shown above, the value of calculated heat of reaction in the tubular reactor was – 464,28 kJ/mol, which is very similar to the value reported in [14], [15] for this type of chemical reaction.

The heat absorbed in the fired heater was 206,55 GJ/h, which is within the range reported by [33] for this type of equipment (11-210 GJ/h).

Regarding the calculated overall heat transfer coefficients (U), in case of the Cooler 1 and Cooler 2 the calculated values of U (5.966 W/m².K and 19.600 W/m².K, respectively) are higher than the range suggested by [28] of 20-300 W/m².K for this type of heat exchange service. In the case of Preheater 2, the calculated value of U (75,47 W/m².K) is within the range reported by [28] of 60-450 W/m².K. Finally, the calculated value of U for Cooler 3 (42,21 W/m².K) is within the range described by [28] of 30-300 W/m².K. In this case, Cooler 2 presents the highest value of U while Cooler 3 has the lowest value of U among all the shell and tube heat exchanger used in the simulation.

The calculated actual power of the centrifugal compressor (327.905 MJ/h $\cong$ 91 MW) is within the range reported by [36] of 75 kW-97 MW for this compressor type, while the theoretical power had a value of 245.929 MJ/h ($\approx$ 68 MW).

The Water Column will have a minimum number of stages of 27, a condenser and reboiler duty of – 500,97 MJ/h and 1.001,45 MJ/h respectively, and a minimum reflux ratio of 1,643. Likewise, the Aniline Column will have a minimum number of stages of 10, a condenser and reboiler duty of - 1.877,7 MJ/h and 2.212,41 MJ/h respectively, and a minimum reflux ratio of 0,891. That is, more stages are needed in the Water Column to separate the water from the aniline/nitrobenzene mixture, requiring in turn a lower duty in the condenser which is due to the fact that the condenser selected in this column was of partial type, while the condenser selected in the Aniline Column was of total type. The Aniline Column required fewer stages because of

the significant difference existing between the boiling points of aniline and nitrobenzene, being aniline more volatile than nitrobenzene.

3.3. Heat duty of the heat exchangers

Figure 3 displays the heat duty values calculated by ChemCAD[®] simulator for each of the heat exchangers used in the production process.

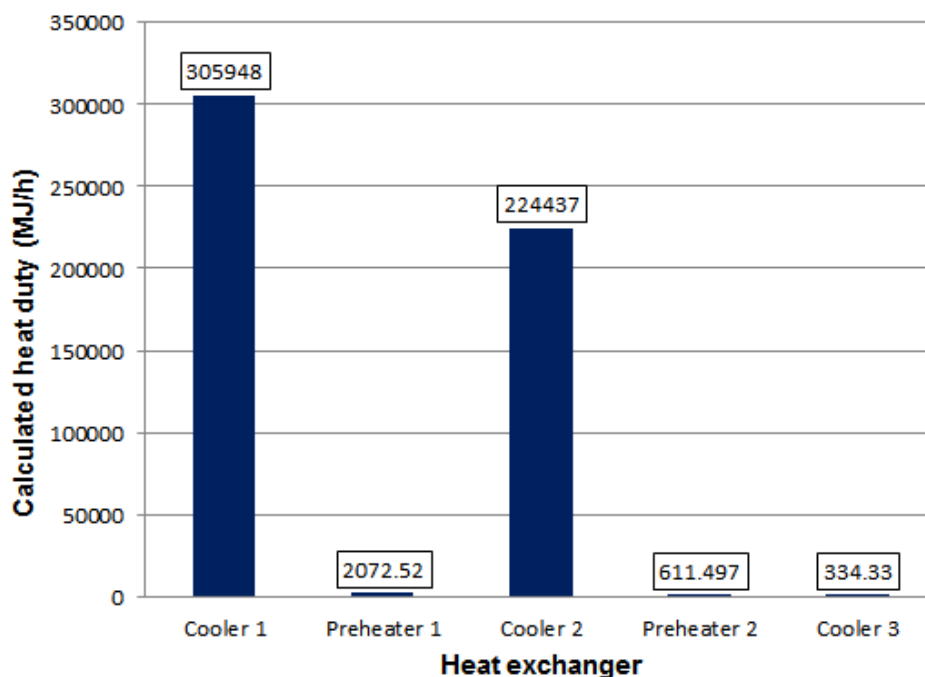


Figure 3. Calculated heat duty for each heat exchanger used in the production process.

