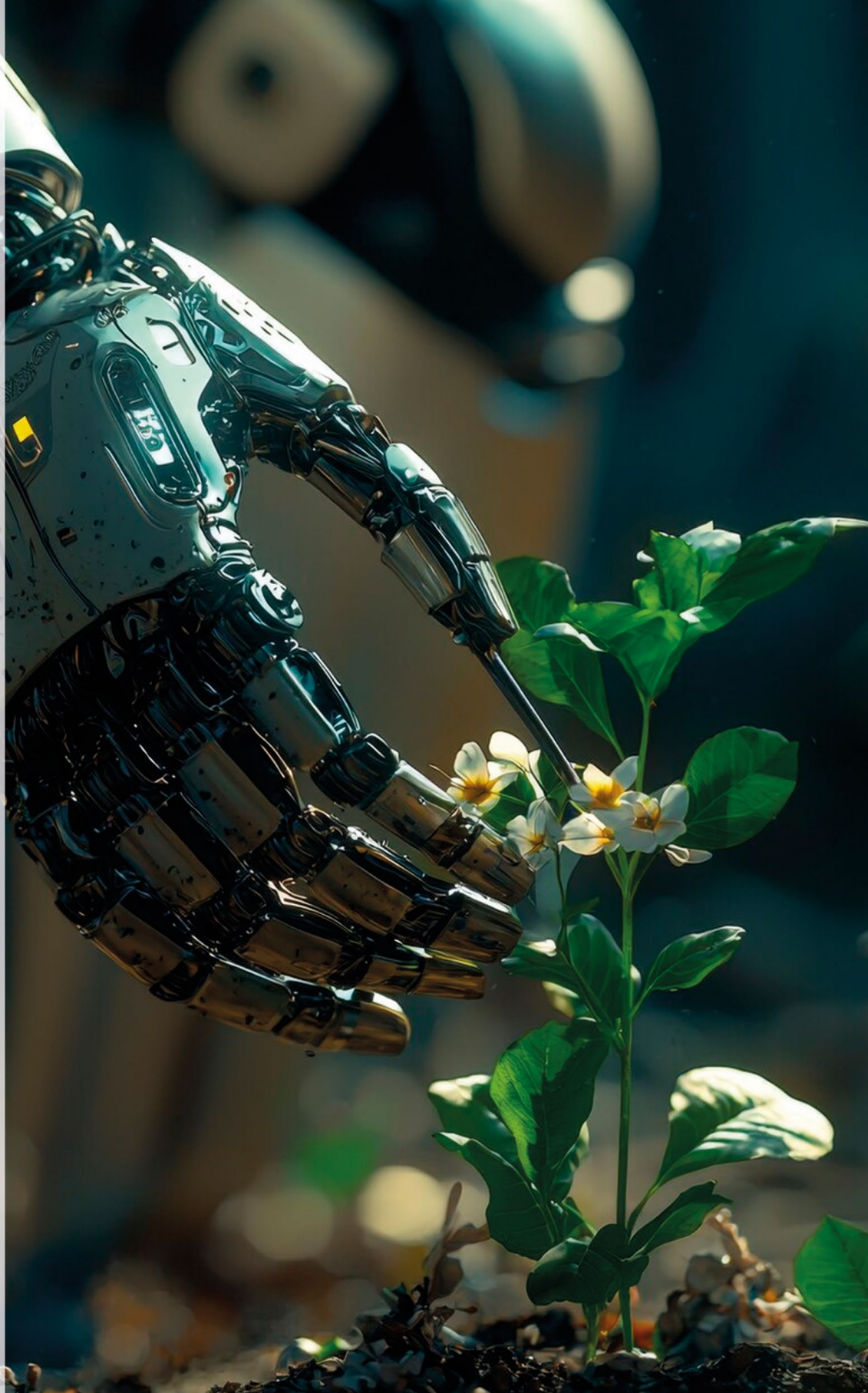




Journal

Boliviano de Ciencias



- VOL. 20 -
NÚMERO 56
JULIO A DICIEMBRE 2024
ISSN Digital: 2075-8944
ISSN Impreso: 2075-8936

Journal

Boliviano de Ciencias

Editor en Jefe

Pablo Arce Maldonado, PhD
Universidad Privada del Valle, Bolivia

Editor de sección: Ingeniería Civil

MSc. María Elena Sahonero Saravia
Universidad Privada del Valle, Bolivia
MSc Joaquín Humberto Aquino Rocha
Universidade Federal de Rio de Janeiro, Brasil

Editor de sección: Industrias

Ing. Daysi Lidia Ñiguez Calveti,
Universidad Privada del Valle, Bolivia
Carlos Gonzalo Acevedo Peña, PhD
Universidad Privada del Valle, Bolivia

Editor de sección: Electromecánica, Mecatrónica y Aeronáutica

Ing. Edson Gastón Montaño Bautista
Universidad Privada del Valle, Bolivia
MSc Raúl F. Castellón Torrico
Universidad Privada del Valle, Bolivia

Editor de sección: Petróleo y energías

Ing. Ximena Uscamayta Urizacari
Universidad Privada del Valle, Bolivia
Ing. Ivailo Peña Treneva,
Servicios Integrales de Ingeniería SIE S.A.,
Bolivia
Ana Carolina Feltrin, PhD
Missouri University of Science and Technology,
USA

Editor de sección: Sistemas, Electrónica y Biomédica

MSc. Eynar Calle Viles
Universidad Privada del Valle, Bolivia
Bismark Claire Torrico, PhD
Universidade Federal do Ceará, Brasil

Editor de sección: Ingeniería de alimentos

Tania Araujo Burgos, PhD
Universidad Privada del Valle, Bolivia
Melissa Miranda Durán, PhD
Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia

Editor de sección: Arquitectura

MSc. Marcelo Pérez Mercado
Universidad Privada Boliviana, Bolivia
Patricia Arana Sema, PhD(c)
Visionaria - Arquitectura & Ambiente, Bolivia

Comité Editorial

Sección: Ingeniería Civil

Saulo Rocha Ferreira, PhD
Universidade Federal de Lavras (UFLA), Brasil

Sección: Ingeniería Industrial

Antoni Gil Pujol, PhD
Peak Resilience Pte Ltd, Singapur

Sección: Electromecánica, Mecatrónica y Aeronáutica

Francisco Javier Triveño Vargas, PhD
Consultor y Catedrático en Asia y Medio
Oriente

Sección: Petróleo y energías

Camila Barreneche Güerisoli, PhD
Universitat de Barcelona, España

Sección: Sistemas, Electrónica y Biomédica

Carlos Estrada Nava, PhD
Instituto Nacional de Administración Pública,
México

Sección: Ingeniería de Alimentos

Federico José Armando Pérez-Cueto Eulert, PhD
Umeå Universitet, Suecia

Sección: Arquitectura/Diseño de Interiores

Nino Andrey Gaviria Puerta, PhD
Universidad de San Buenaventura, Colombia

Autoridades Universitarias

Gonzalo Vicente Ruiz Ostria, M.Sc.

Rector Nacional

Diego Alonso Villegas Zamora, Ph.D.

Vicerrector Académico Nacional

Sandra Marcela Ruiz Ostria, M.Sc.

Vicerrectora Interacción Social y Difusión Cultural

Lic. Daniela Zambrana Grandy

Secretaria General

Ana Cardenas Angulo, M.Sc.

Vicerrectora Sede Académica Santa Cruz

Carlos Torricos, M.B.A.

Vicerrector Sede Académica Sucre

Franklin Nestor Rada, M.Sc.

Vicerrector Sede Académica La Paz

Lic. Miguel Ángel Añez Sameshima

Vicerrector Sede Académica Trinidad

Jorge Carlos Ruiz De la Quintana, M.Sc.

Director Nacional de Investigación

Equipo técnico

Lic. Giubell Mercado Franco

Coordinadora de Publicaciones y Difusión Científica

Lic. Luis Marco Fernández Sandoval

Coordinador de Producción Audiovisual

Lic. María Fernanda Torrico Rojas

Asistente de Diseño y Publicaciones

Depósito Legal N° 2-3-66-09
La reproducción parcial o total de los
artículos está permitida en tanto las
fuentes sean citadas.

Es parte de:



Universidad Privada del Valle
Telf: (591) 4-4318800 / Fax: (591) 4-4318886.
Campus Universitario Tiquipaya.
Calle Guillermina Martínez, s/n, Tiquipaya.
Casilla Postal 4742.
Cochabamba – Bolivia.

ÍNDICE

Páginas

Editorial

Editorial

Pablo Arce Maldonado.....5

Desarrollo de un simulador de matrices alimentarias para la elaboración de alimentos terapéuticos listos para consumir

Development of a food matrix simulator for the preparation of ready-to-use therapeutic foods

Aracely Lorena Sandalio Choque.....6-14

Criterios de Operación para la Inteligencia Artificial en el uso de Medicina Tradicional para la Autoatención en salud

*Operation Criteria for Artificial Intelligence in the use of Traditional Medicine
for Self-care in health*

Natalia Caballero Medina. Carlos Prado Mendoza. Gabriel Peredo Albornoz.....15-37

Desarrollo de capacidades a través de las redes tecnológicas y científicas

Building capabilities through technological and scientific networks

Yelka Aguilera Santos.....38-51

Toward Effective Sustainable Disaster Management Approach: How Sustainable Solutions Mitigate Hurricanes and Tropical Cyclones Negative impact Case Studies from: the USA, China, Oman and the UAE

Amal Mubarak Obaid Alhidi.....52-80

Desafíos y oportunidades para la popularización de la Ciencia Verde en Latinoamérica y el Caribe.

*Challenges and opportunities for the popularization of Green Science in
Latin America and the Caribbean.*

**Mary Luz Ojeda Solarte, José Gabriel Pérez Canencio, Jorge Enrique Guevara Bejarano,
Christian Andrés Cuero Gamboa, Miguel Ángel Pérez Ojeda**.....81-93

Prototipo del Sistema de Llamada Selectiva (SELCAL).

Prototype of the Selective Calling System (SELCAL)

William Jaldin Corrales, Joel Kevin Pacocillo Casa.....94-110

NOTA EDITORIAL

En esta edición de la revista científica, se presentan una serie de artículos que abordan temas cruciales en el ámbito de la ciencia y la tecnología. Estos trabajos no solo muestran una diversidad de investigaciones, sino que también subrayan la importancia de la innovación en la resolución de desafíos contemporáneos, desde la gestión de desastres hasta la promoción de la sostenibilidad en Latinoamérica y el desarrollo de tecnologías alimentarias. Los autores han demostrado un compromiso significativo con la investigación, ofreciendo perspectivas valiosas que contribuirán al avance del conocimiento en sus respectivos campos.

Se agradece a todos los investigadores por su dedicación y esfuerzo en la elaboración de estos estudios, así como a los revisores por su valiosa colaboración. Se espera que estos artículos inspiren a otros académicos y profesionales a continuar explorando y desarrollando soluciones efectivas para los problemas que enfrenta la sociedad actual.

EDITORIAL NOTE

In this edition of the scientific journal, a series of articles addressing crucial topics in the fields of science and technology are presented. These works not only show the diversity of research, but also emphasize the importance of innovation in tackling contemporary challenges, ranging from disaster management to promoting sustainability in Latin America and developing food technologies. The authors have demonstrated a significant commitment to applied research, providing valuable insights that will contribute to the advancement of knowledge in their respective fields.

All researchers are thanked for their dedication and effort in crafting these studies, as well as the reviewers for their invaluable collaboration. It is hoped that these articles will inspire other academics and professionals to continue exploring and developing effective solutions for the problems that current society faces.




Pablo Arce Maldonado, PhD
Editor en Jefe
Journal Boliviano de Ciencias

Artículo Científico

Desarrollo de un simulador de matrices alimentarias para la elaboración de alimentos terapéuticos listos para consumir

Development of a food matrix simulator for the preparation of ready-to-use therapeutic foods

 Aracely Lorena Sandalio Choque ¹

1. Tesista. Carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Universidad Privada del Valle. Cochabamba. Bolivia. arylore@gmail.com

RESUMEN

Los alimentos terapéuticos listos para consumir están diseñados específicamente para niños de 6 a 59 meses de edad que padecen desnutrición infantil aguda. Debido a su uso medicinal estos productos deben cumplir con los requerimientos nutricionales precisos, asegurando una adecuada ingesta de nutrientes esenciales para favorecer la recuperación. En este contexto, la investigación tuvo como objetivo desarrollar un simulador de matrices alimentarias que permita el desarrollo de estos alimentos terapéuticos. Para alcanzar este fin, se diseñó una arquitectura de software que mejore la experiencia del usuario, permitiendo la elaboración de diversas matrices alimentarias que cumplieran con los pasos necesarios para el desarrollo de alimentos terapéuticos listos para el consumo y las normativas nacionales e internacionales, específicamente adaptados al contexto de Bolivia. El resultado final fue la creación de un sistema que no solo optimiza el diseño de alimentos terapéuticos, sino que también facilita la manipulación de variables clave que influyen en la formulación de los productos.

Palabras clave: Alimento medicinal. ATLC. Desarrollo de productos. Desnutrición infantil. Formulador de alimentos.

ABSTRACT

The ready-to-use therapeutic foods are designed specifically for children 6 to 59 months of age suffering from acute childhood malnutrition. Due to their medicinal use, these products must meet the precise nutritional requirements, ensuring adequate intake of essential nutrients to promote recovery. In this context, the research aimed to develop a food matrix simulator that allows the development of these therapeutic foods. To achieve this goal, software architecture was designed to improve the user experience, allowing the development of various food matrices that complied with the necessary steps for the development of ready-to-eat therapeutic foods and national and international regulations, specifically adapted to the context of Bolivia. The end result was the creation of a system that not only optimizes the design of therapeutic foods, but also facilitates the manipulation of key variables that influence the formulation of the products.

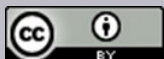
Keywords: Medicinal food. RUTF. Product development. Child malnutrition. food formulator.

Citar como: Sandalio Choque, A. L. (2024). Desarrollo de un simulador de matrices alimentarias para la elaboración de alimentos terapéuticos listos para consumir. *Journal Boliviano De Ciencias*, 20(56) 6-14. <https://doi.org/10.52428/20758944.v20i56.1213>

Recepción: 16/10/2024
Aprobación: 04/12/2024
Publicado: 30/12/2024

Declaración: Derechos de autor 2024 Aracely Lorena Sandalio Choque. Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.



1. INTRODUCCIÓN

Los simuladores son herramientas digitales que permiten la recreación de escenarios y procesos reales mediante modelos matemáticos y computacionales. En el contexto del desarrollo de productos alimenticios, los simuladores son utilizados para agilizar la formulación de productos al proporcionar un entorno controlado donde se pueden modificar variables clave como los ingredientes, proporciones y características nutricionales. Según Zhan y Li (2019), los simuladores ofrecen una plataforma eficiente para probar y ajustar recetas alimentarias sin la necesidad de realizar costosos y repetitivos ensayos físicos, lo que resulta en una optimización del tiempo y recursos invertidos en el desarrollo de productos.

Las matrices alimentarias, por otro lado, son combinaciones estructuradas de ingredientes que forman la base de un alimento. En el desarrollo de productos, una matriz alimentaria incluye la selección y proporción de ingredientes, así como sus interacciones para obtener un producto con características nutricionales y sensoriales específicas. De acuerdo con García y Pérez (2020), las matrices alimentarias son fundamentales para garantizar que los productos cumplan con los requisitos nutricionales, especialmente en casos de productos funcionales o terapéuticos, como los alimentos destinados para tratar la desnutrición infantil. La correcta formulación de estas matrices es clave para garantizar la calidad y seguridad del producto final.

El proceso de desarrollo de productos alimentarios implica una serie de etapas complejas que requieren tiempo considerable y una inversión económica elevada. Desde la fase de investigación inicial, hasta la formulación, pruebas sensoriales y ajustes. Según Lee y Johnson (2020), el desarrollo de productos alimentarios nuevos puede tardar entre uno y tres años, dependiendo de la complejidad del producto y de la cantidad de recursos dedicados al proyecto.

Como indican Smith y Brown (2018), las empresas del sector alimentario suelen invertir entre el 10% y el 20% de su presupuesto anual en el desarrollo de nuevos productos, lo que refleja la magnitud de la inversión necesaria para competir en el mercado. Esto puede suponer un reto importante, especialmente para las pequeñas y medianas empresas, que deben gestionar cuidadosamente sus recursos para llevar sus innovaciones al mercado sin comprometer su viabilidad económica.

La Encuesta de Demografía y Salud (EDSA) llevada a cabo en Bolivia por el Instituto Nacional de Estadística (INE) y el Ministerio de Salud en 2016 muestra una prevalencia del 3,4% de desnutrición aguda (peso/talla) (EL DEBER, 2021). El total de niños con desnutrición crónica asciende al 16%; de este porcentaje la más alta desnutrición se encuentra en el Altiplano (22,2%), Valles (17,1%) y Llanos (9,7%) (EDSA, 2016). Los ATLC han demostrado un impacto significativo en la reducción de la desnutrición infantil al proporcionar nutrición esencial de forma rápida y efectiva. Sin embargo, como Bolivia los importa, su costo es elevado, limitando su acceso a quienes más los necesitan.

Por las razones explicadas anteriormente, este trabajo tiene como objetivo diseñar un sistema de generación de matrices alimentarias específicamente orientado a la creación de alimentos terapéuticos listos para consumir que permita reducir tanto el tiempo como los costos involucrados en el desarrollo de productos alimenticios. Este sistema busca garantizar que los productos finales cumplan con los requerimientos nutricionales necesarios para contribuir al tratamiento de la

desnutrición infantil, al mismo tiempo que se adaptan a las necesidades y contextos específicos de Bolivia.

2. METODOLOGÍA

Arquitectura del Software

La arquitectura del simulador estuvo compuesta por tres capas fundamentales: la capa de presentación, la capa de negocio y la base de datos. En primer lugar, la capa de presentación gestionó la interfaz del usuario, proporcionando la experiencia visual y funcional durante la interacción con el simulador. Esta capa también presentó los resultados de las matrices alimentarias de forma clara y comprensible para el usuario final.

En segundo lugar, la capa de negocio concentró la lógica de cálculo; donde se estructuraron los parámetros y se implementaron las fórmulas necesarias para generar resultados precisos en la formulación de alimentos terapéuticos listos para el consumo. Finalmente, la base de datos almacenó la información esencial para el desarrollo de productos, incluyendo datos sobre ingredientes, valores nutricionales y otros insumos críticos.

El simulador permitió realizar una simulación determinista, lo que facilitó la manipulación de variables específicas, como alimentos utilizados y sus cantidades en gramos, para obtener resultados nutricionales. Los parámetros de comparación estuvieron preestablecidos y su cumplimiento se evaluó mediante un indicador tipo semáforo. Además, el simulador incluyó opciones para ingresar los datos necesarios para completar el etiquetado del producto.

Diseño del software

El simulador contó con inicio de sesión y seis apartados en el menú. Su diseño se basó en un análisis detallado de dos simuladores existentes en otros países. En primer lugar, se estudiaron sus funcionalidades y, posteriormente, se desarrolló un modelo que combinó las mejores características de ambos. A este modelo inicial se le añadieron apartados adicionales para hacerlo más completo y adecuado a las necesidades del proyecto, integrando los lineamientos establecidos por la Comisión Codex Alimentario (REP22/NFSDU) (2021) y la norma de CXS 1-1985 (2021).

Para los cálculos realizados con la simulación de matrices alimentarias, se implementaron ecuaciones y modelos matemáticos que permitieron realizar los cálculos nutricionales necesarios para la formulación de 100 gramos de producto. Además, se utilizó como referencia la guía del Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria (SENASAG) N° 0140/2017, para el desarrollo de la etiqueta nutricional.

Desarrollo del software de simulación

El software de aplicación fue desarrollado en la plataforma Visual Studio 2022. Según muestra la Figura N°1, el simulador se estructuró en cuatro etapas clave: recepción de información, base de datos, simulador y resultados de simulación. En la primera etapa, se ingresaron los datos iniciales, como normativas y la revisión bibliográfica, que guiaron el desarrollo del simulador. La segunda etapa se centró en la base de datos, donde se incorporó la programación utilizada para la aplicación.

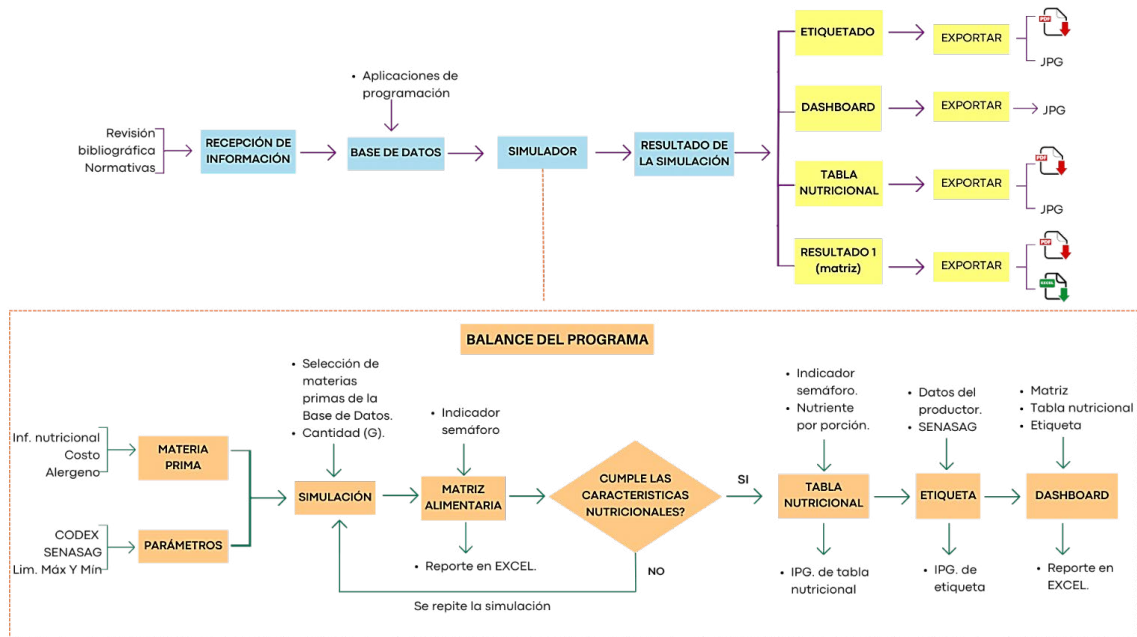


Figura N°1. Proceso del desarrollo del software de simulación. Fuente: Elaboración propia, 2024

La tercera etapa, correspondiente al simulador, se enfocó en un balance específico denominado “Balance del programa”. En esta etapa, se identificaron dos entradas principales: las materias primas y los parámetros, cuyos datos se extrajeron de la base de datos. Posteriormente se realizó la simulación, donde el usuario introdujo manualmente los datos de selección. A partir de esta información, se desarrolló una matriz en un tercer paso, a la cual se aplicó una condicional para determinar si cumplía con los requisitos nutricionales establecidos.

Cuando los parámetros no se cumplían, la simulación se repetía; al cumplirse, se procedía a generar la tabla nutricional, la etiqueta y el *Dashboard* completo de la formulación, concluyendo así el balance del programa. En la cuarta etapa, se presentaron los resultados finales del simulador, que pudieron ser exportados en formatos PDF, EXCEL o JPG, permitiendo una documentación detallada de los pasos realizados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo del simulador para la formulación de alimentos terapéuticos listos para consumir (ATLC), denominado en adelante como SMADI, arrojó resultados positivos en cuanto a la funcionalidad y eficiencia del sistema. Se obtuvo una plataforma con un menú interactivo que incluyó el registro de materias primas (Figura N° 2), lo que permitió a los usuarios crear y gestionar una base de datos ilimitada con todos los alimentos disponibles y sus respectivos parámetros nutricionales. Esta base de datos facilitó el acceso rápido y preciso a la información necesaria para la formulación de productos, lo que optimizó el proceso de selección de ingredientes.

PRODUCTO MATERIALES GUÍA SIMULACIÓN ETIQUETADO DASHBOARD

SSMADI

REGISTRO DE MATERIAS PRIMAS

Formulario de PARÁMETROS

Nombre:
Costo (Bs/Kg):

Alogeno: LECHE
 HUEVO
 SOJA
 FRUTOS SECOS
 C

Grupo: A (alto en grasa)
 B (alto en proteína)
 C (Alto en Carbohidratos)
 D (vitam mine)

Características Nutricionales (Porción 100 g)

Macronutrientes

Humedad (g):
Energía (Kcal):
Proteína (g):
Grasa (g):
Carbohidratos (g):

Micronutrientes

Ácido graso omega 6 (mg)
Ácido graso omega 3 (mg)
Niacina (mg)
Ácido pantotéico (mg)
Sodio (mg)
Potasio (mg)
Calcio (mg)
Fósforo (mg)
Magnesio (mg)
Hierro (mg)
Zinc (mg)

Vitamina A (µg)
Vitamina D (µg)
Vitamina E (mg)
Vitamina K (µg)
Vitamina B1 (mg)
Vitamina B2 (mg)
Vitamina C (mg)
Vitamina B6 (mg)
Vitamina 12 (µg)
Cobre (mg)
Selenio (mg)

Lista de Materias Primas

Nombre	Costo	Alogeno	Grupo	Humedad	Energía	Proteína	Grasa	Carbhidrat	VitaminaA	VitaminaC	VitaminaB1	Hierro	Sodio	Potasio
Producto A														

Figura N°2. Simulador SMADI– Materias primas. Fuente: Elaboración propia, 2024

Dado que el simulador se enfocó en alimentos terapéuticos, los parámetros nutricionales estuvieron preestablecidos de acuerdo con los requisitos de la normativa del Codex Alimentario (FAO y OMS, 2021). Además, el sistema incluyó un indicador de tipo “semáforo” que permitió al experimentador verificar si los nutrientes esenciales cumplían con las exigencias normativas. Este indicador visual facilitó el control de la formulación y aseguró que los productos cumplieran con los requisitos nutricionales establecidos para el tratamiento de la desnutrición infantil.

Las tablas nutricionales utilizadas en el simulador no requirieron autorización, ya que tienen alcance internacional y son de uso gratuito. En este caso, las tablas se basaron en la Tablas de composición de Alimentos de Centroamérica, elaborada por el INCAP y la OPS en 2012. Además, el precio de cada alimento fue introducido manualmente por el usuario.