The heat duty of Cooler 1 has the highest value of all (305.948 MJ/h) mainly because it is in this equipment where the cooling of the nitrobenzene/hydrogen gaseous mixture is carried out from 753 °C to the reaction temperature (340 °C), i.e. there is a high temperature difference ($\Delta T = 413$ °C), in addition to handling a high flowrate of gaseous compounds (52.500) kg/h).

On the other hand, Cooler 2 also has a high heat duty (224.437 MJ/h), which is basically due to the fact that it is the heat exchanger where the gaseous outlet stream of the reactor is cooled from 337 °C to 30 °C, i.e. it has the second highest ΔT (307 °C) while it also handles a gaseous mixture stream composed of several chemicals with a high flowrate.

Finally, Cooler 3 has the lowest value of the heat duty (343,33 MJ/h) because its ΔT is the lowest (77 °C), i.e. the outlet liquid stream coming from the bottom of the Water Column, composed of aniline and nitrobenzene, is cooled from 187 °C to 110 °C before being fed to the Aniline Column. It also should be noted that it is the heat exchanger that handles the lowest flowrate of all the heat exchangers, with 1.909,41 kg/h.

3.4. Heat curves of the heat exchangers

Figure 4 presents the heat curves for each of the heat exchangers included in the production process, which were obtained using the “Heat Curves” option included in ChemCAD[®] simulator.