En la pestaña de simulación (Figura N° 3), el usuario pudo seleccionar los alimentos que utilizaría e introducir las cantidades correspondientes. Con esta información, el sistema generó automáticamente el perfil nutricional del producto y verificó si cumplía con los requisitos establecidos para los ATLC. Estos requisitos se basaron en el programa conjunto con la FAO y la OMS sobre normas alimentarias, específicamente en las directrices elaboradas por la Comisión del Codex Alimentario (2021) en el ante proyecto CX/NFSDU 19/41/6. Dicho informe especificó los parámetros analíticos, nutricionales y microbiológicos necesarios para la producción de los ATLC; los cuales se contribuyeron en los pilares de la investigación para estandarizar la matriz alimentaria.

PRODUCTO MATERIALES GUÍA **SIMULACIÓN** ETIQUETADO DASHBOARD



Registro de materias primas para la simulación

Alimento:
 Grupo:
 Cantidad (g):
 Porción (%):

Paso 1

Alimento	Grupo	Cantidad	Porción

Cantidad Total:

Paso 2 - Resultado

Macronutrientes:
 Carbohidrato:
 Proteína:
 Grasa:

Macronutrientes:
 Vitamina A (µl)
 Vitamina B1 (mg)
 Vitamina C (mg)
 Sodio (mg)
 Potasio (mg)
 Calcio (mg)

INFORMACIÓN NUTRICIONAL

Tamaño por Porción (g):
 Porción por envase:

Cantidad por Porción
 Calorías: Calorías de Grasa:

	Valor	Valor Diario
Grasa Total (g)	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="30%"/>
Grasas saturadas	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1%"/>
Colesterol (mg)	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0%"/>
Sodio (mg)	<input type="text" value="26"/>	<input type="text" value="2%"/>
Carbohidratos (g)	<input type="text" value="65"/>	<input type="text" value="22%"/>
Fibra Dietética	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="37%"/>
Azúcares (g)	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0%"/>
Proteína (g)	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="25%"/>

Vitamina A (µg):
 Vitamina B1 (mg):
 Vitamina C (mg):
 Hierro (mg):
 Calcio (mg):

*Los porcentajes de Valores Diarios están basados en una dieta de 2000 calorías.

Figura N°3. Simulador SMADI - Simulación. Fuente: Elaboración propia, 2024

Una vez que se identificó una matriz adecuada, el simulador permitió generar el etiquetado nutricional de manera automática, completando una etiqueta predeterminada con las aclaraciones necesarias según lo estipulado en la normativa para ATLC (FAO y OMS, 2021). Solo es necesario completar los espacios en blanco requeridos por el SENASAG N° 042/2023 para obtener una etiqueta lista para su uso, conforme a la normativa boliviana NB 314001 (2001).

La integración de la normativa nacional boliviana NB 314001 con el anteproyecto internacional del Codex Alimentario (CX/NFSDU 19/41/6, 2019) permitió desarrollar un enfoque integral para la elaboración de etiquetas nutricionales de Alimentos Terapéuticos Listos para Consumir (ATLC) en Bolivia. La normativa NB 314001 y la resolución administrativa Senasag N°042/2023 estableció los lineamientos específicos para el etiquetado en el contexto local, mientras que el anteproyecto del Codex proporcionó directrices globales que garantizaron la seguridad y calidad nutricional de los productos destinados al tratamiento de la desnutrición infantil aguda.

Finalmente, al concluir la simulación, el sistema ofreció la posibilidad de descargar un *dashboard* (Panel) (Figura N°4) que presentó un resumen detallado de todos los parámetros necesarios para el control de los ATLC. Este recurso facilitó la gestión y documentación de cada formulación desarrollada, al incluir información crítica tanto para el cumplimiento normativo como para la optimización del proceso productivo.

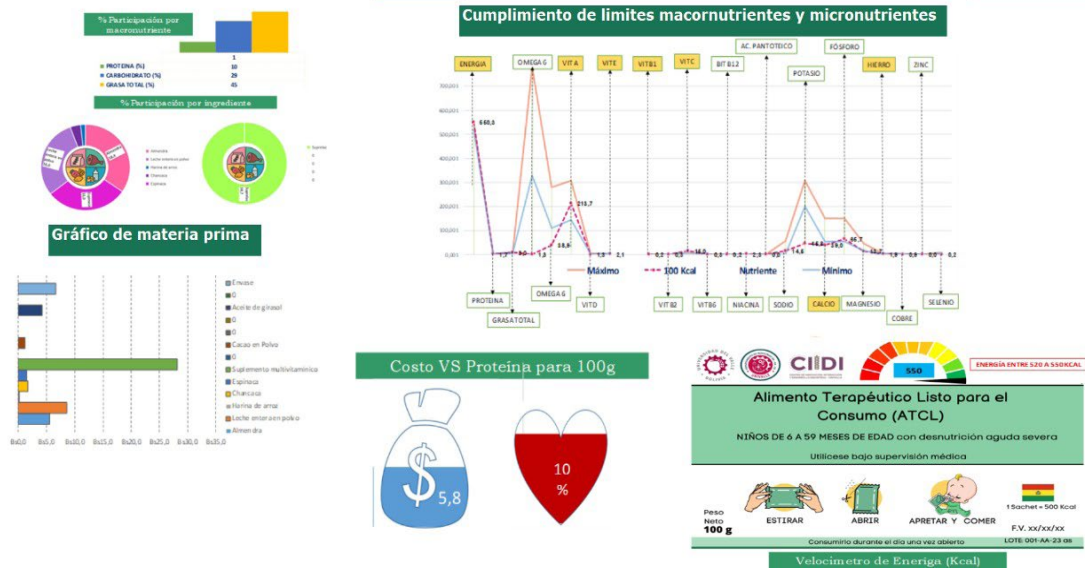


Figura N°4. Simulador SMADI – Dashboard. Fuente: Elaboración propia, 2024

Este simulador fue probado en la simulación de matrices alimentarias para Alimentos Terapéuticos Listos para el Consumo (ATLC) utilizando 15 materias primas producidas en territorio nacional, y se obtuvieron un total de 84 matrices que cumplieron con el perfil nutricional requerido. Para seleccionar la mejor formulación, se aplicaron tres filtros: el primero evaluó el cumplimiento de los macronutrientes, el segundo se centró en los micronutrientes, y el tercero consideró los costos de las materias primas.

Al finalizar el proceso, de las 84 matrices formuladas se logró identificar siete formulaciones que cumplía con el perfil nutricional necesario para un ATLC y se eligió una (Figura N° 5) a la cual se llevó a realizar los análisis bromatológicos, microbiológicos y sensoriales. Los análisis bromatológicos revelaron una similitud entre los datos obtenidos en el laboratorio y los valores teóricos del simulador. Las discrepancias se manifiestan en la concentración de proteína con una variación del 0,98% y la grasa con 1,77%.

Macronutrientes	%	Nombre del Alimento	Grupo	Cantidad (g)	Participación (%)	Información Nutricional			
Proteína	10,9	Almendra	A	184	18,4	Tamaño por porción (g)	100		
Carbohidrato	29,0	Leche entera en polvo	B	160	16,0	Porciones por envase	1		
Gas a total	45,0	Harina de arroz	C	10	1,0	Cantidad por porción			
Humedad	2,0	Chancaca	C	20	2,0	Calorías	550	Calorías de Grasa 398	
Cenizas	1,0	Espinaca		160	16,0	Valor Diario*			
Micronutrientes, Energía y fibra dietaria					Suprelac	147	14,7		
Vitamina A (UI)	39157,2				0,0	Grasa Total (g)	44	68%	
Vitamina B1 (mg)	10,9				0,0	Grasa Saturada (g)	1	4%	
Vitamina C (mg)	825,3				0,0	Colesterol (mg)	0	0%	
Hierro (mg)	107,2				0,0	Sodio (mg)	80	5%	
Energía (Kcal)	5502,9				0,0	Carbohidrato Total (g)	28	9%	
Fibra dietaria (g)	35,1				0,0	Fibra Dietaria (g)	4	25%	
Omega 6 (mg)	72,9				0,0	Azúcares (g)	0	0%	
Omega 3 (mg)	2138,5				0,0	Proteína (g)	10	53%	
Vitamina D (mg)	2756,6				0,0	Vitamina A (mg)	1,1		
Vitamina E (mg)	118,2	Aceite de girasol		299	29,9	Vitamina C (mg)	82,5		
Vitamina K (mg)	772,8				0,0	Vitamina B1 (mg)	1,1		
Vitamina B2 (mg)	14,2	Cacao en polvo		20	2,0	Hierro (mg)	10,7		
Vitamina B6 (mg)	13,8				0,0	Calcio (mg)	214		
Vitamina B12 (mg)	0,0					*Los porcentajes de Valores Diarios están basados en una dieta de 2000 calorías.			
Ácido Pantoteico (mg)	0,2								
Niacina (mg)	127,2								
Sodio (mg)	797,3								
Potasio (mg)	2522,4								
Calcio (mg)	2143,6	PERDIDAS EN PROCESO							
Fósforo (mg)	3614,4	TOTAL PRODUCTO		1000	100,0				

Figura N°5. Resultados de la simulación - Formulación elegida. Fuente: Elaboración propia, 2024.

4. CONCLUSIONES

El simulador SMADI desarrollado para la formulación de alimentos terapéuticos listos para consumir (ATLC) ha demostrado ser una herramienta eficaz para acortar el tiempo de desarrollo de productos, particularmente en la etapa del desarrollo de formulaciones. Una de sus principales ventajas es la capacidad de crear una base de datos personalizada con los alimentos que se utilizarán en las formulaciones, lo que facilita el acceso a los ingredientes y sus parámetros nutricionales.

Este sistema permite adelantar varios pasos clave en el proceso de diseño, ofreciendo múltiples matrices alimentarias que cumplen con los requerimientos nutricionales necesarios para los productos a desarrollar. Gracias a los indicadores del sistema, es posible aplicar filtros que permiten seleccionar la formulación más adecuada, optimizando el proceso de desarrollo.

Una vez seleccionada la matriz, el simulador proporciona la fórmula teórica del producto y genera automáticamente la etiqueta nutricional conforme a la norma boliviana NB 314001 y la resolución administrativa Senasag N°042/2023, permitiendo que el producto esté listo para su comercialización. Este enfoque no solo acelera el proceso de formulación, sino que también reduce significativamente los costos asociados a la experimentación, la compra de materias primas y los análisis de laboratorio repetitivos.

El simulador puede contribuir significativamente a mejorar la accesibilidad de estos productos al permitir la experimentación y generación de diversas formulaciones utilizando alimentos disponibles en el país, además, se plantea que el simulador sea de acceso abierto ampliando su impacto, sin embargo, esta apertura aún está en proceso de evaluación.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Jhoel Espíndola por su apoyo en este proyecto.

6. REFERENCIAS

Comisión Codex Alimentario (CX/NFSDU). (2019). *Anteproyecto de directrices para los alimentos terapéuticos listos para el consumo* (CX/NFSDU 19/41/6). FAO/OMS.

Comisión Codex Alimentario (REP22/NFSDU). (2021). *Informe de la cuadragésima segunda reunión del comité del Codex sobre nutrición y alimentos para regímenes especiales* (REP22/NFSDU). Codex Alimentarius Commission.

EL DEBER. (2021, julio 19). Hasta 50 niños se salvan de la desnutrición cada mes en un centro especializado de la capital cruceña. *EL DEBER*. https://eldeber.com.bo/salud-y-bienestar/hasta-50-ninos-se-salvan-de-la-desnutricion-cada-mes-en-un-centro-especializado-de-la-capital-cruceña_239627

FAO, & OMS. (2021). *Informe de la cuadragésima segunda reunión del comité del Codex sobre nutrición y alimentos para regímenes especiales*. Codex Alimentarius Commission.

García, L., & Pérez, M. (2020). Formulation of food matrices: Nutritional and sensory optimization. *Journal of Food Science and Technology*, 55(4), 123-130. <https://doi.org/10.1007/s11483-020-02255-6>

IBNORCA. (2001). *Norma Boliviana NB 314001 - Etiquetado de los alimentos preenvasados*. IBNORCA.

Lee, A., & Johnson, P. (2020). Product development in the food industry: Time, complexity, and innovation. *Food Research Journal*, 45(2), 233-248. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.04.002>

Senasag. (2023). *Resolución administrativa SENASAG N° 042/2023*. SENASAG.

Siles, A. (2020). *Desnutrición de niños en Bolivia, pandemia invisible*. Opinión.

Smith, R., & Brown, T. (2018). Costs and challenges of new product development in food industry. *Journal of Food Economics*, 12(1), 95-110. <https://doi.org/10.1016/j.foodeco.2018.03.001>

Zhang, X., & Li, J. (2019). Simulation tools in food product development: A comprehensive review. *International Journal of Food Engineering*, 15(3), 45-52. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2018-0103>

Artículo Científico

Criterios de Operación para la Inteligencia Artificial en el uso de Medicina Tradicional para la Autoatención en salud

Operation Criteria for Artificial Intelligence in the use of Traditional Medicine for Self-care in health

 Natalia Caballero Medina¹.  Carlos Prado Mendoza².  Gabriel Peredo Albornoz³.

1. Product Owner and Researcher. AikonSoft. Cochabamba. Bolivia.
nat.cab.m@gmail.com
2. Jampiri quechua y Director Ejecutivo. Centro Cultural Kuska de Sabidurías Ancestrales. Cochabamba. Bolivia.
3. Miembro Investigador. International Center of Transdisciplinary Research, Japón / Estudiante de Doctorado en Conservación y Gestión de la Biodiversidad Universidad Santo Tomás, Chile.

RESUMEN

Los lineamientos definidos en la Estrategia de Salud Digital 2020 – 2025; la Estrategia de la OMS sobre Medicina Tradicional (2014 – 2025) y la Iniciativa Global en IA para la Salud permiten comprender el panorama actual y el camino a recorrer hacia la cobertura universal de salud. En este contexto, este trabajo se enfoca en la gestión de información en Inteligencia Artificial sobre los usos y aplicación de plantas medicinales de la Medicina Tradicional Andino Amazónica para la autoatención en salud. En el marco de la prevención de futuras o posibles pandemias, a través de conocimientos indígenas y la comprensión de los patrones naturales que guían el equilibrio del ecosistema, se aplica un modelo ingeniería inversa, caracterizando algunos elementos y lineamientos que permiten abstraer nociones de calidad, seguridad, rigurosidad y uso adecuado y efectivo de plantas medicinales empleadas en la medicina tradicional Andino Amazónica.

Palabras clave: Inteligencia Artificial. Medicina Tradicional. Conocimientos Indígenas. Plantas Medicinales. Salud Digital. Autoatención.

ABSTRACT

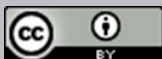
The guidelines defined in the Digital Health Strategy 2020 - 2025; the WHO Strategy on Traditional Medicine (2014 - 2025) and the Global Initiative on AI for Health allow understanding the current scenario and the road ahead towards universal health coverage. In this context, this work focuses on the management of information in Artificial Intelligence on the uses and application of medicinal plants of the Andean Amazonian Traditional Medicine for self-care in health. In the framework of the prevention of future or possible pandemics, this

Citar como: Caballero Medina, N., Prado Mendoza, C., & Peredo Albornoz, G. (2024). Criterios de Operación para la Inteligencia Artificial en el uso de Medicina Tradicional para la Autoatención en salud. *Journal Boliviano De Ciencias*, 20(56) 15-37. <https://doi.org/10.52428/20758944.v20i56.1209>

Recepción: 09/10/2024
Aprobación: 20/12/2024
Publicado: 30/12/2024

Declaración: Derechos de autor 2024 Aracely Lorena Sandalio Choque, Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.



works applies a reverse engineering model to characterizing some elements and guidelines that allow the abstraction of notions of quality, safety, rigor and adequate and effective use of medicinal plants used in traditional Andean Amazonian and analyze its potential applications on AI technologies development from indigenous knowledge and the understanding of the natural patterns that guide the balance of the ecosystem.

Keywords: Artificial Intelligence. Traditional Medicine. Indigenous Knowledge. Medicinal Plants. Digital Health. Self-Care.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la Sociedad de la Información, con la llegada de Internet, el consumo masivo de datos implica una ola de acceso irrestricto a contenidos, textuales y audiovisuales que exponen la vulnerabilidad -seguridad y soberanía- de las personas, empresas y Estados (Rojas, 2014; Belli & Gaspar, 2023). En el ámbito de la salud, con la irrupción de los dispositivos tecnológicos y la distribución masiva de información, las Tecnologías de Información y Comunicación en Medicina (Walker, 2023) o eHealth (Eysenbach, 2001) comienzan a introducir un abanico de posibilidades en términos de gestión de información y conocimientos que, con el tiempo a través de la articulación de agendas y actores globales-locales, se conocería como salud digital. Este es un campo constitutivo de iniciativas y potenciales aplicaciones de la tecnología cuyo objetivo es el de mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de salud a través de servicios y bienes, como: aplicaciones móviles, sistemas de almacenamiento y comunicación de información, telemedicina, dispositivos médicos inalámbricos, entre otros (WHO, 2021). En este marco, la Estrategia Global en Salud Digital 2020 – 2025, evalúa las intervenciones de la IA, en términos de cobertura universal de salud, en los sistemas sanitarios alrededor del mundo.

Al respecto, la Estrategia de la OMS sobre Medicina Tradicional y Complementaria, presta mayor énfasis en los mecanismos de autoatención en salud. Desde el 2019 - considerando que la crisis del COVID-19 y la actual crisis económica impactan en el acceso a la salud - los patrones de consumo de información en Internet y la disponibilidad de información sobre el uso de plantas medicinales, revelan las falencias de las formas organizativas de nuestras sociedades, evidenciando brechas, limitaciones y también posibilidades de los sistemas sanitarios.

En este marco, la recuperación de conocimientos indígenas comienza a tener mayor relevancia toda vez que los Estados y organismos internacionales carecen de herramientas y las personas comienzas a involucrarse en la formación de una ciudadanía y cultura inteligente digital (Peredo G. , 2020).

“En el último decenio, en todos los tipos de patrones de utilización se registró un aumento de la autoatención de salud, porque los usuarios prefieren ocuparse más activamente de su propia salud. Numerosos usuarios adoptan productos y prácticas de MTC porque suponen que “lo natural es seguro”, algo que no es necesariamente cierto.” (OMS, 2013, pág. 28).

Al respecto, la mayoría de las prácticas de la Medicina Tradicional son conocimientos indígenas que han sido heredados por transmisión oral de los pueblos originarios del mundo y en gran parte están sustentadas sobre ‘principios

espirituales-materiales' del 'manejo de la información y energía' a través de la aplicación de plantas medicinales o elementos naturales. Los modelos de monitoreo y evaluación, respecto a la efectividad de los procesos de obtención y aplicación de la medicina tradicional, así como los riesgos, contraindicaciones, interacciones, métodos diagnósticos, regulaciones, efectos adversos, principios activos, entre otros, lógicamente difieren de los estándares científicos. En este sentido, (Prado, 2023) sugiere:

“(...) los usuarios, a menudo, no son conscientes que, todos los preparados que se utilizan con finalidad terapéutica (preventiva, curativa o para el alivio sintomático) y que han sido elaborados a base de plantas medicinales, son medicamentos y por tanto pueden interactuar con los medicamentos farmacéuticos que están consumiendo, presentando riesgos para su salud. A causa de la equivocada percepción respecto a que las plantas medicinales no son auténticos medicamentos, los pacientes no comunican a su médico alopático que están tomando plantas medicinales, lo que dificulta la detección de posibles interacciones o, incluso, duplicidad en efectos terapéuticos negativos. Por eso es importante advertir y tener cuidado de no mezclar plantas medicinales y productos farmacéuticos, por las reacciones adversas que puedan presentar al consumirlos (...) para que uno u otro enfoque de un modelo de salud, sea eficaz o más preciso, dependerá de los **critérios** y técnicas que tengan en particular. El objetivo principal será el de sanar al paciente enfermo, ya sea de una dolencia trivial como compleja. (...) los sistemas de salud deben apoyar más a las investigaciones dirigidas a validar usos tradicionales de plantas medicinales, como oficializar el accionar de otras terapias consideradas “complementarias” o “alternativas”, para así lograr las evidencias necesarias que favorezcan un mejor servicio de salud con calidad y menor riesgo para la población. (...) Con la pandemia, evidenciamos la necesidad de flexibilizar e **integrar los sistemas de conocimiento y armonizar los sistemas de vida**, tanto para pueblos indígenas como para ciudades metropolitanas”.

[El texto en negrita fue añadido por los autores].

Al igual que Wilson (1999) y White (2024), se plantea que el abordaje de preocupaciones globales, como el desborde de los sistemas sanitarios a nivel mundial con el COVID-19, requiere de un nivel de 'consiliencia' más profundo que el de solo articular disciplinas, donde cada vez más será necesario contar con sistemas de generación de evidencias, intuitivas y centradas en el paciente y su bienestar (Subbiah, 2023).

En este trabajo, se deja por precedente que la integración de sistemas de conocimiento y culturas proporciona un marco de línea base de investigación centrada en Inteligencia Artificial en el uso de Medicina Tradicional para la Autoatención en Salud (IA-MTAS). Metodológica, teórica y reflexivamente, se aborda el diseño de criterios operativos que permitan el posterior desarrollo de esta y otras herramientas similares, en atención a los lineamientos del Protocolo Indígena de Inteligencia Artificial (Lewis J. , 2020).

Ahora bien, considerando que la autoatención está relacionada a la disponibilidad, acceso y verificabilidad de la información, se convierte en un problema de salud pública en contextos de crisis. Ya sea por una pandemia o por una condición

clínica que afecta directa o indirectamente la salud mental, el comportamiento de la autoatención y uso de la tecnología indica una inclinación a la prevalencia por la automedicación y el autotratamiento debido a la presencia de cuadros de estrés postraumático, depresión, angustia o ansiedad (Torres-Soto, 2022; Khan, 2022; Sakur, 2022; G., S., S.M.A., F., & M.H., 2022).

En cuanto a la Autoatención con Medicina Tradicional, a pesar de que los datos son accesiblemente ambiguos y estadísticamente escasos, la realidad a nivel regional y global no es diferente. Los datos disponibles en los documentos de la OMS contemplan a la Medicina Tradicional Complementaria en general, considerando prácticas que no necesariamente incluyen tradiciones culturales indígenas y más aún, no proporcionan datos precisos sobre la identificación de la recurrencia de uso de medicina tradicional, precisión de especies medicinales, aplicación y usos según diagnóstico, entre otros factores. En la práctica esta situación se acentúa. Las creencias populares, comunicados de prensa, información que circula en Internet o redes sociales, se difunden erróneamente para tratar alguna enfermedad (Poulose, 2021), permitiendo que las prácticas de medicina tradicional o el uso de plantas medicinales sean estigmatizadas como ‘pseudociencia’, contaminando con prejuicios y obstaculizando el estudio en profundidad sobre las potencialidades terapéuticas, diagnósticas o procedimentales de los conocimientos indígenas. A pesar de ello, la importancia de la autoatención para la cobertura universal de salud, en términos de *digital health*, es una prioridad para la OMS (WHO, 2024).

En este sentido, existe evidencia suficiente sobre las aplicaciones en IA y MT. El estado del arte sugiere un interés particular de la industria y la académica en India, China y algunos países de África, enfocados en: facilitar el proceso de descubrimiento y desarrollo de fármacos (Adibaru Kiflie, Prasad Sharma, & Abebe Haile, 2024); mejorar la precisión del tratamiento mediante el reconocimiento de patrones complejos (Lu, 2024); digitalizar las prácticas de medicina tradicional (Ghimire, 2021).

En un sentido más amplio, otros estudios sugieren una inclinación mayor de la aplicación de IA en el aprovechamiento de los conocimientos indígenas para la preservación de lenguas originarias (Pérez, 2019); conservación de arrecifes (Oxford Insights, 2023); desarrollo de potencial pesquero (Canavera, 2023). En el primer grupo de estudios, existe una tendencia mayor al desarrollo de tecnología sobre la base de conocimientos indígenas con fines comerciales y sin una clara diferenciación del grado de participación de los portadores de conocimientos indígenas. En el segundo grupo, la tendencia es mayor al desarrollo de tecnologías con fines culturales y con una inclusión más notoria de las comunidades indígenas, en este también se incluyen las iniciativas enmarcadas en el documento de la UNESCO (González Zepeda & Martínez Pinto, 2023). Aunque con enfoques y perspectivas diferentes, la mayoría de los estudios coinciden en que la IA complementa la medicina convencional sin reemplazarla, mejorando la precisión, la accesibilidad y los resultados (Amabie, Chibueze Izah, & Chidozie Ogwu, 2024).

Sin embargo, se hace notar que, a pesar de que los conocimientos indígenas en medicina tradicional pueden amplificar la efectividad en el rastreo de las causas de las enfermedades y las estrategias de tratamiento, no en todos los casos se posiciona al paciente y su bienestar en el centro de la tecnología y tampoco se conserva la lógica del conocimiento indígena en las prácticas enfocadas en la regeneración o mantenimiento del equilibrio para el bienestar ‘*Abundant intelligence*’ (Lewis J.

E., 2024) o *Tukuypaq'* (Peredo Albornoz & Prado Mendoza, 2024). Al respecto, esta última noción ha sido introducida por primera vez en Cossio (2024).

La relevancia de una IA-MTAS, en este panorama, es el del desarrollo de un modelo de gestión de información en función de los principios de *Tukuypaq'*. Se pretende que la IA-MTAS funcione en dos sentidos. El primero como un consultorio digital en tiempo real, capaz de interactuar con una persona, analizar en conjunto sus estudios clínicos y síntomas, relacionar dicha información con los criterios proporcionados por sabedores, generar un esquema y ofrecer alternativas de tratamiento en base al uso de plantas medicinales disponibles en la región de consulta, siempre y cuando el grado de patología pueda ser atendido por una terapia de prevención y diferenciar riesgos potenciales de la información que pueda compartir, tanto para la persona como para los territorios sagrados. La segunda función es la de una herramienta de fact-checking para el uso adecuado de plantas medicinales de la medicina tradicional andino amazónica, contemplando los parámetros anteriores.

En este marco, esta investigación se concentra en: plantear *criterios de operación* orientados a la autoatención con medicina tradicional y caracterizar el comportamiento del consumo de información relacionada a la autoatención que: 1) permitan fortalecer la confianza de los sistemas de medicina tradicional y 2) busquen integrar conocimientos, sobre el uso de plantas medicinales, desde perspectivas científicas y culturales.

2. METODOLOGÍA

Relevamiento de información

Respecto al planteamiento de criterios de operación orientados a la autoatención con medicina tradicional, se realizó un muestreo intencional para garantizar la máxima variación (Etikan, 2015) de conocimiento indígena andino amazónico con relación a las pautas del Protocolo Indígena de Inteligencia Artificial. Debido a que la lengua es un factor determinante para la estandarización de criterios y habiendo amplia diversidad entre los abuelos y abuelas de la Red de Sabedores del Centro Cultural Kuska de Sabidurías Ancestrales, se optó por que la primera fase de esta investigación se concentre en memoria escrita.

As Indigenous knowledges are often shared holistically and symbolically with a large focus on the context of the topic instead of merely the topic itself (which is common in oral formats of knowledge transmission that are inherent within Indigenous communities) (Redvers, 2024, pág. 1107)

Los principales documentos fueron seleccionados en base a experiencia previa y redes bien establecidas por uno de los autores (CP). El resto de la información fue complementada por contactos conocidos de uno de los autores (GP) y seleccionada de acuerdo con los lineamientos presentes en el Protocolo para Personas No-Indígenas que trabajan con Conocimientos Indígenas (IKSLabs, 20224)

Principales:

- Memoria de Medicina Tradicional Andino Amazónica (Prado, 2023)
- Significados de Vida: Espejo de Nuestra Memoria en Defensa de la Madre Tierra (Green Stócel, 2011)

- Mancharisqa no es Depresión: aporte etnomédico quechua para la salud mental intercultural (Prado Mendoza, 2016)

Complementarios:

- Sand Talk (Yunkaporta, 2019)
- Plantas Medicinales para la atención primaria de la salud (Vanderbroek, 2003)
- Kallawayas: curanderos itinerantes de Los Andes (Girault, 1987)
- Vegetalismo. Shamanism among the Mestizo population of the Peruvian Amazon (Luna, 1986)
- Diálogos con divinidades, cerros, rayos manantiales y lagos: oraciones blancas kallawayas (Rösing, 1995)
- Plantas Medicinales de México (Estrada Lugo, 2002)

Respecto a la caracterización del comportamiento del consumo de información relacionada a la autoatención, los autores consideraron que, debido a la estigmatización latente y la incertidumbre estadística respecto a la autoatención con medicina tradicional, se observa una baja accesibilidad de las unidades muestrales como si se trataran de poblaciones ocultas (Ortiz, 2003). Además de ello, el comportamiento de autoatención resulta complejo per se.

Self-care can be defined broadly as a process of maintaining health through treatment adherence and health-promoting practices (self-care maintenance), behavior and condition monitoring (self-care monitoring), and managing signs and symptoms when they occur (self-care management). When self-care involves all three aspects of the process and complex regimens, simplification in operationalization (...) misses the opportunity to examine the full scope of self-care. (Jaarsma, y otros, 2020)

Para subsanar esta particularidad, se optó por un rastreo por bola de nieve en medios digitales y físicos (Pasikowski, 2023; Dragan & Isaic-Maniu, 2013; Lee, 2024) con exploración in situ (Foley & *et al*, 2020; Alexander, Shareck, & Glenn, 2023).

Métodos utilizados para los Criterios de Operación

Para este primer propósito, los autores aplican el modelo de ingeniería inversa a los documentos mencionados anteriormente, que para fines prácticos denominaremos Memoria de Medicina Tradicional Andino Amazónica (MEMTRAA en adelante). Según Chikofsky y Cross (1990), se precisa como el proceso de analizar un sistema sujeto para: 1) identificar los componentes del sistema y sus interrelaciones y 2) crear representaciones del sistema de otra forma o a un nivel superior de abstracción.

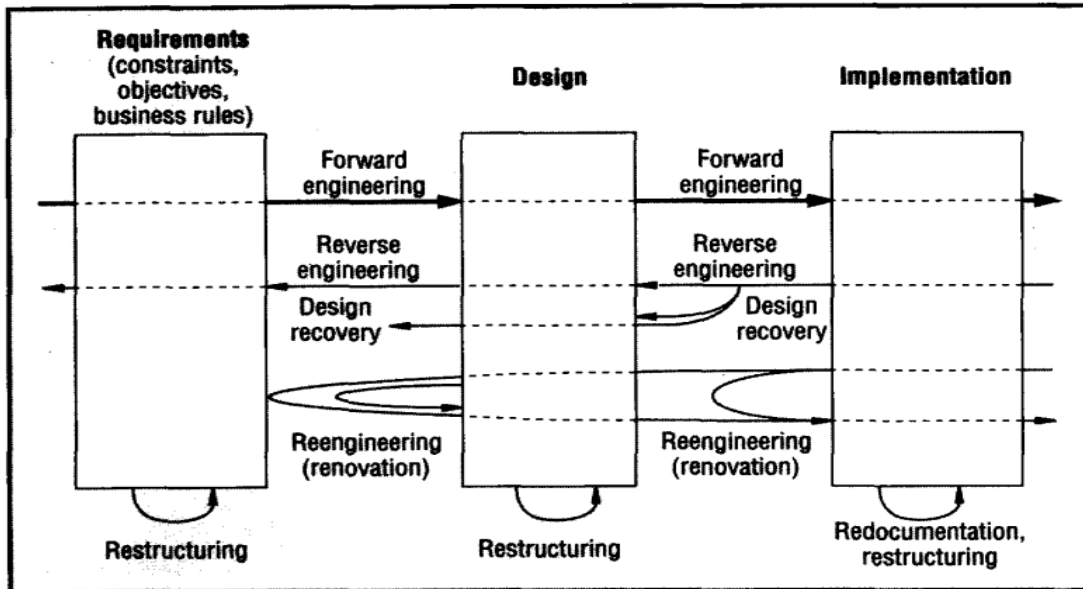


Figura N° 1. Ingeniería inversa y recuperación de diseño: una taxonomía.
Relación entre términos. Fuente: Chikofsky y Cross. 1990, pág. 14.

De acuerdo con la Figura N°1, se precisan tres conceptos esenciales en el proceso de ingeniería inversa: ciclo de vida, sistema sujeto y niveles de abstracción¹. El sistema sujeto es el punto de partida donde se origina la aplicación de la metodología que está necesariamente inscrito en un ciclo de vida. Las fases del ciclo de vida corresponden a distintos niveles de abstracción. Este consta de tres etapas: requerimientos, diseño e implementación de un producto. Toda implementación conlleva un proceso de diseño de un producto, físico o virtual, que es por defecto el nivel menos abstracto del ciclo. Por este motivo, uno de los efectos en la aplicación de este tipo de metodología es la recuperación de diseño.

“La Recuperación de Diseño debe reproducir toda la información necesaria para que una persona entienda completamente lo que hace un programa, cómo lo hace, por qué lo hace, entre otros” (Biggerstaff, 1989).

En este sentido la aplicación de la ingeniería inversa a los documentos en cuestión, como sistema sujeto, conllevará a la recuperación de diseño para entender qué es lo hace, cómo funciona y porqué hace lo que hace. Y para optimizarlo se procederá a implementar la Metodología de Abstracción de la Ingeniería Inversa (REAM en inglés).

¹ A pesar de que no hay una descripción precisa en la literatura ingenieril sobre qué se entiende respecto a niveles de abstracción, se suele describir a la abstracción como un proceso de alejamiento de la implementación, siendo esta última el producto per se (físico o virtual).

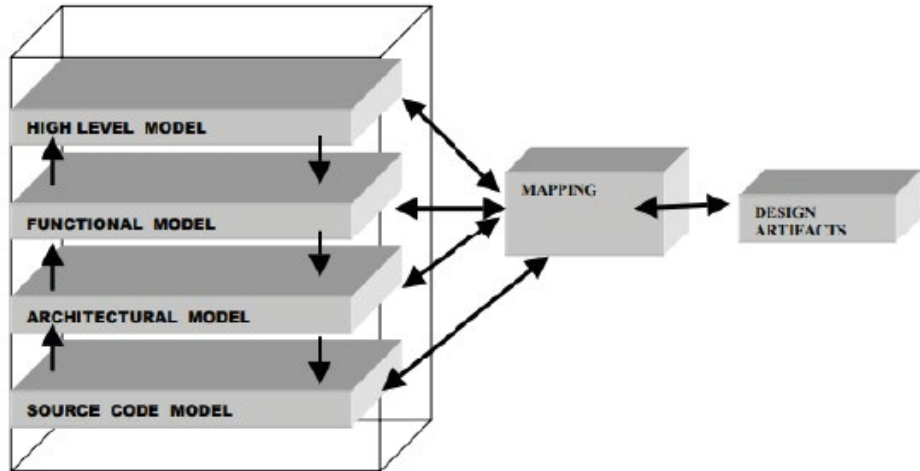


Figura N° 2. Metodología de la Ingeniería Inversa para Recuperar Artefactos de Diseño: Caso de Estudio. Fuente: Asif, N. Graphical description of a REAM. 2003, Pág. 934.

En la Figura N°2 se visualizan las cinco fases que corresponden a un determinado nivel de abstracción, en orden descendente e interrelacionados. La descripción de cada fase y la forma de su recuperación se describen a continuación de acuerdo con Asif (2003):

- El Modelo de alto nivel: se recupera a partir de la documentación disponible, la experiencia del investigador y a través de investigaciones empíricas sobre el sistema sujeto.
- El Modelo de Código Fuente: en el caso de la ingeniería de software se recupera utilizando herramientas de terceros para visualizar artefactos de diseño concretos.
- El Modelo Funcional: se recupera en base al Modelo de Alto nivel y el Modelo de Código Fuente.
- El Modelo de Arquitectura: se extrae de la comprensión de los artefactos de diseño obtenidos por los Modelos de Alto Nivel, Funcional y el de Código Fuente.
- El Mapeo: se desarrolla estableciendo las relaciones entre Modelos.

De tal forma, el proceso de abstracción de acuerdo con la Metodología REAM se constituye técnicamente de la siguiente manera en la Figura N°3:

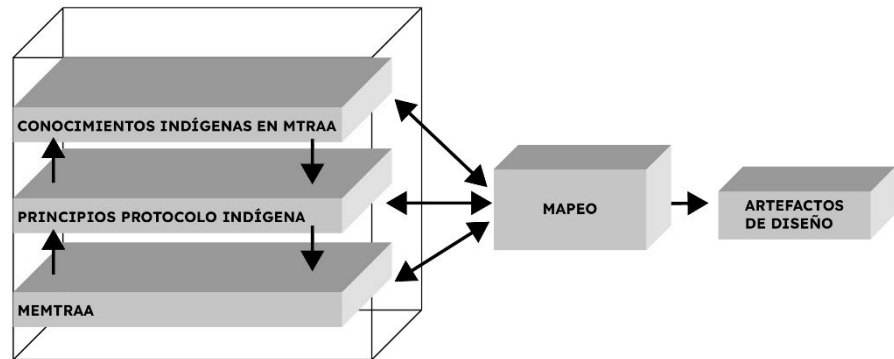


Figura N° 3. Metodología de la Ingeniería Inversa para Recuperar Artefactos de Diseño.

Fuente: Adaptado de Asif, N. Graphical description of a REAM. 2003, pág. 934.

Las fases de abstracción por lo tanto serían las siguientes:

- Las Sabidurías Ancestrales en Medicinal Tradicional Andino Amazónica con el mayor nivel de abstracción.
- Los Principios del Protocolo Indígena como un aterrizaje de las Sabidurías Ancestrales en Medicinal Tradicional Andino Amazónica.
- La MEMTRAA de las Sabidurías Ancestrales en Medicinal Tradicional Andino Amazónica con el menor nivel de abstracción pues se refiere a la documentación disponible al respecto.
- El Mapeo que establece las relaciones entre las fases.

Este modelo metodológico planteado permitirá caracterizar los componentes y generar finalmente criterios de operación que guíen el uso adecuado de plantas medicinales para la autoatención desde la cosmovisión de los médicos tradicionales.

Métodos para la Caracterización del Comportamiento de Consumo de Información en Autoatención

Para este segundo propósito, los autores utilizan: técnicas etnográficas virtuales (Ruíz Méndez & Aguirre Aguilar, 2015) a través del análisis web (Booth & Jansen, 2009) de los patrones de los motores de búsqueda de información en Internet; técnicas etnográficas (Katz & Csordas, 2003) a través de la recopilación de relatos biográficos y narrativos de los investigadores y personas (usuarios y comerciantes) que recurren al uso de plantas medicinales y/o medicina tradicional. En ambos casos, se utilizan diarios de campo y guías semánticas de búsqueda-observación de acuerdo con los criterios identificados en los resultados del primer propósito.

3. RESULTADOS

Entrenar Inteligencia Artificial con datos en Medicina Tradicional, considerando la complejidad y profundidad de estos conocimientos, es un reto. La Tabla N°1 refleja los Criterios de Operación para la Inteligencia Artificial en el uso de Medicina

Tradicional para la Autoatención en Salud producto de la aplicación del modelo de ingeniería inversa a los documentos principales y complementarios.

Tabla N° 1. Criterios de Operación para la Inteligencia Artificial en el uso de Medicina Tradicional para la Autoatención en salud

Criterios	Caracterización desde MEMTRAA
Abordaje de la salud-enfermedad	<p>Implica a la salud como un estado de bienestar general en crianza mutua con las relaciones entre comunidades humanas, sagradas y naturales y los principios de ordenamiento cósmico natural. Concibe la salud humana desde tres niveles de realidad: mental, espiritual y material.</p> <p>Concibe a la enfermedad como desarmonía, producto de la alteración de los principios del ordenamiento cósmico y terrestre y reconoce su origen como multidimensional e interrelacional.</p>
Perspectiva sobre los determinantes sociales de salud	Considera como determinantes sociales de salud a la coherencia entre la alimentación, relaciones comunitarias, cultura, identidad, territorio e historia.
Perspectiva de la farmacéutica y farmacología	Elaboración de medicamentos en base a principios simbióticos entre elementos naturales (minerales, animales o plantas) cuya acción sinérgica se complementa con sistemas complejos orgánicos (sistema límbico - inconsciente).
Medidas de elaboración de medicamentos	Intencionalidad, resonancia, integralidad, personalización. Además, considera condiciones adecuadas de salud de los elementos naturales (exposición al estrés por manipulación humana o efectos ambientales).
Posología de los medicamentos	Considera riesgos, efectos secundarios, contraindicaciones, reacciones adversas, interacciones con medicamentos farmacológicos, restricciones de consumo, dosificación, disponibilidad de elementos con propiedades similares en territorios diferentes.
Principios de sostenibilidad de los recursos empleados	<p>Aprovechamiento necesario y justo de los recursos.</p> <p>La permanencia de la vida es comprendida desde el fortalecimiento de la existencia comunitaria diseñada en cuatro dimensiones y para 7 generaciones.</p>
Perspectiva diagnóstica y terapéutica	<p>Recurre al reconocimiento del estado de salud de una persona considerando su contexto cosmobioteoecológico: Cosmo: relación con los principios naturales.</p> <p>Bio: relación con lo vivo. Teo: relación con lo divino o la experiencia espiritual. Eco: relación con el medio ambiente. Lógico: Integración de toda la información disponible a través de la ritualidad y los significados de palabras de vida.</p>
Perspectiva de la autoatención	Prevención.
Perspectiva respecto a las plantas medicinales	Para los conocimientos indígenas, se tratan de ‘entidades vivas que curan’.

Criterios	Caracterización desde MEMTRAA
Pedagogía para el uso de plantas medicinales	Los conocimientos indígenas aseguran que el proceso de enseñanza-aprendizaje solo es posible si antes se realiza una limpieza de la información almacenada en las redes neuronales del cerebro. La comunicación, solo así, es posible debido a que la acumulación de problemas, conocimientos y estrés afectan el proceso de ampliación de la mente y el lenguaje. Además, conciben al lenguaje no solo como un medio o un fin si no como una propiedad de la vida (materia, consciencia, información, energía) que permite ampliar los sentidos y establecer contacto con otras manifestaciones de visibles o invisibles.
Derechos de autor y propiedad intelectual	No se concibe el concepto de propiedad pues todo es sagrado. Lo sagrado tiene la particularidad de ser un código que, simultáneamente, conserva en su memoria una gran cantidad de información y capacidad de adaptación ante eventuales crisis o épocas de ajuste.
Perspectiva sobre la soberanía de la información	Contemplan a la autodeterminación e introducción de la sacralidad en los asuntos de gobernanza para resguardar, compartir la información de su cosmovisión, pensamiento y cultura.

Fuente: Elaboración propia

El análisis apunta a que la transducción adecuada, de los elementos particulares del Protocolo Indígena de Inteligencia Artificial y el Protocolo para Personas No-Indígenas que trabajan con Conocimientos Indígenas, conlleva a un enfoque de la tecnología desde el diálogo y la reciprocidad con una naturaleza viva en un sistema que es cósmico y terrestre a la vez (Restrepo & Peredo, 2021). Los criterios están orientados a incorporar nociones para el modelamiento de información en función de lineamientos del conocimiento indígena, escrito u oral. Estos, resultan útiles para la parametrización en el proceso de caracterización respecto al comportamiento de la búsqueda de información para la Autoatención con Medicina Tradicional.

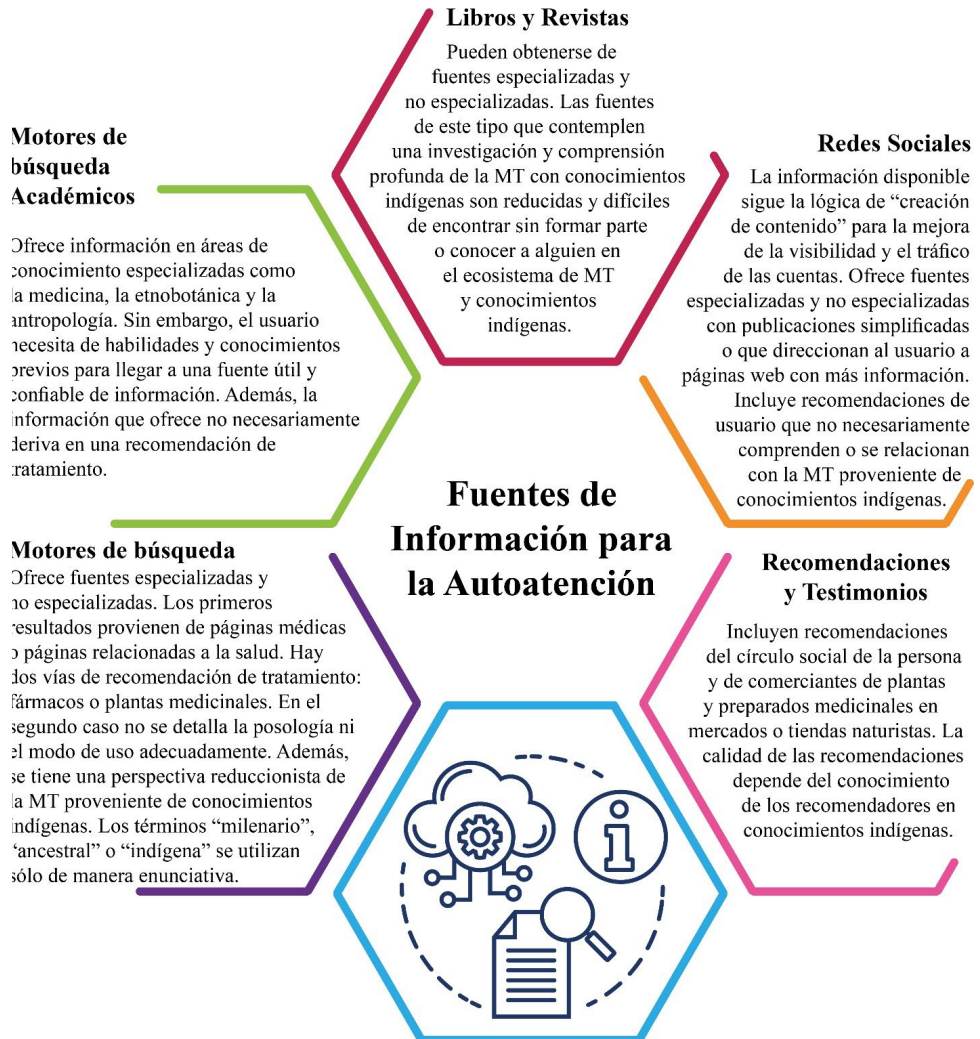


Figura N° 4: Descripción del Comportamiento de Búsqueda de Información para la Autoatención con Medicina Tradicional.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las notas de diario de campo registrados por uno de los autores (CP) durante el proceso de consulta de una persona que aseguraba tener malestares estomacales, con mucho dolor y un prediagnóstico incompleto que luego fue subsanado por otro especialista, sugiere que el flujo de la consulta es el siguiente. Cuando la persona consulta con un médico tradicional, en ocasiones de crisis o desesperación, el MT realiza un diagnóstico en base a una lectura propia de la situación del paciente, la cual incluye planos energéticos y físicos, las técnicas utilizadas en este diagnóstico varían de acuerdo con la formación y el contexto cultural del médico tradicional. Este diagnóstico se complementa con el historial clínico que brinda el paciente. Posteriormente su tratamiento consiste en una serie

de medidas nutricionales, fitoterapéuticas o ritualísticas con indicaciones precisas sobre las conductas y hábitos a llevar adelante por parte del paciente.

No obstante, de acuerdo con la Figura N°4, la Autoatención puede no depender necesariamente de una consulta previa con un curandero o especialista y estar expuesta a una variedad de información diversa y de bajo consenso. Esta situación puede poner en riesgo al paciente más aún si incluso se encuentra en una situación de estrés o angustia. En esta vía, la consulta con un naturista² no cualificado o la autoatención en base a información equivocada puede conducir a un tratamiento inadecuado, agravar u ocultar síntomas.



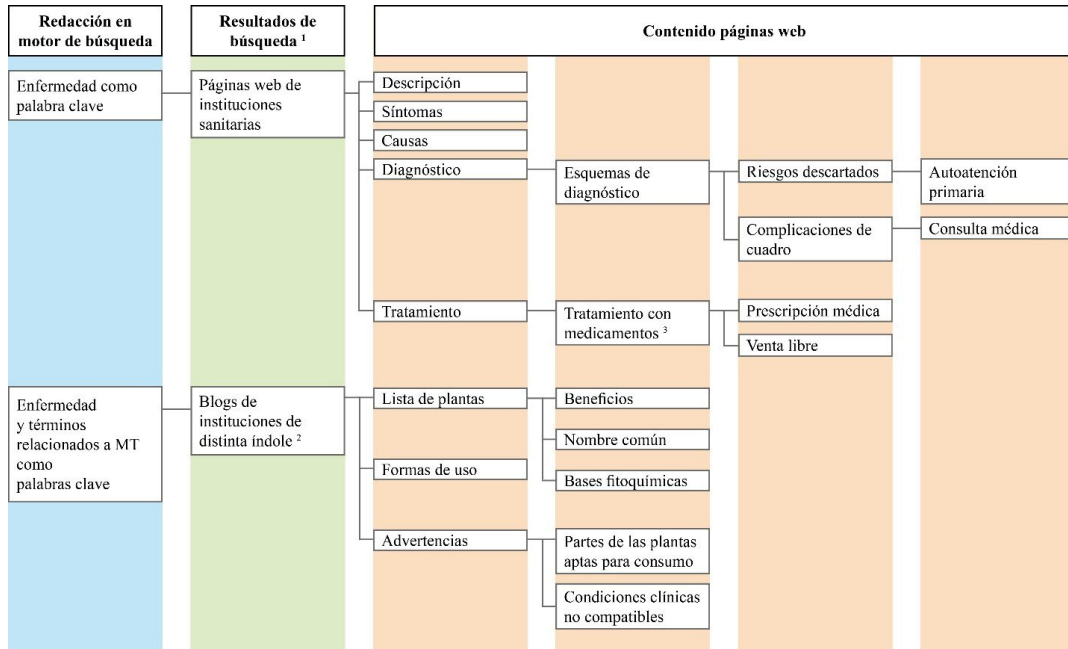
Figura N° 5. Izquierda: Rótulo de empaque de una planta medicinal. Derecha: Rótulo de empaque de un preparado herbal. Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo la afirmación anterior, las fotografías en la Figura N° 5 corresponden a productos herbales obtenidos durante una visita al sector de medicina tradicional en el Mercado de la Pampa³. Al respecto, el análisis sugiere que un tratamiento natural, ya sea que se presente para una condición clínica o en la forma de una planta que tiene ciertas propiedades, solo en base a información aislada sobre los beneficios, sin seguir adecuadamente los procedimientos y técnicas ancestrales, sin precisar sobre la dosificación, interacciones medicamentosas, efectos adversos, advertencias o prohibiciones, es un problema de salud pública.

² Personas que se autodenominan médicos o especialistas en el uso de plantas medicinales, aunque generalmente son solamente comerciantes de preparados naturales o plantas medicinales. En el contexto local, su funcionamiento está regulado y autorizado por instancias públicas gubernamentales.

³ Coordenadas (-17.402259339651156, -66.1531052995493)

Por esta razón, es importante comprender la importancia de acceder a medicina tradicional guiada por especialistas en plantas medicinales o sabedores de conocimientos indígenas, dichos conocimientos son desarrollado por grupos de personas por siglos de residencia ininterrumpida en un lugar (Sefa Dei, Karanja, & Erger, 2022, pág. 104) y conocimientos que hacen particular hincapié en el conocimiento de culturas ancestrales cuyas prácticas han sobrevivido milenios, a pesar de la colonización (Le Hunte, y otros, 2023). Este mismo riesgo, puede ser contrastado cuando se realizan búsquedas en Internet.



1. Los resultados en los motores de búsqueda depende de los filtros codificados en ellos y las estrategias que los creadores de la páginas web utilizan para optimizar su visibilidad y tráfico.

2. No se especifican nombres científicos, posología precisa, ni se habla sobre la disponibilidad de plantas según territorio o las características de una planta con estado óptimo para su recolección y consumo.

3. Los principios activos, dosificación, contraindicaciones e interacciones sólo son accesibles en la posología del producto o medicamento.