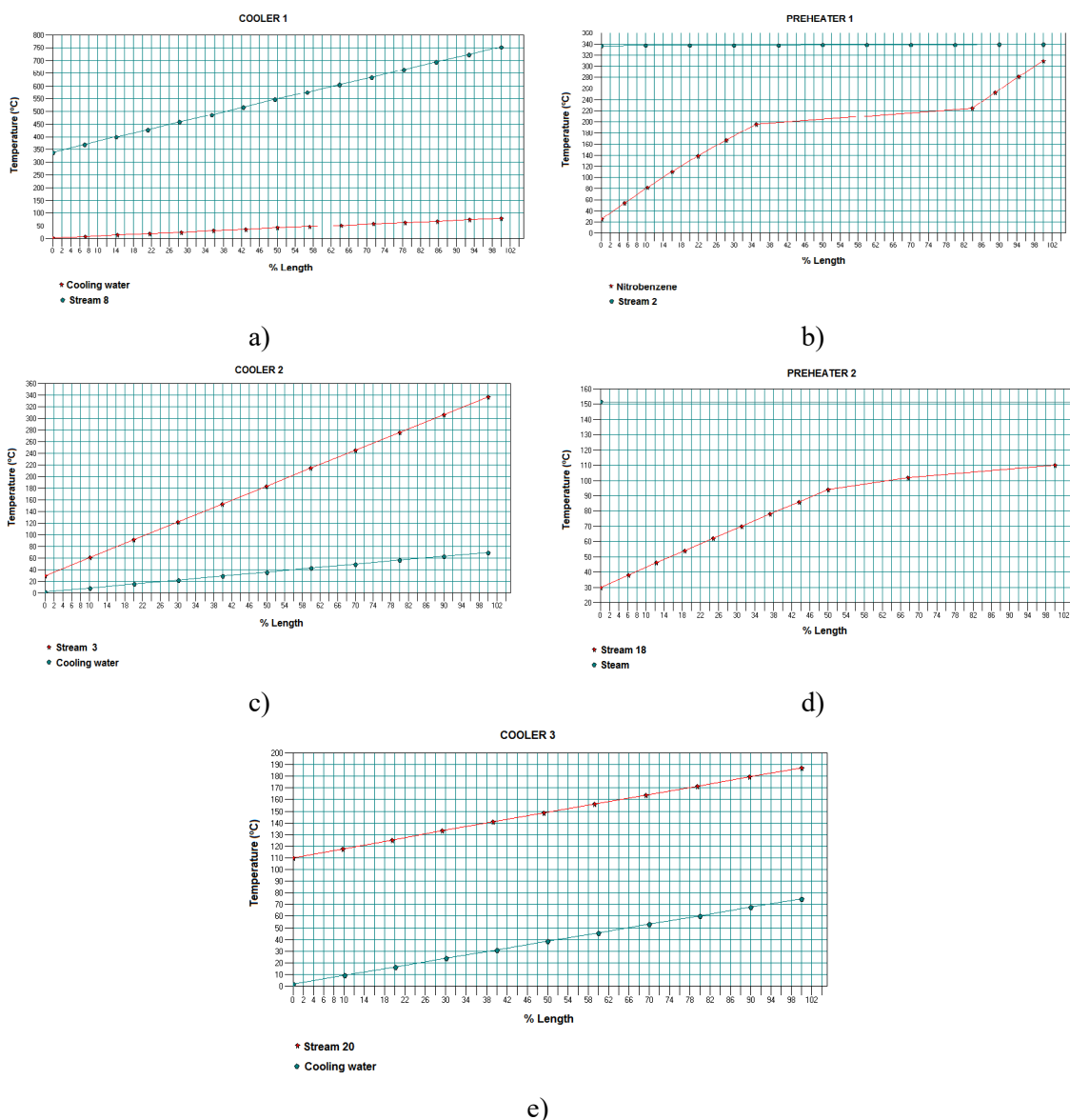


Figure 4. Heat curves of all the heat exchangers included in the production process:

- Cooler 1.
- Preheater 1.
- Cooler 2.
- Preheater 2.
- Cooler 3.

The heat curve of Cooler 1 (Figure 4a) shows two linear trends for both the cooling water stream and stream 8 (nitrobenzene and hydrogen gaseous mixture). This indicates that both streams do not undergo phase change, i.e. the cooling water is heated from 2 °C to 80 °C without vaporization, while the gaseous stream is cooled from 753 °C to 340 °C without condensing.

In the case of the heat curve of Preheater 1 (Figure 4b), stream 2 shows a linear behaviour, indicating that this stream cools from 340 to 337 °C while the nitrobenzene stream shows an ascending linear behaviour up to the 35 % length of the heat exchanger and at a temperature of approximately 195 °C, to then undergo a phase change (vaporization) between the 35 % and

84 % length of the equipment, to finally gain sensible heat from 225 °C to 310 °C. It is worth noting that, according to the simulation results, the nitrobenzene has a vapor fraction equal to zero before being fed to Preheater 1, while its vapor fraction is equal to one at the exit of this heat exchanger, which confirms that this pure nitrobenzene stream is totally vaporized in this heat exchanger.

Considering the heat curve of Cooler 2 (Figure 4c), both stream 3 and cooling water stream present a linear tendency, suggesting that none of these streams undergo phase change in this equipment. Stream 3 is cooled from 340 °C to 30 °C without condensing, while the cooling water stream is heated from 2 °C to 70 °C without vaporization.

In the heat curve of Preheater 2 (Figure 4d), the stream of saturated steam does not undergo phase change at the temperature and pressure fed to this heat exchanger (152 °C and 5 bar, respectively), which is corroborated by verifying that the vapor fraction of the inlet and outlet streams of steam to the Preheater 2 is equal to one, that is, it does not condense. Stream 18 is heated from 30 °C to 100 °C (up to length 50%) without phase change, and then vaporization occurs for certain fraction of components from 100 °C to the outlet temperature (110 °C). This is confirmed by noting that the value of the vapor fraction of the outlet stream of Preheater 2 (stream 16) is 0,18, i.e. a two-phase gas-liquid mixture is obtained at the outlet of this heat exchanger.

Finally, in the heat curve of Cooler 3 the cooling water stream is heated from 2 °C to 75 °C without vaporization considering the increasing linear trend of its heat curve, while stream 20 is cooled without occurring condensation from a temperature of 187 °C to 110 °C, considering the decreasing linear tendency of the heat curve. This is confirmed by observing that the vapor fraction of both stream 20 and stream 23 is equal to zero.

3.5. Purchase and installed cost of various equipment

Table 4 shows the purchase and installed cost of various equipment included in the simulated production process, which were determined using the “Costing” option contained in the ChemCAD® simulator. The total amount of both cost items is also shown. The purchase and installed costs of the reactor, phase separator, decanter and distillation columns were not determined because the simulator does not have this option.

Table 4. Purchase and installed cost of several equipment included in the simulated aniline production process.

Equipment	Purchase cost (USD \$)	Installed cost (USD \$)
Fired heater	6,9719x10 ⁶	9,06347x10 ⁶
Centrifugal compressor	3,26058x10 ⁷	4,73061x10 ⁷
Cooler 1	33.282	66.564,1
Preheater 1	35.368,3	70.736,5
Cooler 2	26.290,7	52.581,4
Preheater 2	33.282	66.564,1
Cooler 3	11.883,4	23.766,8
Total	39.717.806,4	56.649.782,9
	~ 39.720.000	~ 56.700.000

The equipment with the highest acquisition cost is the centrifugal compressor with USD \$ 3,26x10⁷, while the equipment with the lowest cost is Cooler 3 (USD \$ 11.883,4). A total amount of USD \$ 39,72 million and USD \$ 56,70 million will be required to purchase and install the equipment listed in Table 4.