Figura N°6 : Diagrama del proceso de búsqueda de información para la autoatención en motores de búsqueda digitales.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Figura N° 6, según las palabras clave que se insertan en los motores de búsqueda digitales, los resultados exponen a una persona, en búsqueda de autoatención, a información desde perspectivas de la medicina convencional y muy escasamente de la medicina tradicional. Cuando la palabra clave es un síntoma o patología (por ejemplo, tos o gripe) los resultados de búsqueda están relacionados a instituciones sanitarias (Mayo Clinic, Medline Plus) cuyo contenido se describe en las secciones de franja naranja en la imagen. Mientras tanto, las palabras o frases que se utilizan para aproximarse a información superficialmente relacionada a medicina tradicional son “remedios caseros/naturales para ...” o “plantas para ...”. En este sentido, los resultados dirigen al usuario a publicaciones (blogs) con listas y descripciones de plantas medicinales cuyas fuentes no son identificables

ni verificables, prescribiendo en muchos casos tratamientos incompletos: no se presenta dosificación, identificación científica de la especie o variedad, frecuencia de consumo, proveedores de garantía, duración de tratamiento, disponibilidad de la variedad en el territorio de consulta y alternativas homólogas en caso de no existencia. Además, se observa, en algunos casos, que el uso de una determinada planta medicinal es catalogado como ‘suplemento nutricional’ en base a los compuestos activos que presenta.

Todos los elementos expuestos, que incluso forman parte de los parámetros de un protocolo de tratamiento convencional, evidencian en conjunto que: 1) la búsqueda de medicina tradicional no es compatible con los criterios de los conocimientos indígenas; 2) existe una desinformación muy marcada, en medios físicos y digitales, respecto a los sistemas de conocimiento indígena en medicina tradicional; 3) hay una confusión en Medicina Tradicional con base en conocimientos indígenas y Medicina Tradicional Complementaria. Por lo tanto, resulta lógico que su uso inadecuado para la autoatención sea un problema de salud pública y existan sesgos, estigmas y prejuicios en torno a la medicina tradicional.

4. DISCUSIONES

El Protocolo de Inteligencia Artificial Indígena, elaborado por el grupo de trabajo compuesto por diversas comunidades en Aotearoa, Australia, Norteamérica y el Pacífico, reconoce que la IA se está convirtiendo en una tecnología fundamental, a la par de la electricidad o el Internet, por lo que afectará -positiva o negativamente- a la mayoría de las personas en sus vidas. Además, afirman su interés en observar el diálogo entre los distintos significados del concepto de ‘protocolo’ para articular nuevas pautas que guíen el diseño y trabajo con IA.

“Los sistemas de IA consistirán en innumerables protocolos dialogando entre sí: nuestro objetivo es reconocer honestamente las presuposiciones culturales que estamos codificando, para conscientemente darle forma a estos protocolos en direcciones que sean beneficiosas para nuestras comunidades, y evaluar claramente qué tipo de relaciones estamos materializando en el mundo” (Lewis, 2020).

El interés de asegurar el aprovechamiento ético y constructivo de la IA es mundial. Distintos gobiernos e instituciones mantienen un trabajo continuo en el desarrollo de marcos regulatorios coherentes con las propuestas tecnológicas en desarrollo y que ya son una realidad en la sociedad. La plataforma digital AI for Good de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), tiene el objetivo de identificar aplicaciones prácticas de la IA para promover los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas y escalar esas soluciones para lograr un impacto global (UIT, 2023). La UIT, en asociación con la OMS, creó el Grupo de Trabajo sobre Inteligencia Artificial para la Salud (FG-AI4H) para poder establecer un marco de evaluación estandarizado para métodos basados en IA en la toma de decisiones de salud, diagnóstico, triaje o tratamiento (UIT, 2023).

En este marco, los resultados de esta investigación pueden ser apreciados como un nivel protocolar adicional, en atención a los principios establecidos en el Protocolo de Inteligencia Artificial Indígena: localidad; relacionalidad y reciprocidad; responsabilidad, relevancia y responsabilidad; elaboración de directrices de gobernanza a partir de protocolos indígenas; reconocimiento de la naturaleza cultural de toda tecnología informática; aplicación del diseño ético al ecosistema

de desarrollo tecnológico; respeto y apoyo a la soberanía de los datos. En esta línea, la condición que se debe continuar es que su funcionalidad sea aplicable al desarrollo de otros protocolos que permitan la articulación con otros niveles: arquitectura o código.

Potencialidades

Una razón por la que las personas acuden a procesos de autoatención es la accesibilidad económica, pues mientras mayor es la autonomía en los procesos de autocuidado de la salud, menores son los costos de atención (OPS, 2022). En el contexto de la medicina tradicional, cuyas consultas y tratamientos son más accesibles que aquellos en centros de salud especializados, la posibilidad de reducir gastos es también un motivo por el que las personas recurren a la medicina tradicional (OMS, 2013). A este respecto, la autoatención en medicina tradicional tiene el potencial de reducir los costos para pacientes y para los sistemas sanitarios.

De acuerdo con Forslund (2024) “Si se aplica de forma equitativa, inclusiva y sostenible, la transformación digital de los sistemas sanitarios tiene el potencial de ampliar la cobertura de los servicios sanitarios y reducir las brechas de equidad; reforzar la atención primaria; mejorar la eficiencia y la rentabilidad de los sistemas sanitarios; y fomentar una gobernanza sanitaria más inclusiva. La mayor generación de datos sanitarios resultante de la digitalización puede mejorar aún más la prestación de asistencia sanitaria y la monitorización para mejorar los resultados.” En complementación, el desarrollo de herramientas IA en autoatención en medicina tradicional permitiría un avance significativo en la recuperación y transmisión de conocimientos indígenas, además de prevenir la desinformación respecto a los usos y prácticas en medicina tradicional.

Riesgos y Desafíos

El desarrollo de herramientas digitales de autoatención en salud también puede perpetuar vulnerabilidades, al eximir al gobierno y a las autoridades de la responsabilidad de garantizar servicios de salud de calidad (OPS, 2022, pág. 70). En países de ingreso mediano bajo, como Bolivia, es necesario abordar diversos desafíos antes de implementar estas herramientas digitales. Entre los principales obstáculos se encuentran las infraestructuras digitales públicas inadecuadas, la marcada brecha digital, la ausencia de marcos jurídicos y normativos sólidos para desarrollo y uso de tecnologías sanitarias digitales, y la limitada participación de la sociedad, especialmente de poblaciones marginalizadas (Forslund, y otros, 2024).

Por otro lado, el uso de sistemas de inteligencia artificial (IA) implica riesgos adicionales, ya que estos dependen de grandes volúmenes de datos sobre la actividad humana. Esto puede convertir a la IA en una herramienta de extractivismo y apropiación de conocimientos indígenas (Lewis, 2020). Esta problemática resalta la necesidad urgente de establecer marcos regulatorios sólidos enfocados en la solicitud, recolección, análisis y operacionalización de datos.

Un desafío clave en el diseño y desarrollo de herramientas de IA para la autoatención en salud es integrar las profundas nociones y principios que subyacen en la Medicina Tradicional basada en conocimientos indígenas. Asimismo, resulta fundamental definir y delimitar el espacio de atención que estas herramientas abarcarán, evitando que su alcance desplace prácticas esenciales que requieren interacción humana y personal especializado.

Además, la IA genera un impacto ambiental significativo. Según Luccioni (2024), los impactos ambientales de la inteligencia artificial suelen pasar desapercibidos debido a la distancia física entre los centros de datos, donde se ejecutan los modelos de IA, y los usuarios que interactúan únicamente con sus resultados. A pesar de su apariencia inmaterial, el funcionamiento de la IA implica un uso considerable de recursos naturales como energía, agua y minerales, además de generar emisiones importantes de gases de efecto invernadero.

En este contexto, el primer principio del Protocolo de Inteligencia Artificial Indígena enfatiza la localidad, destacando que el conocimiento indígena está profundamente vinculado al territorio donde se genera y desarrolla. Por ejemplo, en la medicina tradicional, las plantas medicinales utilizadas en los tratamientos son seleccionadas según la región en la que se encuentra el paciente. Existen plantas homólogas en distintas localidades con propiedades curativas similares. Por tanto, el diseño de sistemas de IA para la autoatención en medicina tradicional debe adaptarse a las necesidades de la comunidad usuaria y a su contexto ambiental.

5. CONCLUSIONES

Ya que los estudios en IA-Medicina Tradicional son todavía emergentes, la mayoría de las iniciativas tecnológicas han sido desarrolladas desde la disponibilidad de técnicas de procesamientos de datos como machine learning, deep learning, computer vision, farmacología de redes, bioinformática, biología de sistemas, informática química (Wu, 2022), redes neuronales artificiales (Cossio, 2024), natural language processing (Gupta & Sharma, 2024) entre otros. En todos ellos, la lógica del método todavía persiste en aislar y reproducir el comportamiento de la realidad. En el caso de la medicina y la salud, se reducen a extraer conocimientos indígenas en plantas medicinales para aislar principios o reacciones químicas y biológicas.

Los hallazgos sugieren que la complejidad de un proyecto de IA-Conocimientos Indígenas, en sentido amplio, o IA-Medicina Tradicional, en sentido estricto, se encuentra en el nivel de abstracción referente al diseño de la lógica computacional. Con esto, no se plantea que el desarrollo de tecnologías IA se basen en el aprovechamiento de conocimientos indígenas, que, aunque puede ser muy útil, no refleja una apreciación de la realidad -física y virtual- de los planos sutiles, sensibles e intangibles de la existencia. En su lugar, se considera que las siguientes fases de investigación podrían enfocarse en contribuir al fortalecimiento del Protocolo Indígena de Inteligencia Artificial en el modelamiento del sistema de producción de conocimiento científico desde la perspectiva del conocimiento indígena (Yunkaporta, 2019), estableciendo métodos de ensamblaje que puedan integrar múltiples modelos predictivos y adaptativos en ciencia y cultura a partir de patrones de creación. El potencial del 'chamanismo' (Llamazares, 2013), el pensamiento amáutico o la visión cosmobioteoecológica, para el desarrollo de tecnologías, se encuentra en la similitud operativa de procedimientos neuronales como la interconexión, extensión de significados, estados de consciencia, representación mental, procesamiento implícito y estructuras cognitivas (Hubbard, 2002; 2003). Se supone que, desde esta reflexión, el ejercicio de entrenamiento de una Inteligencia Artificial sería similar a la formación del 'chakaruna': el hombre puente que es capaz de transitar entre dos mundos opuestos. En este sentido, se considera importante que los estudios posteriores en IA-MTAS incorporen,

en su marco de análisis o experimentación, las potencialidades que ofrecen los avances en inteligencia de las plantas; extracción de mapas para la resolución de problemas con análisis de inteligencia colectiva e ingeniería del lenguaje (Andres, Kawtrakul, Pechsiri, & Rajbhandari, 2009); inteligencia colectiva y exploración del conocimiento (Sassi & al., 2022); IOLT (Sørensen & Lansing, 2023); AIoT (Venkatesmarlu & al., 2024)

6. AGRADECIMIENTOS

Damos un especial agradecimiento a los sabedores de las diversas comunidades indígenas del Abya Yala por dar su visto bueno en la revisión preliminar de este documento.

7. REFERENCIAS

Adibaru Kiflie, M., Prasad Sharma, D., & Abebe Haile, M. (2024). Deep learning for Ethiopian indigenous medicinal plant species. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 100987. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39546923/>

Alexander, S., Shareck, M., & Glenn, N. M. (2023). Capturing the Lived Experience of Place in Health Promotion Research: In Situ Methodologies. En D. P. Jourdan, *Global Handbook of Health Promotion Research* (págs. 115-128). Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-031-20401-2_11

Amabie, T., Chibueze Izah, S., & Chidozie Ogwu, M. &. (2024). Harmonizing Tradition and Technology: The Synergy of Artificial Intelligence in Traditional Medicine. En S. e. Izah, *Herbal Medicine Phytochemistry. Reference Series in Phytochemistry* (págs. 1-23). Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-43199-9_70

Andres, F., Kawtrakul, A., Pechsiri, C., & Rajbhandari, S. (2009). Problems-Solving Map Extraction with Collective Intelligence Analysis and Language Engineering. En V. Prince, & M. Roche, *Information Retrieval in Biomedicine: Natural Language Processing for Knowledge Integration* (págs. 325-343). Non identified: IGI Global. Obtenido de <https://www.igi-global.com/chapter/problems-solving-map-extraction-collective/23069>

Asif, N. (2003). Reverse Engineering Methodology to Recover the Design Artifacts: A Case Study. *Software Engineering Research and Practice*, 932-938.

Belli, L., & Gaspar, W. (2023). *The quest for AI sovereignty, transparency and accountability*. IGF - Getulio Vargas Foundation. Obtenido de https://www.intgov-forum.org/en/filedepot_download/288/26421

Biggerstaff, T. J. (1989). Design recovery for maintenance and reuse. *Computer*, 22(7), 36-49. doi:10.1109/2.30731

Booth, D., & Jansen, B. J. (2009). A Review of Methodologies for Analyzing Websites. En B. J. Jansen, A. Spink, & I. Taksa, *Handbook of Research on Web Log Analysis* (págs. 143-164). Non identified: IGI Global. [doi:10.4018/978-1-59904-974-8.ch008](https://doi.org/10.4018/978-1-59904-974-8.ch008)

- Canavera, L. (2023). Blending indigenous knowledge and artificial intelligence to enable adaptation. *The circle*(1), 13. Obtenido de <https://www.arcticwwf.org/magazine-issues/2023/innovating-for-a-better-future/>
- Chikofsky, E., & Cross, J. (1990). Reverse engineering and design recovery: a taxonomy. *IEEE Software*, 7(1), 13-17. doi:10.1109/52.43044
- Cossio, I. (2024). *Detección automática de imágenes de plantas medicinales usando redes neuronales artificiales*. Proyecto de Grado, Universidad Mayor de San Simón. Obtenido de https://www.cs.umss.edu.bo/rep_tesis.jsp?codigo=3370&tipo_tes=1
- Dragan, I. M., & Isaic-Maniu, A. (2013). Snowball Sampling Completion. *Journal of Studies in Social Sciences*, 160-177. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/229607586.pdf>
- Estrada Lugo, E. (2002). *Plantas Medicinales de México*. Texcoco, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Etikan, I. e. (2015). Comparison of Convenience Sampling and Purposive Sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 1. Obtenido de <https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/j.ajtas.20160501.11>
- Eysenbach, G. (2001). What is e-health? *Journal of Medical Internet Research*, 3(2). doi:10.2196/jmir.3.2.e20
- Foley, R., & et al. (2020). Disciplined research in undisciplined settings”: Critical explorations of in situ and mobile methodologies in geographies of health and wellbeing. *AREA*, 514-522. doi: <https://doi.org/10.1111/area.12604>
- Forslund, M., Mathieson, K., Djibo, Y., Mbindyo, C., Lugangira, N., & Balasubramaniam, P. (2024). Strengthening the evidence base on the use of digital health technologies to accelerate progress towards universal health coverage. *Oxford Open Digital Health*, 2. Obtenido de <https://doi.org/10.1093/oodh/oqae033>
- G., a., S., G., S.M.A., A., F., T., & M.H., G. R. (2022). Prevalence of self-medication during COVID-19 pandemic: A systematic review and meta-analysis. *Front Public Health*, 10. doi:10.3389/fpubh.2022.1041695
- Ghimire, P. (2021). Digitalization of Indigenous Knowledge in Nepal. Review article. *Acta Informatica Malaysia*, 42-47. Obtenido de <https://actainformaticamalaysia.com/archives/AIM/2aim2021/2aim2021-42-47.pdf>
- Girault, L. (1987). *Kallawayaya: curanderos itinerantes de Los Andes*. La Paz, Bolivia: Quipus.
- González Zepeda, L. E., & Martínez Pinto, C. E. (2023). *Inteligencia Artificial centrada en los Pueblos Indígenas. Perspectivas desde América Latina y el Caribe*. Montevideo, Uruguay: UNESCO.
- Green Stócel, A. (2011). *Significados de Vida: Espejo de nuestra Memoria en Defensa de la Madre Tierra*. Medellín: Universidad de Antioquia. Obtenido de https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/6935/1/AbadioGreen_2011_MadreTierra.pdf

- Gupta, C., & Sharma, A. (2024). Reviving Indigenous Languages using Machine Learning. *Insights2Techinfo*, 1. Obtenido de <https://insights2techinfo.com/reviving-indigenous-languages-using-machine-learning/>
- Hubbard, T. L. (2002). Some Correspondences and Similarities of Shamanism and Cognitive Science: Interconnectedness, Extension of Meaning and Attribution of Mental States. *Anthropology of Consciousness*, 26-45. doi:10.1525/ac.2002.13.2.26
- Hubbard, T. L. (2003). Further Correspondences and Similarities of Shamanism and Cognitive Science: Mental Representation, Implicit Processing, and Cognitive Structures. *Anthropology of Consciousness*, 40-74. doi:10.1525/ac.2003.14.1.40
- IKSLabs. (20224). *Protocols for Non-Indigenous People Working with Indigenous Knowledge*. Algoma: Deakin University. Obtenido de https://justiceactionmaribyrnong.com/wp-content/uploads/2024/09/A_protocol_bundle_for_working_with_Indigenous_knowledge_1725078558.pdf
- Jaarsma, T., Strömberg, A., Dunbar, S., Fitzsimons, D., Lee, C., Middleton, S., . . . B., R. (2020). Self-care research: How to grow the evidence base? *International Journal of Nursing Studies*, 103555. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2020.103555>
- Katz, J., & Csordas, T. J. (2003). Phenomenological ethnography in sociology and anthropology. *Sage Journals*, 275-288. doi: <https://doi.org/10.1177/146613810343001>
- Khan, S. e. (2022). Did the COVID-19 pandemic impact help-seeking behavior for seizure management? A Google Trends™ study. *Epilepsy and Behavior*, 108489. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2021.108489>
- Lee, D. (2024). Silicon Snowball Sampling: A Dynamic Approach to Online Data Collection. *7th International Conference on New Trends in Social Sciences* (págs. 1-10). Prague, Czech Republic: Diamond Scientific Publishing. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/383649541_Silicon_Snowball_Sampling_A_Dynamic_Approach_to_Online_Data_Collection
- Lewis, J. (2020). *Indigenous Protocol and Artificial Intelligence Position Paper*. The Initiative for Indigenous Futures and the Canadian Institute for Advanced Research (CIFAR). doi:10.11573
- Lewis, J. E. (2024). Abundant intelligences: placing AI within Indigenous knowledge frameworks. *Ai & Society*, 0. doi: <https://doi.org/10.1007/s00146-024-02099-4>
- Llamazares, A. M. (2013). Occidente Herido: El Potencial Sanador del Chamanismo en el Mundo Contemporáneo. *Diversidad*, 67-104. Obtenido de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/28753/CONICET_Digital_Nro.6063bdfc-9243-4517-8147-5c45a3eece42_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Lu, L. e. (2024). AI: Bridging Ancient Wisdom and Modern Innovation in Traditional Chinese Medicine. *JMIR Medical Informatics*, e58491. doi:10.2196/58491
- Luccioni, S., Trevelin, B., & Mitchell, M. (3 de Septiembre de 2024). *Hugging Face*. Obtenido de <https://huggingface.co/blog/sasha/ai-environment-primer>

Luna, L. E. (1986). *Vegetalismo: Shamanism Among the Mestizo Population of the Peruvian Amazon*. Almqvist & Wiksell International.

OMS. (2013). *Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2014-2023*. Obtenido de https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/95008/9789243506098_spa.pdf

OPS. (2022). *Directrices de la OMS sobre intervenciones de autocuidado para la*. Washington. Obtenido de <https://doi.org/10.37774/9789275326275>

Ortíz, A. e. (2003). Estudio de poblaciones ocultas y de difícil acceso. En Varios, *Metodología para la elaboración de estudios epidemiológicos a nivel nacional y local y estudios para grupos especiales relacionados con las adicciones*. (págs. 101-112). México: Observatorio Epidemiológico en México. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Villatoro-Velazquez/publication/277587690_Estudio_de_poblaciones_ocultas_y_de_dificil_acceso/links/556dd0b008aeccd-7773f3c23/Estudio-de-poblaciones-ocultas-y-de-dificil-acceso.pdf

Oxford Insights. (2023). AI for Climate Change: Using artificial and indigenous Intelligence to fight climate change. Obtenido de <https://oxfordinsights.com/insights/ai-indigenous-intelligence/>

Pasikowski, S. (2023). Snowball Sampling and Its Non-Trivial Nature. *Przełąd Badań Edukacyjnych Educational Studies Review*, 105-120. doi: <https://doi.org/10.12775/PBE.2023.030>

Peredo Albornoz, G., & Prado Mendoza, C. (2024). Sistema Tukuypaq. Aportes de la medicina tradicional para el abordaje integral de epidemias o pandemias. *Revista de Investigación e Información en Salud*, 94-108. doi: <https://doi.org/10.52428/20756208.v19i47.1218>

Peredo, G. (2020). Estudio de la fragmentación de líneas temporales y los estados prolongados de confusión para el análisis de la existencia-consciencia humana del siglo XXI. En Comuniteca, *Diálogos de pandemia: Aportes y desafíos de la comunicación en tiempos de Covid-19* (págs. 107-111).

Pérez, R. (2019). Aplicación móvil para la preservación de las lenguas originarias de México aplicando Inteligencia Artificial. *CIERMMI Mujeres en la ciencia*(1), 75-96. doi: [10.35429/h.2019.1.75.96](https://doi.org/10.35429/h.2019.1.75.96)

Poulose, N. (2021). Fake News in Health and Medicine. En *Data Science for Fake News. The Information Retrieval Series*. Springer.

Prado Mendoza, C. (2016). *Mancharisqa no es depresión. Aporte etnomédico para la salud mental intercultural*. Cochabamba: No identificada. Obtenido de <https://searchworks.stanford.edu/view/11879402>

Prado, C. (2023). *Memoria de Medicina Tradicional Andino Amazónica. 1000 Maneras de Prevenir y Curar Enfermedades*. Centro Cultural Kuska de Sabidurías Ancestrales. Qinti Studios.

Redvers, N. e. (2024). Indigenous Elders' voices on health-systems change informed by planetary health: a qualitative and relational systems mapping inquiry. *The Lancet Planetary Health*, e1106–17. Obtenido de [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(24\)00277-8/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(24)00277-8/fulltext)

- Rojas, J. (2014). *Vigilancia de la comunicaciones en la era digital - reporte Bolivia*. Global Information Society Watch, Fundación REDES para el Desarrollo Sostenible.
- Rösing, I. (1995). *Dialogos con divinidades de cerros, rayos, manantiales y lagos: oraciones blancas Kallawayas*. Hisbol.
- Ruiz Méndez, M. d., & Aguirre Aguilar, G. (2015). Etnografía virtual, un acercamiento al método y a sus aplicaciones. *Estudios sobre las Culturas Contemporáneas*, 67-96. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5175390>
- Sakur, F. e. (2022). Self-care Behaviors and Technology Used During COVID-19: Systematic Review. *JMIR Human Factors*, e35173. doi:10.2196/35173
- Sassi, S., & al., e. (2022). Collective intelligence and knowledge exploration: an introduction. *International Journal of Data Science and Analytics*, 99-111. doi: <https://doi.org/10.1007/s41060-022-00338-9>
- Sørensen, V., & Lansing, J. S. (2023). Art, technology and the Internet of Living Things. *AI & Society*, 2401-2417. doi:<https://doi.org/10.1007/s00146-023-01667-4>
- Subbiah, V. (2023). The next generation of evidence-based medicine. *Nature Medicine*, 49-58.
- Torres-Soto, N. Y. (2022). The relationship between self-care, positive family environment, and human wellbeing. *Wellbeing, Space and Society*, 100076. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wss.2022.100076>
- UIT. (2023). Obtenido de AI for Good: <https://aiforgood.itu.int/about-ai-for-good/>
- UIT. (2023). Focus Group on “Artificial Intelligence for Health”. Obtenido de <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ai4h/Pages/default.aspx>
- Vanderbroek, I. (2003). *Plantas medicinales para la atención primaria de la salud. El conocimiento de ocho médicos tradicionales de Apillapampa (Bolivia)*. Cochabamba: Industrias Gráficas Serrano.
- Venkatesmarlu, V., & al., e. (2024). The Future of Healthcare: Using AI and IoT to Drive Data Driven Revolution. En S. Kant Gupta, D. A. Karras, & R. (. Natarajan, *Revolutionizing Healthcare: AI Integration with IoT for Enhanced Patient Outcomes* (págs. 169-183). Non identified: Springer, Cham. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-65022-2>
- Walker, M. (2023). *Digital Health: How modern technology is changing medicine and*.
- White, J. B. (2024). Consilience and AI as technological prostheses. *AI & Society*, 2179-2181. Obtenido de <https://philarchive.org/rec/WHICAA-6>
- WHO. (2021). *Global strategy on digital health 2020-2025*. Obtenido de <https://www.who.int/docs/default-source/documents/g4dhdaa2a9f352b0445bafbc-79ca799dce4d.pdf>
- WHO. (2024). *Implementation of self-care interventions for health and well-being. Guidance for health systems*.

Wilson, E. O. (1999). *Consilience. The Unity of Knowledge*. Vintage Books.


Wu, C. e. (2022). Artificial Intelligence in Traditional Medicine. *Frontiers in Pharmacology*, 1-2. doi:<https://doi.org/10.3389/fphar.2022.933133>

Yunkaporta, T. (2019). *Sand Talk. How Indigenous Thinking can Save the World*. Melbourn, Australia: Text Publishing .

Artículo científico

Desarrollo de capacidades a través de las redes tecnológicas y científicas

Building capabilities through technological and scientific networks

 Yelka Aguilera Santos¹.

1. Docente e investigadora universitaria. Universidad Privada del Valle. La Paz. Bolivia. yaguileras@univalle.edu

RESUMEN

En este contexto digital, con el acceso irrestricto de redes sociales, plataformas y aplicaciones; donde el usuario tiene el control y autonomía en sus usos cotidianos. Este escenario, no necesariamente, implica que las nuevas habilidades y destrezas tecnológicas hayan coadyuvado a mejorar las capacidades individuales y superar los límites del conocimiento científico en nuestra sociedad. Esta aseveración surge como resultado de la investigación: “El impacto académico del acceso a las nuevas tecnologías de información y comunicación Tics digitales en el desarrollo de las competencias de los estudiantes universitarios”. Pregunta de investigación: ¿Cuáles son los impactos académicos del acceso a las nuevas tecnologías de información y comunicación Tics digitales en el desarrollo de las competencias de estudiantes universitarios? Método de investigación fue mixto cuali/cuantitativo, con métodos inductivo y deductivo, muestra no probabilística de sujetos tipo, de expertos y muestra probabilística. Los resultados fueron: El acceso a los medios digitales no implica que se genere un verdadero aprovechamiento de los adelantos tecnológicos. No existiría un desarrollo generalizado de las capacidades educativas de los estudiantes. Los estudiantes no perciben la importancia de construir redes tecnológicas. Previo al incentivo en la formación de redes tecnológicas y científicas, habrá que incluir a los actores docente y estudiante, para un correcto aprendizaje de esta nuevas competencias y capacidades.

Palabras clave: Capacidades tecnológicas. Desarrollo tecnológico. Innovación científica. Tecnologías del aprendizaje. Tecnologías de la Información y Comunicación.

Citar como: Aguilera Santos, Y. (2024). Desarrollo de capacidades a través de las redes tecnológicas y científicas. *Journal Boliviano De Ciencias*, 20(56), 38-51 <https://doi.org/10.52428/20758944.v20i56.1204>

Revisado: 07/10/2024
Aceptado: 13/12/2024
Publicado: 30/12/2024

Declaración: Derechos de autor 2023 Mercado Ontiveros, E. J., & Martínez Severich, R., Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.



ABSTRACT

In this digital context, with unrestricted access to social networks, platforms, and applications, where the user has control and autonomy in their daily uses. This scenario, not necessarily, implies that new technological skills and abilities have helped to improve individual capabilities and overcome the limits of scientific knowledge in our society. This assertion arises as a result of the research: “The academic impact of access to new information and communication technologies, digital ICTs, on the development of the skills of university students.” Research question: What are the academic impacts of access to new information and communication technologies (digital ICTs) on the development of university students’ skills? The research method was mixed qualitative/quantitative, with inductive and deductive methods, non-probabilistic sample of typical subjects, experts and probabilistic sample. The results were: Access to digital media does not imply that true use of technological advances is generated. There would not be a generalized development of the educational capabilities of the students. Students do not perceive the importance of building technological networks. Conclusions: Prior to the incentive in the formation of technological and scientific networks, the teaching and student actors will have to be included for a correct learning of these new skills and abilities.

Keywords: Technological Capabilities. Technological Development. Scientific Innovation Learning Technologies. Information and Communication Technologies.

1. INTRODUCCIÓN

Desde la incursión de las Tecnologías de la Información y la Comunicación a finales del Siglo XX y a inicios del Siglo XXI, se logró una mayor independencia y autonomía en distintos escenarios de la vida del hombre. El acceso a medios de comunicación e información, rebasando los límites del espacio-tiempo, fueron empleados variados fines: culturales, sociales, políticos y deportivos. Sin embargo, el ámbito donde se notó mayor trascendencia fue el educativo.

Con el acceso al internet, el desarrollo progresivo y las generaciones de la Web (World Wide Web) hasta la Inteligencia Artificial, las acciones educativas también fueron cambiando y enfrentando desafíos cada vez más exigentes. Las instituciones educativas también tuvieron que acomodarse y trascender desde un denominada Sociedad de la Información a la del Conocimiento.

Méndez *et al.* (2008) señala que la Sociedad de la Información como “la capacidad de almacenar, transformar, acceder y difundir información, donde el talento humano es factor fundamental” (p.74) En tanto, Pescador (2014) define a la Sociedad del Conocimiento como “se puede caracterizar como aquella sociedad que cuenta con las capacidades para convertir el conocimiento en herramienta central para su propio beneficio” (p.6).

Por lo tanto, se puede enfatizar que no es suficiente el acceso a los medios digitales ni sus características multimedia o hipermedia, si es que no están dadas las condiciones oportunas para que se produzca un avance o aporte al conocimiento científico que, en este caso, se encuentra en manos de las instituciones educativas.

Las universidades, indicadas como las comprometidas en dar respuesta al encargo social que, según el autor Alemán (2008) señala que “estas instituciones están

integradas al quehacer social y deben influir decisivamente en todos los cambios de acción de la sociedad, es decir, en la producción, la generación y preservación de conocimiento” (p.3).

En la etapa post pandemia se hizo evidente el cambio en el ámbito educativo, donde se desarrollan los procesos de enseñanza aprendizaje. No solo hubo necesidad de revisar los modelos educativos cognitivos sociales o aquellos aún con las reseñas del constructivismo educativo. La fórmula de Ausubel sobre el “aprendizaje significativo” asume una nueva perspectiva, donde lo fundamental es la interacción entre los conocimientos adquiridos por estos nativos digitales y los nuevas informaciones y contenidos formales transmitidos por el docente (Ausubel, 1983).

Los denominados “nativos digitales” término acuñado el 2001 por Marc Prensky para nombrar a aquellos jóvenes, que en su vida cotidiana están relacionados con medios digitales, para cubrir distintas necesidades sociales, de entretenimiento y educativas. Solano (2010) resumen como sus habilidades generales a las siguientes: “operan a gran velocidad, pueden hacer varias cosas a la vez, utilizan con gran facilidad las herramientas tecnológicas, les agrada compartir información, pueden auto-aprender a través de videos, conciben las TIC como su realidad” (p.338). Sin embargo, estas prácticas no necesariamente podrían ser consideradas competencias digitales, que permitirían el desarrollo de nuevos conocimientos que, de manera sistematizada, podrían originar saberes científicos. Por lo tanto, es pertinente considerar que ya existen estándares para evaluar las competencias digitales, tal como indica Mon *et al.* (2008).

Uno de los más conocidos son los Estándares de Tecnologías de la Información y la Comunicación (NETS), desarrollados por la International Society for Technology in Education (ISTE, 2008) y que especifica los siguientes estándares para estudiantes: 1) creatividad e innovación. 2) comunicación y colaboración. 3) investigación y manejo de la información. 4) pensamiento crítico, solución de problemas y toma de decisiones. 5) ciudadanía digital y 6) operaciones y conceptos de las TIC. (p.5)

Desde esa perspectiva, se destaca la importancia del presente estudio. Asimismo, se consideró el Objetivo 4to de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, propuesta por la Organización de Naciones Unidas (ONU, 2016) que recomienda a los estados una Educación de Calidad para “Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos”.

Asimismo, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2023) señala que es prioridad “Actuar en aspectos clave como la innovación, la interconexión, la transversalidad, la interdisciplinariedad, la colaboración, la adaptabilidad y la resiliencia puede agilizar la transformación de la educación superior y su contribución a la Agenda 2030”.

Objetivo general

Para la investigación se formuló el siguiente objetivo general: indagar cómo el desarrollo de competencias digitales en los estudiantes significaría, como consecuencia lógica, un avance o progreso de conocimientos, que demuestren que los jóvenes universitarios construyen sus propias redes científicas y tecnológicas.

Objetivos específicos

En cuanto a los objetivos específicos, fueron los siguientes:

Conocer la disponibilidad, accesibilidad de los estudiantes a los medios digitales y el aprovechamiento de los adelantos tecnológicos.

Indagar las capacidades educativas digitales en los estudiantes con relación a las competencias digitales.

Determinar la importancia de los estudiantes sobre el desarrollo de las redes tecnológicas y científicas, como un factor integral en su proceso de formación profesional.

Para la realización de la investigación, se formuló la siguiente interrogante: ¿Cuáles son los impactos académicos del acceso a las nuevas Tecnologías de Información y Comunicación - Tics digitales en el desarrollo de las competencias de estudiantes universitarios?

Con el objetivo de determinar el desarrollo de competencias digitales, se considera como estudio de caso a los jóvenes estudiantes de la Carrera de Comunicación y Medios Digitales (LCMD) de la Universidad Privada del Valle (Univalle) – La Paz.

La razón principal por la que se opta por este caso de estudio es que el perfil profesional de estos estudiantes se relaciona de manera directa con competencias digitales; además, que en su plan de estudios se enfatiza en materias relacionadas con las TICs y medios digitales. Para contrarrestar las opiniones de los estudiantes, también se incluyó la participación de los docentes de esta carrera.

2. METODOLOGÍA

Para el trabajo de investigación se optó por un enfoque de investigación mixto. Los autores Hernández Sampieri y Mendoza (2018) explican que “el proceso cuantitativo se utiliza para consolidar y establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población o fenómeno; y el cualitativo, para que el investigador se forme creencias propias sobre lo estudiado, como lo sería un grupo de personas únicas o un proceso particular” (p. 12).

Al ser un enfoque mixto, se optó por los métodos deductivo e inductivo, el autor Rodríguez (2007) explica que “el método deductivo: se inicia con el análisis de los postulados de aplicación universal y de comprobada validez, para aplicarlos a soluciones o situaciones hechos particulares. Y el método inductivo: se inicia con un estudio individual de los hechos y se formulan conclusiones universales” (p.14).

En cuanto al tipo de estudio, se trató de una combinación entre estudio exploratorio y explicativo, donde se analiza una problemática que no fue abordada anteriormente en este contexto universitario y, además se desean conocer los aspectos que generarían la problemática abordada.

En el caso de las muestras se establecieron dos: Muestra Probabilística, conformada por estudiantes de todos los semestres de la Carrera de Comunicación y Medios Digitales (LCMD) de Univalle - La Paz y Muestra de Sujetos Expertos, conformada por docentes profesores que tienen un mínimo de 3 años de experiencia docente. También se optó por Muestras No probabilística, compuesta por Muestra de Sujetos Tipo de estudiantes destacados de la carrera LCMD. Para recabar la información

requerida y alcanzar los objetivos de investigación propuestos, se escogieron dos técnicas de investigación: encuesta para los estudiantes y docentes de la carrera LCMD y grupo focal para el grupo de estudiantes destacados.

Tabla 1. Relación entre muestra – submuestra - técnica de investigación

Muestra	Tipo muestra	Técnica
	Muestra Censal	
Probabilística	Sujetos tipo (estudiantes de todos los semestres)	Encuesta on line
	Sujetos expertos (docentes)	
	Muestra por Conveniencia	
No Probabilística	Sujetos tipo (estudiantes con alto desempeño académico)	Grupo Focal por plataforma

Fuente: Elaboración propia, 2024

En la encuesta aplicada a estudiantes, se remitió el formulario online a todos los estudiantes inscritos oficialmente y se les solicitó que puedan responder con toda libertad. Para la aplicación de la encuesta a docentes, se pidió una participación voluntaria y de acuerdo con su interés personal y educativo. Para la conformación del grupo focal, se convocaron a los estudiantes destacados por su rendimiento académico en cada uno de los semestres de la carrera, se realizó la reunión por la plataforma institucional de Univalle.

3. RESULTADOS

Una vez concluida la investigación, aplicados los instrumentos determinados, se presentan los siguientes resultados.

A. Disponibilidad, accesibilidad de los estudiantes a los medios digitales y el aprovechamiento de los adelantos tecnológicos.

A.1. Opinión de los estudiantes de acuerdo a datos registrados en la encuesta y el grupo focal

El total de los estudiantes reconocen a los medios digitales, como aquellos TICS que les permiten, no solo recibir o enviar información; sino que tienen la posibilidad de crear, producir e intercambiar contenidos.

En cuanto a los usos que les dan a los medios digitales, los estudiantes indican que los aplican para entretenimiento, comunicación, información cotidiana, creación de contenidos y, dejan en como cuarta opción, al uso con fines de investigación (Figura 1). Los estudiantes indicaron una marcada preferencia por las redes sociales, servicios de mensajería, Inteligencia Artificial, quedando relegados los blogs y plataformas. Entre el conjunto de medios digitales que reconocen, mencionan a los contenidos multimedia.

En relación a la disponibilidad y acceso a los medios digitales, la mayoría se conecta a WiFi desde sus hogares, a través de sus dispositivos móviles y permanecen conectados de 1 a 4 horas promedio. En tanto a la accesibilidad, son las descargas

lentas, interfaz y el diseño; los mencionados como ruidos comunicacionales. Los estudiantes participantes del grupo focal confirmaron estas apreciaciones, indicando que existe una preferencia por ciertos medios digitales, que resultan ser los más conocidos por los estudiantes; como ser redes sociales. Indicaron que esta preferencia se debe al uso que le dan, como es el entretenimiento y no así motivos académicos (Figura 2).

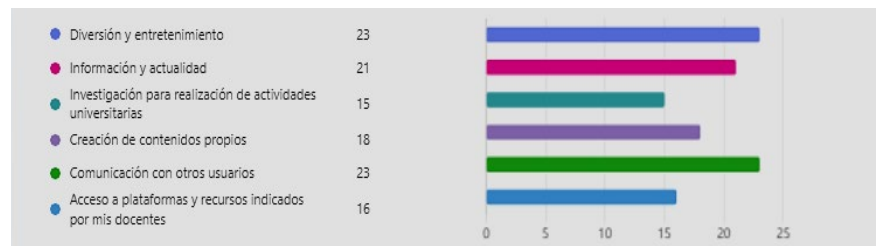


Figura N° 1. Resultados de la encuesta a los estudiantes, sobre los usos habituales de los medios digitales. Fuente: Elaboración propia, 2024

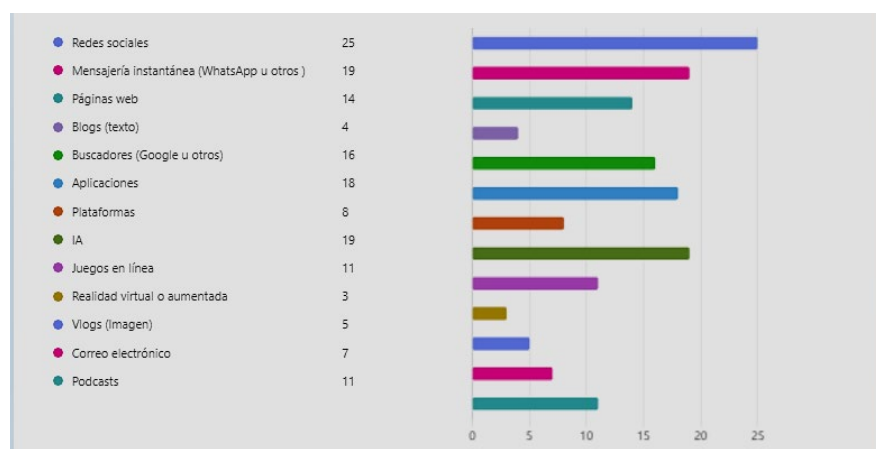


Figura N° 2. Resultados de la encuesta a los estudiantes, sobre los tipos de medios digitales que usan habitualmente. Fuente: Elaboración propia, 2024

B. Capacidades educativas digitales en los estudiantes en relación a las competencias digitales.

B.1. Opinión de los estudiantes de acuerdo a datos registrados en la encuesta y el grupo focal

La mayoría de los estudiantes emplean como medios digitales académico a: buscadores genéricos, Google Académico e Inteligencia Artificial. Entre las capacidades que puede destacar en su vida universitaria, indica el aprendizaje para la resolución de conflictos, la distribución de su tiempo y ampliar su red de contactos.

Los estudiantes señalaron como las competencias digitales adquiridas, están la gestión de nuevos recursos y contenidos de digitales, también la búsqueda de información y se destaca el trabajo en equipo (Figura 3).

En cuanto a la consulta de redes de información académicas, indicaron que las conocen. En el grupo focal, los estudiantes consultados indicaron que, si bien conocen redes de búsqueda de información académica, no las usan con frecuencia porque desconocen cómo buscar la información o datos que precisan (Figura 4).

En el grupo focal, los estudiantes describieron que el uso de los medios digitales apoyó al trabajo en equipo, pero también hizo que resalten las diferencias entre quienes sí conocen a los medios digitales y su aporte académico y a quienes se les dificulta.

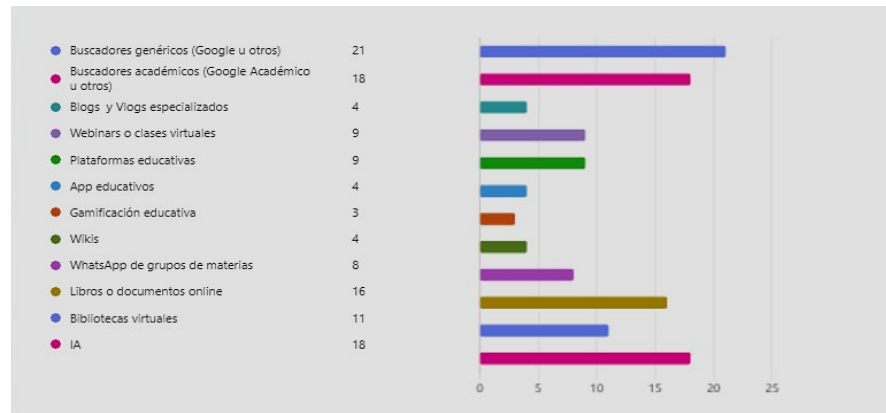


Figura N° 3. Resultados de la encuesta a los estudiantes, sobre los tipos de medios digitales educativos que aplica en su formación. Fuente: Elaboración Propia, 2024



Figura N° 4. Resultados de la encuesta a los estudiantes, sobre su experiencia en cuanto al uso de los medios digitales de su preferencia. Fuente: Elaboración Propia, 2024

B.2. Opinión de los docentes de acuerdo a los datos obtenidos en la encuesta

Para alcanzar este objetivo de investigación, se incluyó una interrogante a los docentes, quienes en su mayoría superan los 12 años de experiencia en la educación, sobre los medios digitales que usa en sus clases, indicaron que optan por creación de contenidos propios, contenidos relacionados a la información y comunicación con estudiantes. Los medios digitales que utilizan con mayor frecuencia señalaron a buscadores académicos, libros online y bibliotecas virtuales (Figura 5).

En cuanto a las competencias genéricas que los docentes motivan en sus estudiantes, son: adquisición de nuevos conocimientos, trabajo en equipo y resolución de problemas. En relación a las competencias digitales que inculcan en sus estudiantes, son: búsqueda de datos en soportes digitales, respeto a copyright de material digital y navegación segura y respeto a la privacidad (Figura 6).

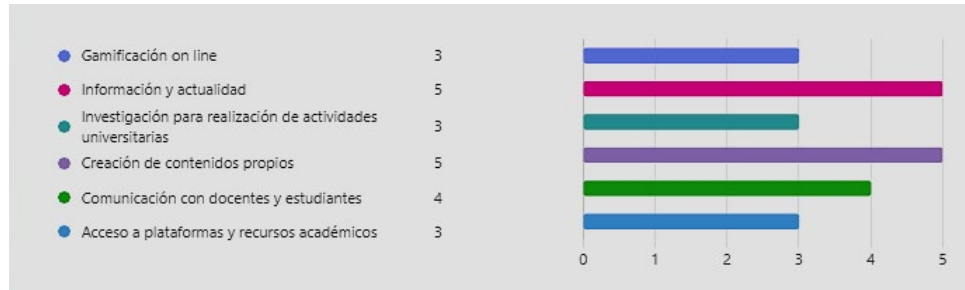


Figura N° 5. Resultados de la encuesta a los docentes, sobre el uso de medios digitales en su práctica docente. Fuente: Elaboración Propia, 2024.

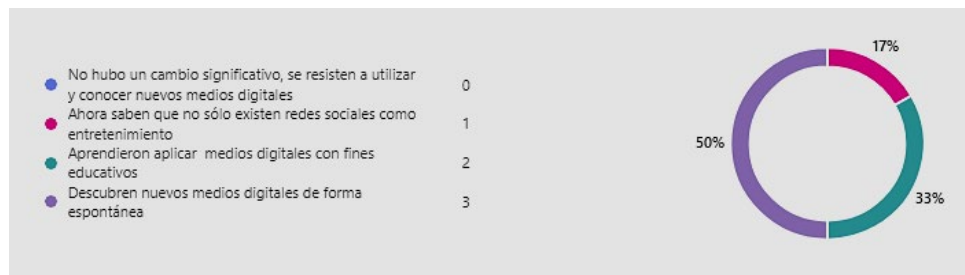


Figura N° 6. Resultados de la encuesta a los docentes, sobre el aporte de los medios digitales que percibe en los estudiantes. Fuente: Elaboración Propia, 2024.

C. Importancia de los estudiantes sobre el desarrollo redes tecnológicas y científicas, como un factor integral en su proceso de formación profesional.

C.1. Opinión de los estudiantes de acuerdo a datos registrados en la encuesta y el grupo focal

La mayoría de los estudiantes indicaron que, a pesar del uso de medios digitales, no lograron establecer redes de contactos con otros estudiantes de otras entidades educativas. Al consultarles si pudieron establecer redes de comunicación con profesionales, la mayoría indicó que sí, con los objetivos de solicitar información y recabar experiencias laborales (Figura 7).

También se les consultó si en alguna ocasión pertenecieron a círculos o comunidades de investigación, la mayoría indicó que sí lo hicieron. En la última pregunta, los estudiantes indicaron que aplican sus conocimientos en la gestión de medios digitales para investigación en aula, resolución de casos, investigación formal en el caso de la realización de proyectos de grado y en última instancia para la elaboración de artículos científicos.

En el grupo focal, los estudiantes manifestaron que sí realizan investigaciones, pero en el caso de que sean solicitadas para un trabajo en específico en alguna

materia, apelando a sitios generales de información y no así a redes de información científica formal. También explicaron que no construyeron redes de comunicación con otros estudiantes universitarios, tampoco con profesionales ni investigadores; excepto participando en talleres o charlas virtuales (Figura 8).

Al consultarles cómo se podría motivar a los estudiantes a que puedan construir redes científicas y tecnológicas, indicaron que se debe comenzar con los docentes para que ellos puedan motivar esta tarea y también reconocer que no todos los estudiantes tienen la misma habilidad ni conocimiento e la gestión de medios digitales.

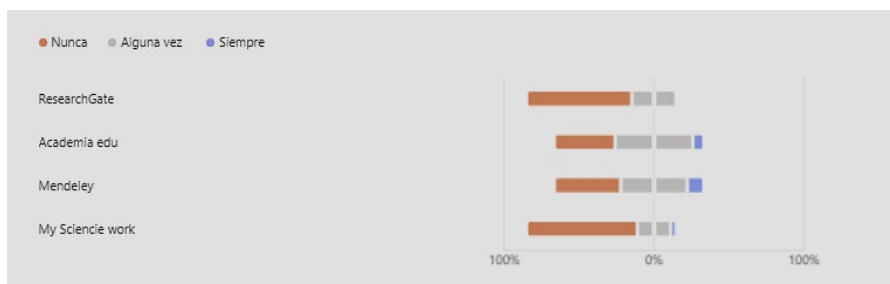


Figura N° 7. Resultados de la encuesta a los estudiantes, sobre la frecuencia de uso de redes científicas digitales. Fuente: Elaboración propia, 2024



Figura N° 8. Resultados de la encuesta a los estudiantes, sobre su participación en comunidades o sociedad científicas. Fuente: Elaboración propia, 2024

C.2. Opinión de los docentes de acuerdo a los datos obtenidos en la encuesta

Los profesores indicaron que sí recomiendan a sus estudiantes que acudan a redes de información académica, como Academia Edu y Google Académico. Los docentes manifestaron que sí existe una necesidad e importancia para que los estudiantes puedan conformar redes de investigación con estudiantes e investigado-res y que puedan formar parte de círculos científicas tecnológicas (Figura 9).

Finalmente, se les consultó a los docentes en qué tipo de trabajo apoyó a sus estudiantes e indicaron: resolución de casos, investigación en aula, proyectos de grado y en último lugar, la realización de artículos científicos. Este último punto, determina la necesidad de motivar, tanto a los docentes, como a los estudiantes a generar espacios compartidos, donde se busque el desarrollo de habilidades y competencias digitales (Figura10).

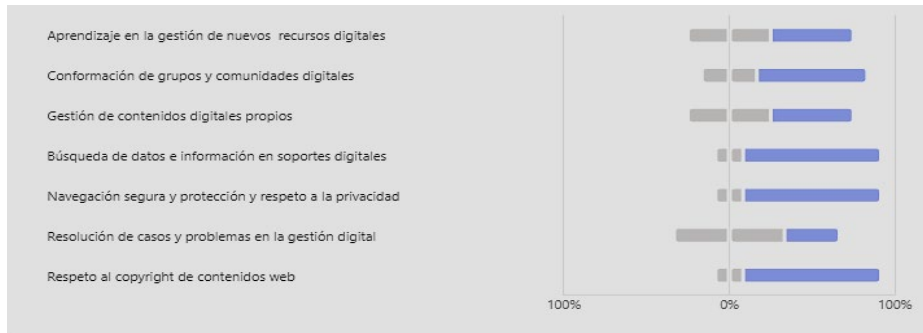


Figura N° 9. Resultados de la encuesta a los docentes, sobre el desarrollo de competencias digitales en los estudiantes. Fuente: Elaboración propia, 2024



Figura N° 10. Resultados de la encuesta a los docentes, sobre su aporte académico en el desarrollo de textos académicos con los estudiantes. Fuente: Elaboración propia, 2024

4. DISCUSIÓN

En una investigación realizada en el contexto educativo de la Universidad de Sonora en México, Gonzales Bello (2018) afirmaba que “las tecnologías fueron incorporadas a los espacios universitarios y han obligado a que las instituciones diseñen mecanismos innovadores para que sean aprovechadas en dar atención a los jóvenes y a sus necesidades de aprendizaje desde el inicio de su formación profesional” (p.1).

Por lo tanto, una vez realizada la recolección de datos, el análisis de la triangulación de tres perspectivas: estudiantes de la Carrera de LCMD de Univalle, estudiantes destacados y los docentes. Se deberá analizar la pertinencia de los datos obtenidos en relación a la interrogante de investigación planteada; además de referirse al contexto educativo actual. En relación a cuáles son los impactos académicos del acceso a las nuevas tecnologías de información y comunicación Tics digitales en el desarrollo de las competencias de estudiantes universitarios, es importante destacar que los estudiantes universitarios sí responden al perfil de nativos digitales, con un contexto tecnológico que le facilita y permite la conexión y disponibilidad a los medios digitales.

Los ámbitos educativos fueron adecuándose a las nuevas necesidades de los estudiantes, en una anterior investigación, Guzmán Acuña (2008) aseguraba que “las

universidades y las instituciones de educación superior ni siquiera han reconocido el problema de las brechas digitales, los estudiantes universitarios pertenecen a una generación en la cual la tecnología y la digitalización son parte de su vida personal y social; con ella han crecido y formado una nueva identidad, una nueva forma de relacionarse y de comunicarse, han desarrollado nuevas habilidades” (p.5).

Sin embargo, las mismas percepciones de los estudiantes, generan una reflexión necesaria, como es la accesibilidad a los medios digitales y a la tecnología. Este término fue entendido como la responsabilidad de las entidades educativas de garantizar que todos los estudiantes, con o sin capacidades distintas, pudieran acceder a los medios y contenidos educativos. En esta era digital, la accesibilidad trasciende este concepto y se aplica a esta investigación. Ya que la dificultad o falta de conocimiento sobre el manejo de medios digitales, redes de investigación académica y de búsqueda de información, también genera problemas en el acceso a contenidos digitales. Por lo tanto, no todos los estudiantes gozan de una accesibilidad a todos los contenidos digitales.