In general, the purchase costs of all the individual equipment included in Table 4 agree with those reported in [29] and are lower than those reported in [28].

4. CONCLUSIONS

The simulation and conceptual design of an aniline production process by the catalytic hydrogenation route of nitrobenzene was carried out in this work using ChemCAD[®] simulator. Through the simulation, the temperature, pressure, mass flowrate, enthalpy and vapor fraction of the main intermediate and final streams of the simulated production process were known, as well as the main operating and design parameters of some equipment, the heat duty and heat curves of the shell and tube heat exchanger used, in addition to the purchase and installed costs of several equipment.

Cooler 1 was the heat exchanger that had the highest calculated heat duty, with 305.948 MJ/h, and a value for the overall heat transfer coefficient (U) of 5,966 W/m².K, which is higher than the value reported by [28]. Cooler 3 had the lowest value of the heat duty with 343,33 MJ/h and a value for U of 42,21 W/m².K, which is within the range reported by [28]. In this case, Cooler 2 presented the highest value of U 19.600 W/m².K) while Cooler 3 had the lowest value of U (42,21 W/m².K) among all the shell and tube heat exchanger employed in the production process.

The calculated heat of reaction for the tubular reactor (- 464,28 kJ/mol) agrees with what is reported in the literature [14], [15], while the heat absorbed in the fired heater was 206,55 GJ/h, which is within the range reported by [33].

The heat curves obtained in this study show that the two process streams do not undergo phase change in three of the heat exchangers (Cooler 1, Cooler 2 and Cooler 3), which is verified by the linear trend observed for both streams in the corresponding heat curves. On the other hand, the heat curve obtained for Preheater 1 indicates that the nitrobenzene stream experienced total vaporization; while the heat curve obtained for Preheater 2 shows that the Stream 18 undergoes partial vaporization, thus obtaining a two-phase gas-liquid mixture at the heat exchanger's outlet, with a vapor fraction of 0,18 in Stream 16.

The first distillation column (Water Column) had a minimum number of stages of 27, and a heat duty for the condenser and reboiler of - 500,97 MJ/h and 1.001,45 MJ/h respectively. Similarly, the second distillation column (Aniline Column) had a minimum number of stages of 10, while the values of the heat duty for the condenser and reboiler were - 1.877,7 MJ/h and 2.212,41 MJ/h respectively. The Aniline Column needed less number of stages due to relatively significant difference existing between the boiling points of aniline and nitrobenzene, where aniline is more volatile than nitrobenzene.

The purchase and installed cost of certain equipment included in the process flowsheet amounted USD \$ 39,72 million and USD \$ 56,7 million respectively, being the centrifugal compressor the equipment with the highest calculated purchase cost (USD \$ 3,26x10⁷)

The simulated production plant produces 1.742,68 kg/h of aniline with a purity of 99,78 % at the top stream of the second distillation column. Also, 49.880,88 kg/h of hydrogen are obtained at the top stream of the phase separator, which is recommended to be recovered, conditioned and possibly recycled as raw material in the aniline production process. Likewise, the bottom stream of the second distillation column contains 43,72 % nitrobenzene and 56,28 % aniline; therefore it is suggested to recycle this stream to the production process as raw material, to increase its productivity and profitability.

The main contribution of this work is that a simulation model of an aniline production process through the catalytic hydrogenation of nitrobenzene was obtained for the first time using ChemCAD[®] simulator, which could be utilized for supplementary tasks involving the

increment of aniline yields and throughput, sensitivity analysis and optimization studies of key operating parameters.