En una investigación realizada en la Universidad Lambayeque en Perú, el autor Espinoza (2023) afirmó que “es importante considerar el impacto potencial de las estrategias de formación en competencias digitales en la mejora del desempeño docente y el aprendizaje de los estudiantes. Aunque se observan desafíos significativos, como la falta de tiempo y recursos, así como la resistencia al cambio, los datos también sugieren que la pandemia ha generado una mayor conciencia sobre la importancia de la integración de la tecnología en la educación” (p.3).

También, este trabajo coincide con la visión del autor mencionado, puesto que para el desarrollo de habilidades digitales, no es suficiente el acceso a recursos tecnológicos de parte de las universidades; sino que deben estar dadas las condiciones necesarias para que tanto los docentes como los estudiantes puedan verse motivados a desarrollar estas nuevas competencias digitales.

Un aspecto que vale destacar de la investigación realizada es que los docentes sí motivan a los estudiantes a que puedan cambiar sus hábitos de búsqueda de información, pero si estos desconocen la existencia de redes de información científica corroborada y confirmada, continúan construyendo conocimientos generales, que no responden a los objetivos académicos propuestos por el docente. Los estudiantes tienen las habilidades intuitivas para generar sus propios contenidos, pero estos no deben limitarse a su difusión a través de redes sociales, sino que se de-ben proponer la gestión de contenidos investigativos, que puedan ser difundidos a comunidades especializadas.

En este camino de desarrollo de redes científicas y de conocimiento, el rol de los docentes es fundamental, porque si bien los estudiantes están naturalmente relacionados con los medios digitales, requieren de directrices clara y concretas que les permitan iniciar la producción de contenidos académicos y de rigor científico. La investigación en aula es un paso valioso e importante, así como la resolución de casos prácticos, pero estas prácticas se pueden orientar a la realización de trabajos de investigación científica. Donde los estudiantes perciban a la configuración del conocimiento científico, no como un hecho inalcanzable, sino como una tarea que debe iniciar con un punto de partida en las aulas universitarias.

La educación de calidad, como parte del encargo social de las universidades, a lo largo de la historia de las universidades y transitando por los distintos modelos

educativos; fue trascendiendo y cambiando responsabilidades. En un principio estaba a cargo de los académicos y científicos de la época, que determinaban los parámetros del conocimiento. Luego el docente asumió el rol de la cátedra unidireccional, donde el estudiante tenía rol limitado a escuchar y aplicar, sin espacio a la discusión. Posterior, a varios postulados de la educación, se entregó un rol protagónico al estudiante y el docente como un guía.

En la actualidad la educación asume un rol social y cultural, donde los conocimientos deben responder a las necesidades de la sociedad y apuntar a la formación de profesionales que puedan responder, de la mejor manera, a las exigencias de un mercado laboral, cada vez más competitivo. Sin embargo, el acceso a la tecnología no debe confundirse con el desarrollo de ciencia y conocimiento, como consecuencia de un tiempo digitalizado.

En esta discusión, se considera el trabajo del investigador Chinkez (2019) quien coincidió en que el rol de las universidades en la actualidad se basa en el acceso de los estudiantes al Internet y que debe estar conformado por diversas plataformas de contenidos y de colaboración que se establecen como ámbitos válidos de gestión del conocimiento, en donde participan personas e instituciones de diversa índole (p.13).

La tecnología por sí sola no garantizará el desarrollo cultural ni de conocimiento de ninguna sociedad. Las próximas investigaciones deberán asumir como temática de estudio, el rol del docente, su formación y sus capacidades para orientar a los estudiantes el desarrollo del conocimiento científico, con el aporte de los medios digitales actuales, desde el empleo de las redes sociales hasta la inteligencia artificial. La tecnología, será realmente útil, cuando exista una posibilidad de mejorar la calidad de vida de los usuarios y generar proyecciones positivas para el futuro, más aún cuando se hace referencia a la educación.

5. CONCLUSIONES

Entre las conclusiones más importantes de esta investigación, se destacan las siguientes:

El acceso de los estudiantes de la Carrera LCMD a los medios digitales, no implica que se genere un verdadero aprovechamiento de los adelantos tecnológicos.

No existe un desarrollo generalizado de las capacidades educativas digitales en los estudiantes en relación con las competencias digitales. Los estudiantes no perciben la importancia de construir redes tecnológicas y científicas, como un factor integral en su proceso de formación profesional.

Por último, debe existir un replanteamiento del rol del docente, donde no se asuma que, al acceso a la tecnología de parte de los estudiantes, implicará por sí mismo el desarrollo de nuevas redes de conocimiento científicos ni garantiza una educación de calidad.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a los estudiantes y docentes de la Carrera de LCMD de Univalle Sede Académica La Paz, por su gran aporte y participación en esta investigación. También al Director de la Carrera de LCMD, MsC. Rodrigo Loredo, por su valioso apoyo y confianza.

REFERENCIAS

Alemán Pedro Alfonso. El papel de la universidad en el proceso de formación para la economía solidaria. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte* [en línea]. 2008, (24), 1-15 [fecha de Consulta 28 de julio de 2024]. ISSN: 0124-5821. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=194220359003>

Ausubel, D. (1983). Teoría del aprendizaje significativo. *Fascículos de CEIF*, 1(1-10), 1-10.

Chinques, Ernesto. Las instituciones de educación superior y su rol en la era digital. La transformación digital de la universidad: ¿transformadas o transformadoras? Recuperado <https://www.researchgate.net/publication/334024800>

González Bello, Edgar Oswaldo. Habilidades digitales en jóvenes que ingresan a la universidad: realidades para innovar en la formación universitaria. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/4981/498159332029/html/>

Guzmán Acuña, Josefina. Estudiantes universitarios: entre la brecha digital y el aprendizaje Recuperado <https://www.redalyc.org/pdf/688/68811215002.pdf>

Hernández Sampieri, R, & Mendoza, C. (2018). Metodología de la Investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Editorial McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. <https://www.academia.edu/download/64591365/Metodolog%C3%ADvestigaci%C3%B3n.%20Rutas%20cuantitativa,%20cualitativa%20y%20mixta.pdf>

Espinosa Cevallos, P. A. (2023). Desarrollo de competencias digitales en docentes y estudiantes: retos y oportunidades. *Revista Ingenio Global*, 2(2), 55–67. <https://doi.org/10.62943/rig.v2n2.2023.66>

Pescador, B. (2014). ¿Hacia una sociedad del conocimiento? *Revista Med*, 22(2), 6-7. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-52562014000200001. [Links]

Méndez, E., Figueredo, C., Goyo, A. y Chirinos, E. (2013). Cosmovisión de la gestión universitaria en la sociedad de la información. *Negotium*, 9(26), 70-85. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=78228464004>. [Links]

Solano Carrillo, D. G. (2021). Reseña del libro Enseñar a nativos digitales de Marc Prensky (2015). *Ciencias Sociales Y Educación*, 10(20), 335-341. <https://doi.org/10.22395/csye.v10n20a17>

Mon, Francesc Esteve, Cervera Mercè Gisbert. Competencia digital en la educación superior: instrumentos de evaluación y nuevos entornos. *Enl@ce: Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento* [en línea]. 2013, 10(3), 29-43 [fecha de Consulta 29 de Julio de 2024]. ISSN: 1690-7515. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=82329477003>

Pedró, F. (2023, agosto 11). El futuro de la educación superior: habilidades para el mundo del mañana. UNESCO-IESALC. <https://www.iesalc.unesco.org/2023/08/11/el-futuro-de-la-educacion-superior-habilidades-para-el-mundo-del-manana/>

Hernández Sampieri, R, & Mendoza, C. (2018). Metodología de la Investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Editorial McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. <https://www.academia.edu/download/64591365/Methodolog%C3%ADvestigaci%C3%B3n.%20Rutas%20cuantitativa,%20cualitativa%20y%20mixta.pdf>

Research Article

Towards Effective Sustainable Disaster Management Approach: How Sustainable Solutions Mitigate Hurricanes and Tropical Cyclones Negative impact

Case Studies from: the USA, China, Oman and the UAE

Amal Mubarak Obaid Alhidi

PhD Student, University of International Business and Economics; Beijing, China

ABSTRACT

As communities worldwide confront increasingly severe climate related emergencies, there is an urgent need to move beyond traditional crisis response strategies and adopt sustainable solutions to mitigate the impact of natural disasters. Focusing on hurricanes and tropical cyclones, this study examines their profound effects on the environment, infrastructure, economy, and human lives, utilizing the systematically reviews of 84 articles, reports, and researchers. The study aims to delve in existing evidence regarding the social and economic risks these disasters pose. The research highlighted the critical role of integrating sustainable solutions into disaster management to achieve environmental, economic, and social benefits.

Case studies from the USA, China, Oman, and the UAE demonstrated that adopting green practices such as renewable energy, nature-based solutions, and circular economy principles enhance resilience and recovery. Early warning systems and public education, as implemented in China and the UAE, have significantly reduced disaster fatalities. Also, nature-based strategies like reforestation and wetland restoration mitigate floods and landslides while strengthening ecosystems. The study adds to existing crisis management research by identifying strategies for survival and resilience against climate change impacts. The findings also align with previous studies on climate change effects and offer actionable recommendations for policymakers and governments to enhance disaster mitigation efforts. The proposed strategies provide valuable tools to reduce disaster risks both during and after their occurrence.

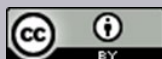
Keywords: Climate Change, Disaster Management, Hurricanes, Sustainable Solutions, Tropical Cyclones.

Citar como: Alhidi, A. M. O. (2024). Toward effective sustainable disaster management approach: How sustainable solutions mitigate hurricanes and tropical cyclones negative impact. Case studies from: the USA, China, Oman and the UAE. *Revista Journal Boliviano De Ciencias*, 20(56). 52-80 <https://doi.org/10.52428/20758944.v20i56.1188>

Receipt: 12/09/2024
Approval: 18/12/2024
Published: 30/12/2024

Declaración: Derechos de autor 2024 Amal Mubarak Obaid Alhidi, Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.



1. INTRODUCTION

Climate change represents a significant global challenge, characterized by rising temperatures, an increased frequency of extreme weather events, sea-level rise, and the loss of biodiversity. Researchers indicate that these changes pose substantial economic and societal challenges (Adger, W. N., Arnell, N. W., Tompkins, E. L., 2005). They also argue that carbon dioxide emissions resulting from human activities is the main cause to this phenomenon (Kabir, M., Habiba, U. E., Khan, W., Shah, A., Rahim, S., De los Rios-Escalante, P. R., Farooqi, Z.-U.-R., Ali, L., Shafiq, M., 2023). To add, they imply that over the past three decades, climate-related disasters have tripled. They claim that; climate hazardous disasters exacerbated by factors such as the accelerated rate of global sea level rise, which has been 2.5 times faster in the period from 2006 to 2016 compared to the 20th century. Besides, anthropogenic climate change has resulted in an increase in the frequency and severity of extreme weather events, global temperature rise, and environmental degradation. All have collectively jeopardized the lives and livelihoods of large numbers of climate-induced migrants and displaced persons (McAllister, S., 2023). Specific examples of the devastating impacts include Cyclone Idai in Southern Africa, which claimed over 1,000 lives and left millions destitute (BBC, 2019).

According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the past few decades have seen a significant increase in the number of extreme weather events, including hurricanes, floods, droughts, and wildfires, with devastating impacts on communities across the globe. Among with, between 2000 and 2020, the World Meteorological Organization (WMO) reported 134% increase in disasters compared to the previous two decades. The impacts of climate change have contributed to a sharp rise in the frequency and intensity of natural disasters worldwide (World Meteorological Organization, 2021). This growing trend highlights the limitations of traditional disaster management practices, which are often reactive and focus primarily on immediate relief rather than long-term resilience and recovery. As well as, these crises not only inflict immense human suffering and economic losses, but also have far reaching environmental consequences (Vernick, D., 2024). Hence, the escalating frequency and intensity of climate related hazards worldwide shows the dire consequences of global climate change.

1.1 Hurricanes and Tropical Cyclones Terminology

In 2017, the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) identified hurricanes as; intense tropical storms characterized by strong winds (exceeding 74 mph or 119 km/h), heavy rainfall, and low-pressure systems that develop over warm ocean waters. On the other hand, tropical cyclones commonly referred to as; typhoons or hurricanes, as are among the most devastating weather events. These intense circular storms form over warm tropical oceans and feature maximum sustained wind speeds that exceed 119 kilometres per hour, accompanied by heavy rainfall (World Health Organization, 2024). Interestingly, the most significant threats to life and property stem not from the wind itself but from secondary effects such as storm surges, flooding, landslides, and tornadoes. The terminology for these storms varies by region. For example, in the Atlantic and Eastern North Pacific Oceans, they are known as: hurricanes. Differently, in the Western Pacific Ocean, they are called typhoons; and in the South Pacific and Indian Oceans, they are simply referred to as tropical cyclones. Hurricanes exemplify the devastating impacts of climate change, causing extensive physical damage, disrupting infrastructure, and leading to long-term public health issues, including cardiovascular diseases

and post-traumatic stress disorder (Krichene, H., Vogt, T., Piontek, F., Geiger, T., Schötz, C., Otto, C., 2023). Studies highlight a correlation between rising sea temperatures and the increasing intensity of hurricanes, complicating disaster mitigation efforts (Global warming and climate change, 2023).

1.2 Hurricanes and Tropical Cyclones across Countries

In countries such as; the United States, the consequences of tropical cyclones have been catastrophic, with events such as; Hurricane Katrina resulting in damages that exceed billions of dollars (Brown, C. E., Alvarez, S., Eluru, N., Huang, A., 2021; Bakkensen, L., Blair, L., 2022; Young, R., Hsiang, S., 2024). These storms not only inflict physical destruction but also significantly affect mortality rates and public health outcomes (Lau, Y. Y., Yip, T. L., Dulebenets, M. A., Tang, Y. M., & Kawasaki, T., 2022). Also, analyses indicate that vulnerable populations disproportionately bear the brunt of these disasters, under-scoring the intersection of social inequality and disaster impacts (Oliver-Smith, A., 2020). Similarly, in China, the interplay between tropical cyclones and heatwaves has intensified risks, leading to severe health and economic consequences. Researchers suggest that a slowdown in the translation speeds of cyclones can result in increased local rainfall, thereby exacerbating flood risks.

Predictions indicate a growing prevalence of compound hazards as a result of ongoing climate warming. Additionally, Oman has similarly faced significant challenges from tropical cyclones, including Cyclone Gonu and Cyclone Shaheen (Banan-Dallalian, M., Shokatian-Beiragh, M., Golshani, A., Mojtahedi, A., Lotfollahi-Yaghin, M. A., Akib, S., 2021; Terry, J., Al Ruheili, A., Boldi, R., Gienko, G., Stahl, H., 2022). Cyclone Gonu triggered extensive coastal flooding, while Cyclone Shaheen brought unprecedented rainfall, severely damaging infrastructure (Meer, M. S., Mishra, A. K., Nagaraju, V., 2024). Moreover, modelling studies emphasize the necessity of advanced prediction tools to mitigate the risks associated with cyclones in this region (Beraud, C. P. C., Kelly, D. M., 2022; Karami, S., Ghassabi, Z., Khansalari, S., 2024). To add, in the United Arab Emirates, climate change is evidenced by rising temperatures and declining precipitation levels (Paparella, F., Burt, J. A., 2023). Although tropical cyclones are infrequent, their occasional occurrence can result in considerable impacts (Schuenemann, T., 2021).

The increasing risk of extreme heat, coupled with the potential for cyclonic activity, highlight the urgent need for effective adaptation strategies in response to these evolving environmental challenges. Disaster management is at a crossroads as climate change accelerates the frequency and intensity of natural disasters worldwide. As communities worldwide confront the rising tide of these climate-related emergencies, traditional crisis-response strategies often fall short in managing the complex and interconnected challenges posed by hurricanes and tropical cyclones. This reality underscores the pressing need for innovative and sustainable solutions that not only address the immediate consequences of these disasters but also foster long term resilience and reduce environmental impacts.

Understanding the social and economic risks associated with such events are essential for developing effective disaster management strategies and enhancing community preparedness.

This paper examines the multifaceted impacts of hurricanes and tropical cyclones, conducting a thorough review of existing 84 literature reviews to identify gaps in knowledge and challenges in current disaster management practices.

The study offers practical recommendations for implementing sustainable solutions that can mitigate risks and improve responses to catastrophic events by shedding light on these issues.

The study aims to contribute to a more resilient and sustainable future, providing communities with the necessary tools to effectively address the on-going challenges posed by climate change.

2. RESEARCH QUESTIONS

- 1) What are the key social and economic risks posed by hurricanes and tropical cyclones, and how do these risks vary across different regions and communities?
- 2) What sustainable strategies and solutions can be implemented to mitigate the environmental, infrastructural, and economic impacts of hurricanes and tropical cyclones, and what are the critical gaps in current research on these approaches?

3. OBJECTIVES OF THE STUDY

The study aims to achieve several key objectives that collectively enhance understanding of climate driven disasters, particularly hurricanes and tropical cyclones. First, it seeks to identify the underlying drivers of climate change. Additionally, the research assesses the multifaceted impacts of hurricanes and tropical cyclones on affected communities, focusing on environmental, infrastructural, economic, and social dimensions presented in three cases: the USA, China, Oman and the UAE. A systematic review of 84 existing literature conducted to elucidate climate change, and the social and economic risks associated with hurricanes and tropical cyclones, thereby identifying critical vulnerabilities within communities. Moreover, the paper addresses significant knowledge gaps in current understanding of hurricanes related risks. Furthermore, the research aims to empower communities by equipping them with tools and strategies designed to enhance preparedness and resilience in the face of such disasters. It will also provide actionable insights to support long-term recovery efforts, ensuring that communities can adapt to the ongoing threats posed by climate change. Ultimately, the study will offer guidance for future research, aiming to deepen general comprehension of climate-driven disasters and refine their management.

4. SIGNIFICANCE OF THE STUDY

This study contributes to the existing literature in crisis management and enhances understanding of climate driven disasters, particularly hurricanes and tropical cyclones. The researcher suggested relevant recommendations for policymakers and other concerned bodies on how to guide future studies and support the development of effective strategies for managing climate-related risks in a rapidly changing world.

5. KEY CONCEPTS AND DEFINITIONS

5.1 Climate Change

According to National Aeronautics and Space Administration (2024) climate change is identified as a long-term alteration in temperature, precipitation, wind patterns, and other elements of the Earth's climate system. It is caused by natural factors such as volcanic eruptions, solar cycles or, by human activities, such as the burning of fossil fuels, deforestation, and industrial processes, leading to global warming and extreme weather events (Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., Younis, I., 2022).

5.2 Sustainable Solutions

The International Institute for Sustainable Development (IISD) associates sustainable solutions to the practices or strategies designed to meet current needs without compromising the ability of future generations to meet their own needs (International Institute for Sustainable Development, 2024).

5.3 Disaster Management

It is the process of planning, organizing, coordinating, and implementing measures to prepare for, respond to, recover from, and mitigate the impacts of disasters (Tulane University, 2021). Disaster management encompasses the strategic organization and allocation of resources to effectively respond to and mitigate the impacts of a catastrophic event. This involves coordinating the roles, responsibilities, and collaborative efforts of various stakeholders, including emergency responders, private sector entities, public agencies, nonprofit organizations, as well as volunteers and donations. The success of disaster management hinges on the systematic integration of preparedness, response, recovery, and mitigation measures to enhance community resilience and safeguard lives, property, and critical infrastructure in the face of emergencies (University of Central Florida, 2024). Furthermore, the main goal of management function is to avoid hazards and protect people from the effects of hazards when they occur.

5.4 Sustainability

The concept of sustainability is grounded in the fundamental principles that all human need upon the natural environment (U.S. Environmental Protection Agency, 2023). Adopting a sustainable approach entails creating and preserving the conditions that enable productive coexistence and symbiosis between humans and the natural world, thereby supporting the needs of both present and future generations.

5.5 Disaster

The International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC) define a disaster as; an event that renders a community or society unable to function effectively (IFRC, 2024). Disasters can be either natural or human-made, and may include pandemics, technological catastrophes, or environmental cataclysms. They include earthquakes, tornadoes, hurricanes, pandemics, volcanic eruptions, wildfires, floods, mass shooting, acts of terror, nuclear explosions, and chemical emergencies (International Strategy for Disaster Reduction, 2007).

6. METHODOLOGY

The study is built on analyzing reviews of the 84 articles, thus providing a comprehensive analysis of the impacts of climate change on nature, human and economics.

7. REVIEW OF THE LITERATURE

Climate change interacts with various factors impacting global health, including widespread phenomena such as globalization. The impact of climate change is the primary driver to the increase in number of floods globally, as warmer temperatures lead to more intense and frequent rainfall. Earth's average temperature is steadily rising, with atmospheric CO₂ levels now surpassing 400 ppm, primarily due to the intensified greenhouse effect (Mikhaylov, A., Moiseev, N., Aleshin, K., Burkhardt, T., 2020). To add, global climate change represents a significant challenge, contributing to the gradual increase in the planet's average annual temperature. Global warming trend is largely attributed to high levels of industrial production and economic activities, which release substantial amounts of greenhouse gases (Forster, P. M., Smith, C. J., Walsh, T., Lamb, W. F., Lamboll, R., Hauser, M., Zhai, P., 2023).

The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) comprehensive data analysis, on hurricane activity in the North Atlantic Basin, spanning from (1851 to 2023) emphasized the evolving patterns in both the frequency and intensity of storms over the years. One significant finding of the analysis is the increase in the number of hurricanes, particularly major hurricanes classified as category 3 or higher, in recent decades. The report showed a general upward trend, with particularly intense years such as 2005, which recorded 15 hurricanes, including 7 major ones. Also, Accumulated Cyclone Energy (ACE), which quantifies the total energy produced by tropical cyclones in a given season, showed considerable fluctuations but correlate strongly with years of heightened hurricane activity, such as 2005 and 2017, when multiple powerful storms occurred (NOAA's Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory., 2024). The escalating frequency and severity of flood events globally reflects the pressing need to develop innovative approaches to enhance disaster preparedness (Jain, H., 2024). Also, the report highlighted the frequent above-average hurricane seasons, with 2020 witnessing an unprecedented 30 named storms, potentially driven by climate factors such as rising ocean temperatures. Data revealed variability in hurricane activity across different decades. The dataset highlighted the importance of emphasizing the necessity of analyzing both historical and contemporary hurricane activity to better understand trends, identify their underlying causes, and enhance preparedness for future storms.

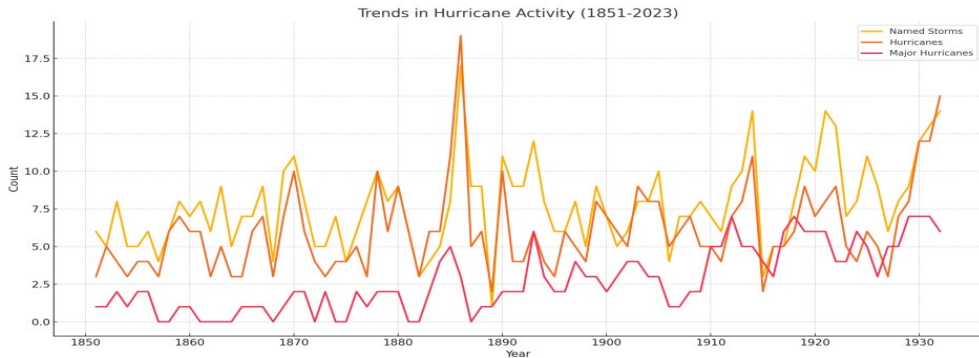


Figure 1. Hurricanes Trend (1851-2023)

Source: Self elaboration; based on NOAA’s Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory 2024 data

7.1 How Hurricanes Develop

Hurricanes develop under specific environmental conditions that involve a delicate interplay of warm ocean waters, low atmospheric pressure, and certain wind patterns. For a hurricane to form, ocean surface temperatures must exceed 27°C (80°F), as this warmth provides the essential heat and moisture needed for the storm’s growth. As hot, humid air rises from the ocean; it creates a low-pressure area (Studholme, J., Fedorov, A. V., Gulev, S. K., Emanuel, K., Hodges, K., 2022). The rising air cools and condenses into rain clouds, a process that releases latent heat, further energizing the storm. The upward movement of air draws in surrounding air, while the Earth’s rotation causes this incoming air to spin horizontally, giving rise to the hurricane’s distinctive rotating structure. Also, this ongoing cycle of rising air, condensation, and heat release propels the storm, enabling it to intensify and expand as long as it remains over warm waters and is supported by favorable atmospheric conditions. This dynamic illustrates the immense energy system that underpins hurricane formation.

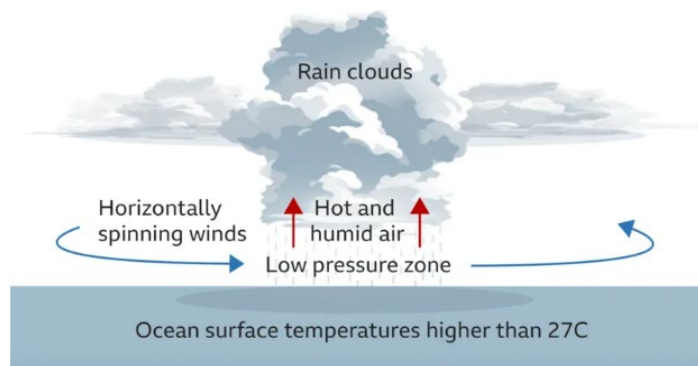


Figure 2. Hurricanes Components.

Source: Poynting, M. (2024)

7.2 Hurricanes and Cyclones Social and Economic Impacts

Ouyang, Y., Grace, J. M., Parajuli, P. B., Caldwell, P. V. (2022) indicate that hurricanes and cyclones significantly affect the environment, infrastructure, economy, and human lives. Their environmental impacts are severe, starting with storm surges that cause coastal erosion, damage to beaches, and intense rainfall leading to flooding (Sullivan, J., 2023). To add, scientists demonstrated that the increasing intensity and frequency of tropical cyclones have caused considerable damage to marine ecosystems, such as coral reefs, mangroves, and sea grass beds (Feehan, C. J., Filbee-Dexter, K., Thomsen, M. S., Wernberg, T., Miles, T., 2024). On human level, these storms result in loss of life due to high winds, flooding, and storm surges, especially vulnerable societies (Smiley, K. T., Noy, I., Wehner, M. F., Frame, D., Sampson, C. C., Wing, O. E., 2022). Vulnerable communities, particularly those with fewer resources, face even greater challenges (Waddell, S. L., Jayaweera, D. T., Mirsaedi, M., Beier, J. C., Kumar, N., 2021). For instance, after hurricane Katrina, many repair workers experienced respiratory illnesses such as sinusitis and toxic pneumonitis.

However, it was noted that the respiratory symptoms related to this exposure began to decline within two months after the hurricane (Powell, T. M., Yuma, P. J., Scott, J., Suarez, A., Morales, I., Vinton, M., Li, S. J., 2020). Moreover, studies showed that natural disasters cause psychological repercussions and long term emotional ramifications. Furthermore, studies revealed that each tropical cyclone is linked to an average of 7,000 to 11,000 additional deaths in the 15 years following the event (Young, R., Hsiang, S., 2024). This suggests that the long-term mortality impact of tropical cyclones is significantly greater than what is reflected in official statistics, which generally include only immediate fatalities. Young, R., Hsiang, S. (2024) study estimates that; from 1930 to 2015 tropical cyclones were responsible for approximately 3.6 million to 5.2 million deaths in the United States. Furthermore, disasters have resulted in considerable declines in agricultural output, which in turn has led to economic losses and threatened food security (Food and Agriculture Organization, 2021).

Disasters such as extreme weather and pest outbreaks, including swarms of desert locusts, have caused significant damage to both crops and livestock. This destruction has intensified food insecurity in the regions impacted by these disasters. Moreover, according to the World Meteorological Organization (2024); over the past fifty years, tropical cyclones have inflicted profound human suffering, with more than 779,324 lives lost to these devastating storms. On average, 43 fatalities occur daily as a direct consequence of tropical cyclones and their associated hazards, underscoring the persistent threat they pose to vulnerable communities. The diameter of these formidable weather events typically ranges between 200 to 500 kilometers, though some cyclones expand to a staggering 1,000 kilometers, amplifying their destructive potential. This escalating danger is further compounded by a 200% increase in the population residing in cyclone-prone regions, intensifying exposure to these life-threatening storms.

Table 1

Tropical Cyclones Human and Economic Impact

Category	Data/Details
Number of Tropical Cyclones	1,945 disasters attributed to tropical cyclones in 50 years
Human Impact	Over 779,324 people killed by tropical cyclones
Economic Losses	USD 1.4 trillion in damages over 50 years
Daily Impact	43 deaths and USD 78 million in damages daily since 1970
Typical Diameter	200–500 km; can reach up to 1,000 km
Population Growth in Cyclone Regions	200% increase in population in cyclone-prone regions

Source: Self elaboration based on Young, R., Hsiang, S. (2024).

The economic toll of tropical cyclones is equally alarming, with global losses surpassing USD 1.4 trillion over the past five decades (Table 1). This equates to an average of USD 78 million damages each day, reflecting the severe and recurring financial burdens faced by affected nations. The immense costs stem not only from direct damage to infrastructure, homes, and livelihoods but also from long-term disruptions to economic stability and growth in impacted regions. The scale and frequency of these losses highlight the critical need for enhanced resilience and adaptation strategies to safeguard both human lives and economic resources against the ongoing threat of tropical cyclones.

Economically, hurricanes damage infrastructure like roads and power lines, disrupt agriculture and livelihoods, and halt business operations. The costs of recovery can be staggering, straining local and national economies, while highlighting the urgent need for improved disaster preparedness and climate resilient infrastructure. For example, Molua, E. L., Mendelsohn, R. O., & Akamin, A. (2020) study illustrated that the United States faced more catastrophic tropical cyclones than Europe and Asia. In particular, losses caused by hurricanes Katrina, Harvey, and Maria reached USD 380 billion across the country. The study also pointed out to regional variations in cyclone characteristics, including differences in frequency, intensity, and the financial repercussions associated with them. These results emphasized the importance of developing region-specific strategies to reduce the impacts of these natural disasters.

Natural disasters encompass various extreme weather events that can endanger human health and safety.

Since 1995, more than 4.4 billion individuals have been impacted by such disasters, resulting in economic losses exceeding \$2 trillion (Yuhan, J., Wang, D. C., Canada, A., Schwartz, J., 2021). For instance, in June 2008, the Midwest floods affected over 11 million people, while in 2005; Hurricane Katrina incurred damages of more than \$125 billion, along with widespread evacuations and property losses. These environmental occurrences are often random and unpredictable. The National Centers for Environmental Information (NCEI) serves as the authoritative source for tracking and evaluating climate events with significant economic and societal impacts, both within the United States and globally. As the nation's primary institution responsible for monitoring and assessing the climate, NCEI

provides comprehensive summaries of temperature and precipitation trends, extremes, and historical comparisons at the global and national levels. The NCEI's role in addressing severe weather and climate events allows it to contextualize these phenomena within a historical perspective. This function is crucial for understanding the scale and magnitude of the economic consequences associated with such events, which have been observed and documented from 1980 to the present day.

The NCEI serves as a vital resource for researchers, policymakers, and the general public in their efforts to understand the evolving trends and impacts of climate change over time by maintaining this comprehensive record of weather and climate-related disasters. In 2024, it anticipated an above average hurricane season in the Atlantic, which runs from June 1 to November 30 (Center for Disaster Philanthropy, 2024). By October 11, there were 13 named storms, comprising four tropical storms and nine hurricanes, with four classified as major hurricanes (Beryl, Helene, Kirk, and Milton). Notably, hurricane Milton intensified from a tropical storm to a Category 5 hurricane within 24 hours, reaching peak winds of 180 mph and exhibiting an exceptionally small eye, referred to as a "pinhole." The aftermath of hurricane Helene highlighted the devastating impact a single storm can have, raising concerns about the capacity of local, state, tribal, and federal resources to respond to the ongoing challenges posed by this active hurricane season.

7.3 Natural Disasters Cases in the USA, China, Oman and the UAE

7.3.1 The USA

Hurricane Milton made landfall as a powerful Category 3 storm, packing winds that exceeded 120 mph and inflicting substantial damage across Florida (Hill, A. C., 2024). The impact was severe, leading to widespread power outages that affected approximately 3.5 million residents and resulting in at least 24 confirmed fatalities. Additionally, the storm triggered significant tornado outbreaks, and experts suggest that its intensity was likely intensified by climate change, which may have otherwise led to a less severe storm. Economic losses from the disaster were projected to range between \$160 billion and \$180 billion, with a notable portion of these losses being uninsured, primarily due to the inadequate flood insurance coverage among homeowners. The disarray surrounding disaster response has been further exacerbated by the spread of misinformation, complicating efforts to provide relief to affected communities. Looking ahead, it is crucial for communities to enhance their resilience against such events by implementing stricter building codes, addressing the rising costs of insurance as indicators of risk, and improving land-use practices to better prepare for future climate-related disasters.

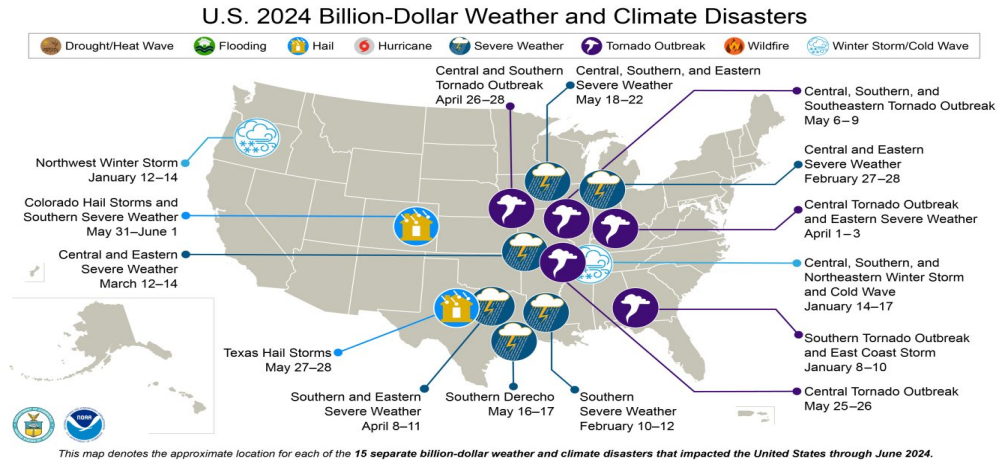


Figure 3. Climate Disasters in the United States in the first half of 2024
Source: NCEI, (2024).

As it can be seen, Figure 3 illustrates the locations of climate disasters that occurred across the United States in the first half of 2024. It highlights 15 separate events, such as hailstorms, severe weather, tornado outbreaks, and winter storms.

Significant hailstorm events are noted in Colorado and Texas, while severe weather incidents are prevalent in the central and eastern U.S. The Central and Southern regions are particularly affected by multiple tornado outbreaks, emphasizing their vulnerability. Winter storms are significant in the Northwest and across the Central, Southern, and Northeastern regions. The increasing frequency and intensity of weather-related disasters in the United States, is potentially linked to the impacts of climate change. Furthermore, Figure (4) shows that year 2024 (marked with a red star) reveals a significant increase in disaster costs, reaching approximately \$370 billion by mid-year, making it one of the highest in the observed period. This year surpasses previous costly years like 2017, which saw around \$392 billion in disaster costs due to major events such as hurricanes and wildfires. The graph also highlights other notable years: 2012 with \$158.9 billion, 2021 with \$164.0 billion, 2022 with \$182.4 billion, and 2005 with \$267.0 billion.

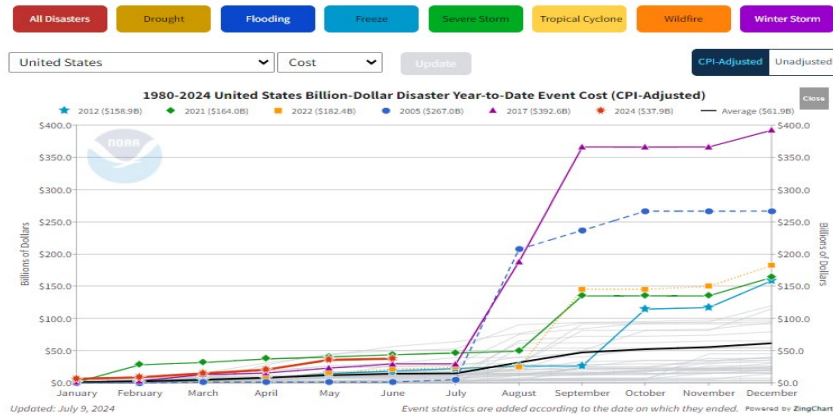


Figure 4. Disasters Loses Costs in the United States (1980 to 2024)
Source: NCEI, (2024)

7.3.2 China

China is a geographically diverse country which exposes it to a susceptible wide range of natural disasters. These hazards affect the nation’s provinces, autonomous regions, and municipalities to varying degrees (Wang, P., Yang, Y., Xue, D., Qu, Y., Tang, J., Leung, L. R., Liao, H., 2023). Two thirds of Chinese territory is vulnerable to flooding, while the Eastern and Southern coastal areas, as well as some inland provinces, frequently encounter tropical cyclones. The coastal regions are susceptible to storm surges and red tides, while the country’s forests and grasslands face the threat of fires. Notably, half of China’s population and more than 70% of its cities are located in areas vulnerable to these various natural disaster types. According to scholars, Southern and Eastern regions of China experienced higher frequencies and greater damage compared to Northern regions (Wang, K., Yang, Y., Reniers, G., Huang, Q., 2021).

Tu, S., Zhang, Y., Liang, M., Wu, D., Xu, J. (2024) research revealed that Southern regions of China experienced a rise in the intensity of tropical cyclones, with more storms reaching higher categories on the Saffir Simpson scale, hurricane wind Scale is a 1 to 5 rating based only on a hurricane’s maximum sustained wind speed. Changes in rainfall distribution led to more severe flooding in affected areas. To add, the Pearl River Delta region in South China is at risk as a result of tropical cyclones, which makes it important to carefully study the damage caused by these storms and what leads to it (Sajjad, M., Chan, J. C., 2020).

Sajjad, M., Chan, J. C., (2020) study found that; there is a strong link between the economic damages and the rainfall caused by tropical cyclones, with more rain leading to higher damages. Also, the study indicates that there is a significant connection between economic damages and the wind strength of the storms, indicating that stronger winds result in greater financial losses. The results of the study concluded that; even though rainfall from tropical cyclones has decreased over time, the strength of the storms has increased. Despite the drop in rainfall, economic damages have continued to rise. This suggests that other factors, such as stronger storm winds, growing populations, and urban development, are contributing to the increasing damages in the region. Likewise, China has

experienced a range of natural disasters since 2015, with significant economic and human impacts (Chou, J., Dong, W., Tu, G., Xu, Y., 2020). For example, in 2016, severe flooding affected 32 million people, causing extensive damage to infrastructure and agriculture (Lai, Y., Li, J., Gu, X., Chen, Y. D., Kong, D., Gan, T. Y., Wu, G., 2020). Moreover, in 2020, Yangtze River floods were devastating, displacing millions and causing billions of dollars in damage (Niu, Y., Touma, D., Ting, M., Camargo, S. J., Chen, R., 2022).

7.3.3 Oman and the UAE

The Gulf Council Countries (GCC), including Saudi Arabia, the UAE, Qatar, Oman, Kuwait, and Bahrain, have also faced natural disasters, although their impacts have varied. Oman, for instance, was hit by several severe tropical cyclones. Cyclone Mekunu, in 2018, is one example of them. It caused widespread flooding and significant damage to infrastructure. To add, in early October 2021, Cyclone Shaheen tracked Westward across the far Northern Arabian Sea, penetrated the Gulf of Oman, and made landfall along the Northeast Oman coastline (Terry, J., Al Ruheili, A., Boldi, R., Gienko, G., Stahl, H., 2022). Shaheen was a unique Tropical Cyclone (TC) formed on 30th September 2021, on the Saurashtra coast off Gujrat, from another cyclone Gulab off the Bay of Bengal. Under the influence of warm waters, this one-of-a-kind storm travelled westwards, skirting Pakistan's Makran coast before making landfall on Northern Oman on 4th October 2021 (Mukherjee, P., Ramakrishnan, B., 2023). This storm event represented a unique trajectory, as it was the first of its kind to occur in the region in more than 130 years (Terry, J., Al Ruheili, A., Boldi, R., Gienko, G., & Stahl, H., 2022).

Differently, in the United Arab Emirates (UAE), an unprecedented amount of rainfall was recorded on April 15th, 2024, surpassing all previous daily rainfall records observed over the past 75 years. In a study conducted by Almazroui, M., Khalid, M. S., Islam, M. N., Rehman, S., Sajjad, H. (2020); the researchers argue that the central region of the Arabian Peninsula will experience higher temperatures across all seasons throughout the 21st century, providing valuable information for long-term regional planning. The study investigated the seasonal, inter-seasonal, and regional changes in temperature, as well as the associated uncertainties.

8. RESULTS

This study addressed two critical research questions that arise from the profound effects of hurricanes and tropical cyclones. First, it investigated the key social and economic risks posed by these disasters, exploring how these risks vary across different regions and communities such as the USA, China, Oman and the UAE. It aimed to uncover patterns and disparities in vulnerability and resilience, offering a comprehensive understanding of how such events impact human lives, infrastructure and economics. As a result, the review of the 84 articles provided a comprehensive analysis of the impacts of climate change on nature. The analysis of the studies showed that climate change has intensified tropical cyclones in terms of both intensity and rainfall rates (Walsh, K. J., McBride, J. L., Klotzbach, P. J., Balachandran, S., Camargo, S. J., Holland, G., Sugi, M., 2016). Particularly in the North Atlantic, an increase in Category 3 or higher storms has been observed, with projections suggesting a rise under "+2 °C" warming scenario (Knutson, T. R., Chung, M. V., Vecchi, G., Sun, J., Hsieh, T. L., Smith, A. J., 2021). Additionally,

studies revealed that the impact of natural disasters varies significantly across different regions, influenced by factors such as geographical location, economic development, and preparedness levels (Padmaja, D. L., Tammali, S., Gajavelly, N., Reddy, K. S., 2022).

Despite these advances, significant gaps and limitations persist. Data inconsistencies across regions hinder accurate analyses of disaster impacts, particularly in historical records predating satellite technology. Climate models often lack the resolution necessary to simulate the complex dynamics of cyclone formation and behavior, leading to contradictory projections in areas like pole ward expansion. Furthermore, findings from region specific studies are difficult to generalize due to unique local conditions. The lack of longitudinal studies limits understanding of the long-term effects of climate-driven disasters.

The economic and social consequences of tropical cyclones are profound and far-reaching. Coastal economies face significant losses and cyclones also trigger long-term effects, such as population migration, reduced property values, and widening socio-economic disparities. These outcomes pointed to the interplay between economic vulnerabilities and climate-driven disasters, necessitating targeted policy interventions. Additionally, from an environmental perspective, hurricanes have degraded marine ecosystems, including coral reefs and mangroves. These ecosystems, crucial for coastal protection, face heightened risks under increasing cyclone activity. Similarly, the health impacts of hurricanes are both immediate and enduring. The studies highlighted increased risks of infectious diseases, mental health conditions like chronic illnesses such as cardiovascular disease. These findings reveal the multifaceted and long-term nature of disaster-related health challenges.

9. DISASTER MANAGEMENT IMPLEMENTATION

As natural disasters continue to occur, mitigating their impact has become a priority for all nations. Risk management processes typically involve several key steps aiming to mitigate risks in various contexts. These processes include:

9.1 Risk Identification

Identifying potential risks is the first step that could impact the holistic processes of Mitigation climate change disasters. It involves understanding both internal and external risks that could arise from implementing disaster management rescue plans. For example, utilizing historical hurricane data and predictive models to identify high risk areas for hurricanes is the first step risk management team can do. Also, monitoring oceanic and atmospheric conditions that could lead to tropical cyclones can be used as well here.

9.2 Risk Assessment and Analysis

Evaluating the risk to understand its potential impact is the second step in the process. The analysis often includes qualitative and quantitative assessments, prioritizing risks based on factors like probability and severity. Also, various tools

such as risk matrices, fault tree analysis, and analysis SWOT can aid in this step. It aims to decide the sufficient financial and operational resources needed. Using hurricane tracing models, the potential strength, path, and impact of the hurricane can be assessed in this process. This includes simulations of storm surge, high winds, and flooding impacts.

9.3 Risk Evaluation

Deciding on what approach suits each type of disaster is an important part in this phase. The evaluation often involves both the government and stakeholders input to ensure alignment with organizational goals. It may vary regarding each country's case and degree of the climate change hazard. Based on the impact projections and the critical nature of affected areas, the government prioritizes risk mitigation efforts in highly populated or economically significant regions. It can also evaluate the costs of implementing protective measures against potential losses if no action is taken.

9.4 Risk Treatment (Mitigation)

In this stage authorities in charge decide on the actions needed to mitigate the climate changes risk and execute the best strategies of the contingency plans. The goal in this phase is to reduce the risk to an acceptable level that saves life or decrease economic losses. For instance, governments can issue evacuation orders when a high impact hurricane is forecasted. Also, in hurricane prone areas, government initiatives may support building codes that require hurricane-resistant structures, especially for critical infrastructure.

9.5 Implementation of Risk Controls

Governments and concerned parties in this phase put into place the chosen risk mitigation plan, ensuring that the right resources and responsibilities are allocated policies and procedures when necessary.

9.6 Monitoring and Review

In the stage, continuous risk monitoring and regular reviews help in identifying any changes in the risk profile based on the situations that occur on the ground. Government can assign the activation of emergency response teams and other agencies to be on standby in affected regions. Coordination with local authorities also add value at this stage. They can ensure that evacuation plans, shelters, and emergency services are available and equipped.

9.7 Communication and Consultation

Effective communication ensures transparency and promotes a risk aware culture within the organization. As the hurricane progresses state agencies can adjust their response strategies based on updated risk assessments. Public alerts and communication such as national weather service and local governments issue real-time alerts to the public via multiple channels, including social media, TV, and radio, to ensure residents stay informed.

9.8 Documentation and Reporting

Documenting the process to ensure transparency, track progress, and facilitate reporting is an essential part of mitigation plans and process. Clear documentation

aids in compliance, governance, and future risk assessments, is an added value to future crises. It can also benefit other future research.

These steps create a cyclical process where continuous monitoring feeds back into risk identification. These steps can be amended based on the scenario each country faces.

10. SUSTAINABLE TECHNOLOGIES IN DISASTER MANAGEMENT

Millions of people suffer significantly from the impacts of disasters each year. This represents a major challenge underlying the limited success in disaster management efforts. According to the the World Meteorological Organization, over the past half-century, region has witnessed 3,612 discrete disaster occurrences, resulting in nearly one million fatalities and an estimated \$1.4 trillion in economic losses, amounting to almost half of the global total for such catastrophic events (World Meteorological Organization, 2024). Traditional disaster management practices often exacerbate environmental degradation and fail to address the long-term needs of affected communities. The reliance on non-renewable energy sources, such as diesel generators for emergency power, contributes to greenhouse gas emissions and air pollution, further exacerbating climate change (International Renewable Energy Agency, 2023). Efforts to mitigate cyclone impacts rely on both technological and nature-based solutions. For example, mangroves have demonstrated their potential to reduce high-risk flood zones, though they also redistribute risks to lower-risk areas.

Human behaviors also, including risk perception and cognitive biases, significantly affect the success of adapting effective disaster management strategies. There are increasing growing calls for green technologies and innovations in disaster management to mitigate disasters impacts. Addressing hurricanes and climate change' impacts call for more innovative, integrated strategies that combine technological, social, and environmental approaches Greve, A. I. (2016). For example, political attain to this issue can increase positive efforts to share knowledge and methods that accelerate the recovery or the protection process. Also, integrating climate change into hazard mitigation planning by assessing future climate risks, engaging local communities in the planning process and aligning climate adaptation efforts with current hazard mitigation policies are part of the effective strategies to contain climate change hazard (Stults, M., 2017).

Also, developing resilient infrastructure, as well as utilizing nature-based solutions such as mangrove restoration and urban greening protect against storm damage. Bayulken, B., Huisingh, D., Fisher, P. M. J., (2021) conducted a comprehensive literature review to examine methods for transforming cities into more resilient and sustainable regions through the strategic enhancement of blue and green spaces within and surrounding urban areas. Analyzing 298 articles published between 1997 and 2020 across 109 academic journals, the study provided holistic insights into the selection, implementation, monitoring, assessment, and valuation of nature-based solutions in diverse urban contexts. The authors found that cities can expand their green areas by implementing nature-based solutions.

Moreover, Abid, S. K., Sulaiman, N., Chan, S. W., Nazir, U., Abid, M., Han, H., Vega-Muñoz, A. (2021) indicate that predictive analytics for forecasting natural

disasters aid policymakers and emergency responders in making informed choices. Similarly, studies revealed that adapting to climate change by focusing on three areas: using predictive analytics, integrating various datasets for better insights into climate patterns, and creating AI tools to support policymakers in developing effective adaptation strategies are effective approaches to mitigate risks (Leal Filho, W., Wall, T., Mucova, S. A. R., Nagy, G. J., Balogun, A. L., Luetz, J. M., Gandhi, O., 2022). On the other hand, Zhang, C., Yin, K., Shi, X., & Yan, X. (2021) suggest utilizing Geographic Information Systems (GIS) for geospatial risk assessment to identify high-risk areas. Additionally, the researchers believe that this method will enhance disaster preparedness in vulnerable coastal regions, will reduce exposure of critical infrastructure, and regulate aquaculture development to limit economic and environmental harm. Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., Rooney, D. W. (2020) on the other hand, presented several strategies to combat climate change, including conventional mitigation technologies that focus on reducing CO₂ emissions from fossil fuels. The second question the research delved was the sustainable strategies to mitigate the environmental, infrastructural, and economic consequences of hurricanes and tropical cyclones. Cases presented in this study showed various mitigation plans the USA, China, Oman and the UAE used to reduce negative impacts of natural disasters caused by hurricanes and cyclones. Through these inquiries, the study aspired to contribute to the development of effective and sustainable approaches for managing the risks associated with these natural disasters.

10.1 The USA, China, Oman and the UAE Disaster Management Approach

Addressing climate change and hurricane impacts necessitates comprehensive strategies that include policy initiatives, infrastructure development, and sustainable practices. Countries like China, the United States, Oman, and the UAE have implemented various successful approaches. Sustainable technologies such as renewable energy, green infrastructure and eco-friendly materials play a crucial role in reducing the environmental impact of disaster response (Aguirre-Ayerbe, I., Merino, M., Aye, S. L., Dissanayake, R., Shadiya, F., Lopez, C. M., 2020).

10.1.1 The USA, China, Disaster Management Approach

The U.S. disaster management approach focuses on climate leadership through initiatives like the Inflation Reduction Act and emphasizes hurricane mitigation through Federal Emergency Management Agency (FEMA) guidance. Also, green infrastructure and eco-friendly materials are equally important in reducing the environmental impact of disaster response. Green infrastructure includes solutions such as green roofs, permeable pavements, and urban forests, which mitigate flooding, reduce heat islands, and improve air quality. For instance, in New York City, the implementation of green infrastructure projects has significantly reduced storm water runoff and improved the city's resilience to extreme weather events (NYC, 2023).

Another example of the mitigation plan is what they implement after Hurricane Maria. After Hurricane Maria devastated Puerto Rico in 2017, solar energy systems were deployed to provide emergency power to hospitals and other critical facilities. The method significantly reduced the reliance on fossil fuels and ensured a continuous power supply (Aros-Vera, F., Gillian, S., Rehmar, A., Rehmar, L., 2021). In addition to solar power, wind turbines were used to provide essential energy in emergency situations, demonstrating their versatility and resilience in

harsh conditions. The renewable energy sources not only offer immediate relief but also support long-term sustainability by decreasing greenhouse gas emissions and promoting energy independence. On the contrary, China has taken significant steps to mitigate the impacts of natural disasters, through extensive investment in infrastructure and technology.