REFERENCES

- [1] H. J. Patel, *Handbook of Chemical Process Industries*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2024.
- [2] R. V. Brovko, L. S. Mushinsky, A. R. Latypova, M. G. Sulman, V. G. Matveeva, and V. Y. Doluda, "Evaluation of Nitrobenzene Hydrogenation Kinetic Particularities Over Mono and Bimetallic Ni Containing Hypercrosslinked Polystyrene", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 86, pp. 883-888, jun. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3303/CET2186148>
- [3] A. Javaid and C. S. Bildea, "Design and Control of an Integrated Toluene-Aniline Production Plant a Preliminary Study", *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, vol. 8, no. 4, pp. 267-271, aug. 2017. [Online]. Available: <https://www.ijcea.org/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=88&id=1050#:~:text=10.18178/ijcea.2017.8.4.668>
- [4] S. Couto, L. M. Madeira, C. P. Nunes, and P. Araújo, "Hydrogenation of Nitrobenzene over a Pd/Al₂O₃ Catalyst – Mechanism and Effect of the Main Operating Conditions", *Chemical Engineering and Technology*, vol. 38, no. 9, pp. 1625-1636, jul. 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1002/ceat.201400468>
- [5] Q. Zhang *et al.*, "Highly Efficient Hydrogenation of Nitrobenzene to Aniline over Pt/CeO₂ Catalysts: The Shape Effect of the Support and Key Role of Additional Ce³⁺ Sites", *ACS Catalysis*, vol. 10, pp. 10350-10363, aug. 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1021/acscatal.0c02730>
- [6] A.-J. Wang *et al.*, "Efficient Reduction of Nitrobenzene to Aniline with a Biocatalyzed Cathode", *Environmental Science and Technology*, vol. 45, no. 23, pp. 10186-10193, 2011. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1021/es202356w>
- [7] Scott, J. "Aniline Production from Nitrobenzene (Liquid-Phase)", *Chemical Engineering*, vol. 123, no. 3, p. 48, mar. 2016. [Online]. Available: <https://www.proquest.com/openview/2e7ce4678de36dadbbf7bb3973bb5d11/1.pdf?pq-origsite=gscholar&cbl=41910>
- [8] C. G. A. Morisse *et al.*, "Toward High Selectivity Aniline Synthesis Catalysis at Elevated Temperatures", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 60, no. 49, pp. 17917-17927, dec. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c03695>
- [9] J. Wang, C. Du, Q. Wei, and W. Shen, "Two-Dimensional Pd Nanosheets with Enhanced Catalytic Activity for Selective Hydrogenation of Nitrobenzene to Aniline", *Energy Fuels*, vol. 35, no. 5, pp. 4358-4366, feb. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c02952>
- [10] S. Gómez, C. Torres, J. L. García, C. P. Apesteguía, and P. Reyes, "Hydrogenation of Nitrobenzene on Au/ZrO₂ catalysts", *J. Chil. Chem. Soc.*, vol. 57, no. 2, pp. 1194-1198, mar. 2012. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072012000200029>

- [11] S. Diao, W. Qian, G. Luo, F. Wei, and Y. Wang, "Gaseous catalytic hydrogenation of nitrobenzene to aniline in a two-stage fluidized bed reactor," *Applied Catalysis A: General*, vol. 286, pp. 30-35, may. 2005. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2005.02.026>
- [12] Y. Jiang, X. Li, Z. Qin, and H. Ji, "Preparation of Ni/bentonite catalyst and its applications in the catalytic hydrogenation of nitrobenzene to aniline," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 24, no. 9, pp. 1195-1200, sep. 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2016.04.030>
- [13] L. Petrov, K. Kumbilieva, and N. Kirkov, "Kinetic Model of Nitrobenzene Hydrogenation to Aniline over Industrial Copper Catalyst Considering the Effects of Mass Transfer and Deactivation," *Applied Catalysis*, vol. 59, no. 1, pp. 31-43, mar. 1990. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S0166-9834\(00\)82185-5](https://doi.org/10.1016/S0166-9834(00)82185-5)
- [14] Z. A. Aboosadi, M. R. Rahimpour, and A. Jahanmiri, "A novel integrated thermally coupled configuration for methane-steam reforming and hydrogenation of nitrobenzene to aniline", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 36, no. 4, pp. 2960-2968, feb. 2011. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.12.005>
- [15] N. S. Abo-Ghander, J. R. Grace, S. S. E. H. Elnashaie, and C. J. Lim, "Modeling of a novel membrane reactor to integrate dehydrogenation of ethylbenzene to styrene with hydrogenation of nitrobenzene to aniline", *Chemical Engineering Science*, vol. 63, no. 7, pp. 1817-1826, apr. 2008. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2007.12.007>
- [16] Z. A. Abdel-Rahman and O. S. Latef, "Process simulation of benzene separation column of linear alkyl benzene (lab)plant usign ChemCAD," *Tikrit Journal of Eng. Sciences*, vol. 15, no. 1, pp. 17-29, mar. 2008. [Online]. Available: <https://tj-es.com/ojs/index.php/tjes/article/view/627/653>
- [17] L. Petrescu, A. Imre-Lucaci, and C. I. Berci, "Modelling and simulation of fules production from syngas" *STUDIA UBB CHEMIA*, vol. 62, no. 4, pp. 231-240, 2017. [Online]. Available: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA526440884&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=12247154&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon%7E20a33f99&aty=open-web-entry>
- [18] B. Kökdemir and N. Acarali, "A novel study on CHEMCAD simulation of isopropyl alcohol dehydrogenation process development", *Journal of the Indian Chemical Society*, vol. 98, no. 3, p. 100035, mar. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jics.2021.100035>
- [19] E. Benanti, C. Freda, V. Lorefice, G. Braccio, and V. k. Sharma, "Simulation of olive puits pyrolysis in a rotary kiln plant", *Thermal Science*, vol. 15, no. 1, pp. 145-158, jan. 2011. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.2298/TSCI090901073B>
- [20] C. Chilev, F. Lamari, and P. Langlois, "Numerical Simulation of a Valorisation-Oriented Hybrid Process for the Bio-Oil-Related Separation of Acetol and Acetic Acid", *ChemEngineering*, vol. 8, no. 1, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/chemengineering8010005>

- [21] S. Dibyo, I. D. Irianto, S. Bakhri, and M. Pancoko, "Thermal design of cooler in the fuel handling pneumatic system of RDE," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 830, p. 022018, 2020. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/830/2/022018>
- [22] N. Amenaghawon and S. E. Ogbeide, "Modelling, simulation and control of ethyl acetate reactive distillation column using ChemCAD," *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 4, pp. 16-33, mar. 2012. [Online]. Available: <https://www.cenresinjournal.com/wp-content/uploads/2020/02/Page-16-33-640.pdf>
- [23] Pérez, E. J. Pérez, and R. M. Segura, "Simulation of the styrene production process via catalytic dehydrogenation of ethylbenzene using CHEMCAD® process simulator," *Tecnura*, vol. 21, no. 53, pp. 15-31, sep. 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.3.a01>
- [24] Pérez, E. J. Pérez, and R. M. Segura, "Simulation of the acrylic acid production process through catalytic oxidation of gaseous propylene using ChemCAD® simulator," *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 27, no. 1, pp. 142-150, 2019. [Online]. Available: <https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v27n1/0718-3305-ingeniare-27-01-00142.pdf>
- [25] A. Pérez, E. Ranero, E. J. Pérez, y N. Liaño, "Simulación del proceso de producción del cumeno mediante el simulador ChemCAD®," *RECYT*, vol. 33, no. 1, pp. 38-46, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.36995/j.recyt.2020.33.006>
- [26] A. Pérez, E. Ranero, y E. J. Pérez, "Simulación del proceso de producción de anhídrido maleico mediante el simulador ChemCAD®", *Revista Mutis*, vol. 11, no. 2, pp. 8-21, may. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.21789/22561498.1752>
- [27] Pérez, J. G. Baltá, J. R. Montalván, E. Ranero, and E. J. Pérez, "Simulation of the ethylene oxide production process in ChemCAD® simulator," *RECYT*, vol. 24, no. 37, pp. 15-24, may. 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.36995/j.recyt.2022.37.002>
- [28] R. Sinnott and G. Towler, *Chemical Engineering Design*, 6th ed. Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2020.
- [29] S. M. Walas, *Chemical Process Equipment Selection and Design*. Boston, USA: Butterworth-Heinemann, 1990.
- [30] N. P. Cheremisinoff, *Handbook of Chemical Processing Equipment*. Boston, USA: Butterworth-Heinemann, 2000.
- [31] M. S. Peters, K. D. Timmerhaus, and R. E. West, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, 5th ed. New York, USA: McGraw-Hill, 2003.
- [32] J. R. Couper, W. R. Penney, J. R. Fair, and S. M. Walas, *Chemical Process Equipment Selection and Design*, 3rd ed. Oxford, U.K.: Butterworth-Heinemann, 2012.
- [33] D. W. Green and M. Z. Southard, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 9th ed. New York, USA: McGraw-Hill Education, 2019.
- [34] S. Jenkins, "Economic Indicators," *Chemical Engineering*, vol. 131, no. 3, p. 48, 2024.

- [35] P. H. Nayak, *Proposed new project for Manufacturing of Aniline and Nitro Benzene*. Ahmedabad, India: Satva Environ Consultancy, 2018.
- [36] S. M. Hall, *Rules of Thumb for Chemical Engineers*, 6th ed. Oxford, United Kingdom: Elsevier, 2018.





Más artículos científicos aquí