The government has invested heavily in flood control measures, such as the construction of large dams and reservoirs, to manage the increased risk of flooding from major rivers like the Yangtze (Olson, D. L., Wu, D. D., 2010). Additionally, China has implemented extensive reforestation projects to combat soil erosion and reduce the risk of landslides. Also, it continues to invest heavily in disaster mitigation and recovery, emphasizing rapid response and infrastructure resilience (Cai, J., Zhang, L., Dong, J., Dong, X., 2022). According to Cai, Li, Y., Chen, M., Zou, Z. (2020); accurate risk assessment is essential to help allocate resources for disaster relief and make evacuation decisions when hit by a Tropical Cyclone. Nature-based solutions, including reforestation, wetland restoration, and the creation of green spaces, can mitigate the effects of natural disasters by enhancing the resilience of ecosystems.

Reforestation plays a critical role in stabilizing soil, reducing erosion, and enhancing water retention in the landscape. For example, extensive reforestation efforts in the Loess Plateau in China have transformed a previously degraded area into a thriving ecosystem (He, J.-F., Guan, J., & Zhang, W.-H., 2014).

These efforts have not only reduced the risk of floods and landslides but also increased agricultural productivity and improved the livelihoods of local communities. The projects' remarkable outcomes included lifting over 2.5 million people in four of China's poorest provinces out of poverty, doubling farmers' incomes, diversifying employment opportunities, and revitalizing the degraded environment. Sustainable farming practices, natural vegetation regeneration, and improved sediment control led to an increase in agricultural productivity, reduced flood risks, and secured food supplies. The project significantly contributed to the restructuring and market-orientation of the agricultural sector, while also establishing conditions for long-term soil and water conservation in the region (The World Bank Group., 2007).

China also has launched its National Climate Change Adaptation Strategy and invested in renewable energy and afforestation. Moreover, Li, J., Bao, Q., Liu, Y., Wang, L., Yang, J., Wu, G., Shen, Z. (2021) model explores the impact of model resolution on cyclone simulations, accurate high-resolution data, and enhanced predictive capabilities for better forecasting and planning. Furthermore, Shultz, J. M., Russell, J., Espinel, Z. (2005), Lang, C., Ryder, J. D. (2016); and Li, J., Bao, Q., Liu, Y., Wu, G., Wang, L., He, B., Li, J. (2019) studies, examined how cyclones influence public engagement with climate change. They highlighted the need for awareness campaigns to educate the public, as well as policy advocacy to prompt adaptation and mitigation measures, and community involvement to foster local resilience. They recommend improvements in public health preparedness, the establishment of disease surveillance systems for early outbreak detection, and the integration of disaster response with public health initiatives.

10.1.2 Oman and the UAE Disaster Management Approach

In Oman and the UAE, 80% and 85% of the total populations, respectively, reside in flood-prone and low-lying areas that are highly exposed to heavy rains and cyclones.

Additionally, the prevalence of urban developments with limited permeability and absorptive capacity, inadequate drainage systems, and the hyper-arid soils in some areas exacerbate the risk and severity of flash floods. In response, the UAE and Oman have adopted proactive disaster risk management strategies, including functional early warning, early action, and emergency response systems, as well as long term adaptation planning. As an example; Oman has undertaken several robust measures to mitigate the impacts of severe tropical cyclones, leveraging advanced technology and infrastructure improvements. The country has been significantly affected by cyclones, including notable ones like Cyclone Gonu in 2007, Cyclone Mekunu in 2018, and Cyclone Shaheen in 2021. These events have prompted Oman to enhance its disaster preparedness and response strategies. To add, Oman's National Strategy for Adaptation and Mitigation to Climate Change (2020-2040) outlines comprehensive measures to address environmental challenges and enhance resilience to future cyclones (Green Climate Fund., 2022).

Researcher Alruheili, A. (2017) also, outlined strategies for Oman to improve climate change resilience by creating long term plans that integrate resilience into national development. In his approach he suggests fostering collaboration among different sectors and communities and developing policies that promote adaptive and sustainable practices. Together with, Al-Awadhi, T., Charabi, Y., Choudri, B. S. (2019), the researcher suggests ways to strengthen urban resilience in Oman by upgrading infrastructure to better withstand climate impacts. His solution involves using ecosystem-based adaptation and raising community awareness about climate risks and adaptive practices. Additionally, Mansour, S., Darby, S., Leyland, J., Atkinson, P. M. (2021); Al Habsi, J., al Kalbani, A. (2023) study which employs geospatial modeling to evaluate cyclone risks in Oman, recommends creating risk maps to pinpoint high-risk areas.

Also, the study suggests implementing land-use policies to reduce exposure to marine hazards, and developing tailored emergency response plans for identified risk zones. Moreover, Oman has developed advanced cyclone early warning systems and built cyclone-resistant infrastructure following Cyclone Gonu in 2007 and Cyclone Mekunu in 2018. The concept of early warning systems has gained widespread recognition as a crucial component in mitigating the impacts and consequences of hazardous natural events on societies (Trogrlić, R., van den Homberg, M., Budimir, M., McQuistan, C., Sneddon, A., Golding, B. (2022). Furthermore, Oman has invested heavily in early warning systems and the use of Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing technologies. The National Multi-Hazard Early Warning System, established by the Civil Aviation Authority, plays a crucial role in monitoring and forecasting weather events, providing timely alerts to mitigate the impacts of incoming cyclones. This system integrates satellite data, radar, and ground-based observations to deliver precise forecasts and warnings, allowing for timely evacuations and preparations (Times News Service., 2023).

Researchers affirm that community involvement and public education are critical components of Oman's disaster management strategy. The government conducts regular awareness campaigns and drills to educate the public on emergency procedures and safety measures. These initiatives help ensure that communities are better prepared to respond quickly and effectively to warnings, reducing the potential for casualties and property damage (Jones, C., 2024). Oman also collaborates with international organizations and neighboring countries to enhance

its disaster management capabilities. This includes participating in regional initiatives and training programs focused on disaster risk reduction and response. Recognizing the link between climate change and the increasing frequency of severe weather events, Oman has committed to sustainable practices to mitigate long-term risks (Ahmed, M., Choudri, B. S., 2012). Similarly, Oman's neighboring country the UAE have implemented extensive urban planning measures to manage flooding and extreme heat, including the construction of advanced drainage systems and the establishment of cooling centers during heat waves (Almulhim, A. I., Al Kafy, A., Ferdous, M. N., Fattah, M. A., Morshed, S. R., 2024).

11. RECOMMENDATIONS AND CONCLUSION

11.1 Recommendations

Hurricanes and tropical cyclones pose significant threats to coastal populations, primarily through extreme precipitation and strong winds. Thus, accurate risk assessment framework to evaluate the hazard is an essential measure to be taken into consideration (Meng, C., Xu, W., Qiao, Y., Liao, X., Qin, L., 2021). Based on the findings of this research, the following recommendations are proposed to support the further integration of sustainable solutions into disaster management and crisis response.

11.1.1 Enhance Policy and Regulatory Frameworks

Policymakers should develop and implement policies, regulations, and incentive mechanisms that explicitly promote the adoption of sustainable disaster management practices, such as renewable energy, nature-based solutions, and circular economy principles (Wendler-Bosco, V., & Nicholson, C., 2022).

11.1.2 Strengthen Institutional Capacity

Disaster management agencies and relevant government authorities should invest in building the necessary institutional capacity, technical expertise, and cross sectorial coordination to effectively plan, implement, and monitor sustainable disaster management initiatives.

11.1.3 Increase Funding and Financing

Dedicated funding mechanisms, such as green disaster response funds, public-private partnerships, and innovative financing instruments, should be established to support the implementation of sustainable disaster management solutions.

11.1.4 Foster Community Engagement and Ownership

Effective disaster management requires active community involvement and education. Local communities are often the first responders in the aftermath of a disaster. Therefore, educating the public about disaster preparedness and involving them in planning and response efforts can enhance resilience.

11.1.5 Promote Knowledge Sharing and Capacity Building

Platforms for knowledge-sharing, best practice exchange, and capacity-building should be established to facilitate the dissemination of sustainable disaster management approaches and support their replication in other disaster-prone regions.

11.2 Conclusions

The research explored the social and economic risks of hurricanes and cyclones and how their impacts differ across regions and communities. It also examined sustainable strategies to minimize environmental, infrastructural, and economic damage while identifying gaps in research on these mitigation approaches. The study examined their effects on the environment, infrastructure, economy, and human lives, systematically reviewing 84 articles, reports, and researchers. The findings of the research demonstrate that the integration of sustainable solutions into disaster management and crisis response can deliver significant environmental, economic, and social benefits. The USA, China, Oman and the UAE case studies provided compelling evidence that the adoption of green practices, such as renewable energy, nature-based solutions, circular economy principles, and decentralized infrastructure, can enhance the resilience and sustainability of disaster response and recovery efforts. One of the key lessons from natural disasters worldwide is the importance of comprehensive preparedness and early warning systems. Countries like China and the Oman and the UAE countries have invested heavily in early warning technologies and public education, which have significantly reduced the death tolls in subsequent disasters.

Early warning systems provide critical lead time for evacuations and other emergency measures, ultimately saving lives and reducing the economic impact of disasters. Sustainable infrastructure not only reduces the immediate damage caused by disasters but also facilitates quicker recovery. Natural disasters have underscored the importance of integrating green solutions into disaster management strategies. Reforestation and wetland restoration, as seen in China and the United States, have proven effective in mitigating the impacts of floods and landslides. These nature-based solutions enhance the resilience of ecosystems, which in turn protects human communities. Green infrastructure, such as permeable pavements and urban green spaces, helps manage storm water, reduce urban heat islands, and improve overall environmental health.

12. IMPLICATIONS OF THE STUDY

The study contributes to the existing literature in crisis management and identifies the survival and resilience strategies to overcome climate change impacts. The findings of this are aligned with those of other scholars investigating climate change affects. The actual results of the paper also provide recommendations for policy makers and governments responsible for mitigating disasters around the world. The presented strategies are an added value in decreasing disaster hazard during and post the occurrence.

REFERENCES

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 42539–42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Adger, W. N., Arnell, N. W., Tompkins, E. L. (2005). Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change*, 15(2), 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.01.003>
- Aguirre-Ayerbe, I., Merino, M., Aye, S. L., Dissanayake, R., Shadiya, F., Lopez, C. M. (2020). An evaluation of availability and adequacy of Multi-Hazard Early Warning Systems in Asian countries: A baseline study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, 101749. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101749>
- Ahmed, M., Choudri, B. S. (2012). Climate change in Oman: Current knowledge and the way forward. Education, Business and Society: *Contemporary Middle Eastern Issues*, 5(4), 228-236. <https://doi.org/10.1108/17537981211284416>
- Al Habsi, J., al Kalbani, A. (2023). Building climate-resilient supply chains in Oman: Challenges, Strategies, and Best Practices. *Journal of Engineering Research* (2307-1877).
- Al-Awadhi, T., Charabi, Y., Choudri, B. S. (2019). Pathways for building urban resilience to climate change in Oman. *Development in Practice*, 29(5), 594-605.
- Almazroui, M., Khalid, M. S., Islam, M. N., Rehman, S., Sajjad, H. (2020). Seasonal and regional changes in temperature projections over the Arabian Peninsula based on the CMIP5 Multi-Model ensemble dataset. *Atmospheric Research*, 239, 104913. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104913>
- Almulhim, A. I., Al Kafy, A., Ferdous, M. N., Fattah, M. A., Morshed, S. R. (2024). Harnessing urban analytics and machine learning for sustainable urban development: A multidimensional framework for modeling environmental impacts of urbanization in Saudi Arabia. *Journal of Environmental Management*, 357, 120705. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120705>
- Alruheili, A. (2017). An approach to resilient strategic planning in the face of climate change: A case study of Oman (Doctoral dissertation, UC Berkeley).
- Aros-Vera, F., Gillian, S., Rehmar, A., Rehmar, L. (2021). Increasing the resilience of critical infrastructure networks through the strategic location of microgrids: A case study of Hurricane Maria in Puerto Rico. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 55, 102055. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102055>
- Bakkensen, L., Blair, L. (2022). The economics of tropical cyclone adaptation. In *Handbook of Behavioral Economics and Climate Change* (pp. 33-62).
- Banan-Dallalian, M., Shokatian-Beiragh, M., Golshani, A., Mojtahedi, A., Lotfollahi-Yaghin, M. A., Akib, S. (2021). Study of the effect of an environmentally friendly flood risk reduction approach on the Oman coastlines during the Gonu tropical cyclone (Case study: The coastline of Sur). *Engineering*, 2(2), 141-155. <https://doi.org/10.3390/eng2020010>

- Bayulken, B., Huisingh, D., Fisher, P. M. J. (2021). How are nature-based solutions helping in the greening of cities in the context of crises such as climate change and pandemics? A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125569. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125569>
- BBC, 2019. Cyclone Idai: Mozambique president says 1,000 may have died. <https://www.bbc.com/news/world-africa-47609676>
- Beraud, C. P. C., Kelly, D. M. (2022). Developing tropical cyclone simulation in Oman. In S. E. Bourban, C. T. Pham, P. Tassi, J.-P. Argaud, T. Fouquet, K. El Kadi Abderrezzak, M. Gonzales de Linares, R. Kopmann, & J. H. Vidal Hurtado (Eds.), *Proceedings of the XXVIIIth TELEMAT User Conference*, 18-19 October 2022 (pp. 109-114). EDF Direction Recherche et Développement.
- Brown, C. E., Alvarez, S., Eluru, N., & Huang, A. (2021). The economic impacts of tropical cyclones on a mature destination, Florida, USA. *Journal of Destination Marketing & Management*, 20, 100562. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2021.100562>
- Cai, J., Zhang, L., Dong, J., Dong, X. (2022). Detection and characterization of slow-moving landslides in the 2017 Jiuzhaigou earthquake area by combining satellite SAR observations and airborne Lidar DSM. *Engineering Geology*, 305(1–2), 106730. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106730>
- Cai, L., Li, Y., Chen, M., Zou, Z. (2020). Tropical cyclone risk assessment for China at the provincial level based on clustering analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 869-886.
- Center for Disaster Philanthropy. (2024). 2024 Atlantic hurricane season. https://disasterphilanthropy.org/disasters/2024-atlantic-hurricane-season/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA3Na5BhAZEiwAzrfagEmGxV786yyZSQFC-Bi0gQ_OauJo50lgANuqTdO88rPJ6TWGKaJ_DyBoChWMQAvD_BwE
- Chou, J., Dong, W., Tu, G., Xu, Y. (2020). Spatiotemporal distribution of landing tropical cyclones and disaster impact analysis in coastal China during 1990–2016. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 115, 102830.
- Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 2069-2094.
- Abid, S. K., Sulaiman, N., Chan, S. W., Nazir, U., Abid,
- Feehan, C. J., Filbee-Dexter, K., Thomsen, M. S., Wernberg, T., Miles, T. (2024). Ecosystem damage by increasing
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). The impact of disasters and crises on agriculture and food security: 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb3673en>
- Forster, P. M., Smith, C. J., Walsh, T., Lamb, W. F., Lamboll, R., Hauser, M., Zhai, P. (2023). Indicators of Global Climate Change 2022: annual update of large-scale indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth System Science Data*, 15(6), 2295-2327.

- Green Climate Fund. (2022). Enhancing the national adaptation plan process for the Sultanate of Oman. <https://www.greenclimate.fund/document/enhancing-national-adaptation-plan-process-sultanate-oman>
- Greve, A. I. (2016). Sustainable development, climate change adaptation and disaster management. *Sustainable development and disaster risk reduction*, 13-36.
- He, J.-F., Guan, J., & Zhang, W.-H. (2014). Land use change and deforestation on the Loess Plateau. In Restoration and Development of the Degraded Loess Plateau, China (pp. 111-120). *Springer*. https://doi.org/10.1007/978-4-431-54481-4_8
- Hill, A. C. (2024). What Hurricane Milton's damage says about climate preparedness. *Council on Foreign Relations*. <https://www.cfr.org/expert-brief/what-hurricane-miltons-damage-says-about-climate-preparedness>
- Humanitarian Aid. (2022). UN marks anniversary of devastating 2010 Haiti earthquake. *United Nations News*. <https://news.un.org/en/story/2022/01/1109632>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Chapter 11: Weather and climate extreme events in a changing climate. In V. Masson-Delmotte, P.
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. (2024). Defining disaster. In The disaster management cycle: 5 key stages. *UCF Online*. <https://www.ucf.edu/online/leadership-management/news/the-disaster-management-cycle/#:~:text=Emergency%20management%2C%20also%20referred%20to,which%20comprises%20five%20crucial%20stages>
- International Institute for Sustainable Development. (2024). Sustainable development. *IISO*. <https://www.iiso.org/mission-and-goals/sustainable-development>
- International Renewable Energy Agency. (2023). World energy transitions outlook 2023: 1.5°C pathway. <https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023>
- International Strategy for Disaster Reduction. (2007). UN International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). <https://sdgs.un.org/statements/un-international-strategy-disaster-reduction-unisdr-8377>
- Jain, H. (2024). Leveraging geo-computational innovations for sustainable disaster management to enhance flood resilience. *Discover Geoscience*, 2, Article 33. <https://doi.org/10.1007/s44288-024-00042-0>
- Jones, C. (2024). Nationwide campaign for disaster and emergency preparedness in Oman. *Health and Safety International*. <https://www.healthandsafetyinternational.com/article/1872457/nationwide-campaign-disaster-emergency-preparedness-oman>
- Kabir, M., Habiba, U. E., Khan, W., Shah, A., Rahim, S., De los Rios-Escalante, P. R., Farooqi, Z.-U.-R., Ali, L., Shafiq, M. (2023). Climate change due to increasing concentration of carbon dioxide and its impacts on the environment in the 21st century: A mini review. *Journal of King Saud University - Science*, 35(5), 102693. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102693>

Knutson, T. R., McBride, J. L., Chan, J., Emanuel, K., Holland, G., Landsea, C., Sugi, M. (2010). Tropical cyclones and climate change. *Nature geoscience*, 3(3), 157-163.

Lai, Y., Li, J., Gu, X., Chen, Y. D., Kong, D., Gan, T. Y., Wu, G. (2020). Greater flood risks in response to slowdown of tropical cyclones over the coast of China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(26), 14751-14755.

Lang, C., Ryder, J. D. (2016). The effect of tropical cyclones on climate change engagement. *Climatic change*, 135, 625-638.

Lau, Y. Y., Yip, T. L., Dulebenets, M. A., Tang, Y. M., Kawasaki, T. (2022). A review of historical changes of tropical and extra-tropical cyclones: A comparative analysis of the United States, Europe, and Asia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(8), 4499. <https://doi.org/10.3390/ijerph19084499>

Leal Filho, W., Wall, T., Mucova, S. A. R., Nagy, G. J., Balogun, A. L., Luetz, J. M., ... & Gandhi, O. (2022). Deploying artificial intelligence for climate change adaptation. *Technological Forecasting and Social Change*, 180, 121662.

Li, J., Bao, Q., Liu, Y., Wang, L., Yang, J., Wu, G., Shen, Z. (2021). Effect of horizontal resolution on the simulation of tropical cyclones in the Chinese Academy of Sciences FGOALS-f3 climate system model. *Geoscientific Model Development*, 14(10), 6113-6133.

Li, J., Bao, Q., Liu, Y., Wu, G., Wang, L., He, B., Li, J. (2019). Evaluation of FAMIL2 in simulating the climatology and seasonal-to-interannual variability of tropical cyclone characteristics. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11(4), 1117-1136.

M., Han, H., ... & Vega-Muñoz, A. (2021). Toward an integrated disaster management approach: how artificial intelligence can boost disaster management. *Sustainability*, 13(22), 12560.

Mansour, S., Darby, S., Leyland, J., Atkinson, P. M. (2021). Geospatial modeling of tropical cyclone risk along the northeast coast of Oman: Marine hazard mitigation and management policies. *Marine Policy*, 129, 104544.

McAllister, S. (2023). There could be 1.2 billion climate refugees by 2050. Here's what you need to know. *Climate Change*. <https://www.zurich.com/media/magazine/2022/there-could-be-1-2-billion-climate-refugees-by-2050-here-s-what-you-need-to-know>.

Meer, M. S., Mishra, A. K., Nagaraju, V. (2024). Investigation of meteorological characteristics of tropical super cyclone Shaheen: Insights from high-resolution satellite observations. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 1-11.

Meng, C., Xu, W., Qiao, Y., Liao, X., Qin, L. (2021). Quantitative risk assessment of population affected by tropical cyclones through joint consideration of extreme precipitation and strong wind—A case study of Hainan province. *Earth's Future*, 9(12), e2021EF002365.

- Mikhaylov, A., Moiseev, N., Aleshin, K., Burkhardt, T. (2020). Global climate change and greenhouse effect. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(4), 2897.
- Molua, E. L., Mendelsohn, R. O., & Akamin, A. (2020). Economic vulnerability to tropical storms on the southeastern coast of Africa. *Jàmhá: Journal of Disaster Risk Studies*, 12(1), 1-14.
- Mukherjee, P., Ramakrishnan, B. (2023). Investigation of unique Arabian Sea tropical cyclone with GPU-based WRF model: A case study of Shaheen. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 246, 106052.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2017). Historical maps and charts [Audio podcast]. *National Ocean Service*. <https://oceanservice.noaa.gov/podcast/july17/nop08-historical-maps-charts.html>.
- Niu, Y., Touma, D., Ting, M., Camargo, S. J., Chen, R. (2022). Assessing heavy precipitation risk associated with tropical cyclones in China. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 61(5), 577-591.
- NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI). (2024). U.S. Billion-dollar weather and climate disasters. <https://www.ncei.noaa.gov/access/billions/>, DOI: 10.25921/stkw-7w73
- NOAA's Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory. (2024). *HURDAT comparison* table. https://www.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/comparison_table.html
- Ouyang, Y., Grace, J. M., Parajuli, P. B., Caldwell, P. V. (2022). Impacts of multiple hurricanes and tropical storms on watershed hydrological processes in the Florida Panhandle. *Climate*, 10(3), 42. <https://doi.org/10.3390/cli10030042>
- NYC Department of Environmental Protection. (2023). 2023 annual report: NYC green infrastructure. <https://www.nyc.gov/assets/dep/downloads/pdf/water/storm-water/green-infrastructure/gi-annual-report-2023.pdf>
- Oliver-Smith, A. (2020). Hurricanes, climate change, and the social construction of risk. *International Journal of Mass Emergencies & Disasters*, 38(1), 1-12. <https://doi.org/10.1177/028072702003800101>
- Olson, D. L., Wu, D. D. (2010). Earthquakes and risk management in China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 16(3), 478-493. <https://doi.org/10.1080/10807031003779898>
- Oxfam International. (2024). 5 natural disasters that beg for climate action. <https://www.oxfam.org/en/5-natural-disasters-beg-climate-action>
- Padmaja, D. L., Tammali, S., Gajavelly, N., Reddy, K. S. (2022). A comparative study on natural disasters. In *2022 international conference on applied artificial intelligence and computing (ICAAIC)* (pp. 1704-1709). IEEE.
- Paparella, F., Burt, J. A. (2023). Climate of the United Arab Emirates: Present, past, and impacts on life. In *A natural history of the Emirates* (pp. 65-94). *Cham: Springer Nature Switzerland*.

Powell, T. M., Yuma, P. J., Scott, J., Suarez, A., Morales, I., Vinton, M., Li, S. J. (2020). In the aftermath: The effects of hurricanes Harvey and Maria on the well-being of healthcare and social service providers. *Traumatology*, 26(3), 298.

Sajjad, M., Chan, J. C. (2020). Tropical cyclone impacts on cities: A case of Hong Kong. *Frontiers in Built Environment*, 6, 575534.

Schuenemann, T. (2021). Cyclones, spectacles, and citizenship: The politicization of natural disasters in the US and Oman.

Shultz, J. M., Russell, J., Espinel, Z. (2005). Epidemiology of tropical cyclones: the dynamics of disaster, disease, and development. *Epidemiologic reviews*, 27(1), 21-35.

Smiley, K. T., Noy, I., Wehner, M. F., Frame, D., Sampson, C. C., Wing, O. E. (2022). Social inequalities in climate change-attributed impacts of Hurricane Harvey. *Nature communications*, 13(1), 3418.

Studholme, J., Fedorov, A. V., Gulev, S. K., Emanuel, K., Hodges, K. (2022). Poleward expansion of tropical cyclone latitudes in warming climates. *Nature Geoscience*, 15(1), 14–28.

Stults, M. (2017). Integrating climate change into hazard mitigation planning: Opportunities and examples in practice. *Climate Risk Management*, 17, 21-34.

Sullivan, J. (2023, February 28). One is bad enough: Climate change raises the threat of multiple hurricanes. *Princeton University, Andlinger Center for Energy and the Environment*. <https://acee.princeton.edu/acee-news/one-is-bad-enough-climate-change-raises-the-threat-of-multiple-hurricanes/>

Terry, J., Al Ruheili, A., Boldi, R., Gienko, G., Stahl, H. (2022). Cyclone Shaheen: the exceptional tropical cyclone of October 2021 in the Gulf of Oman. *Weather*, 77(4), 99-105. <https://doi.org/10.1002/wea.4193>

The World Bank Group. (2007). Restoring China's Loess Plateau. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2007/03/15/restoring-chinas-loess-plateau>

Times News Service. (2023). Oman's early warning system helps in minimizing damages. *Times of Oman*. <https://timesofoman.com/article/137689-omans-early-warning-system-helps-in-minimising-damages>

Trogrić, R., van den Homberg, M., Budimir, M., McQuistan, C., Sneddon, Golding, B. (2022). Early warning systems and their role in disaster risk reduction. In B. Golding (Ed.), Towards the "perfect" weather warning (pp. 11–46). *Springer*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98989-7_2

Tulane University. (2021). What is disaster management? Understanding emergencies from prevention to mitigation. <https://publichealth.tulane.edu/blog/what-is-disaster-management/>

University of Central Florida. (2024). The disaster management cycle: 5 key stages & how leaders can help prepare. <https://www.ucf.edu/online/leadership-management/news/the-disaster-management-cycle/#:~:text=Emergency%20management%2C%20also%20referred%20to,which%20comprises%20five%20crucial%20stages>

- Vernick, D. (2024). Is climate change increasing the risk of disasters? Facts about floods, fires, hurricanes, and tornadoes. *World Wildlife Fund*. <https://www.world-wildlife.org/stories/is-climate-change-increasing-the-risk-of-disasters>
- Waddell, S. L., Jayaweera, D. T., Mirsaeidi, M., Beier, J. C., Kumar, N. (2021). Perspectives on the health effects of hurricanes: A review and challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2756. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052756>
- Walsh, K. J., McBride, J. L., Klotzbach, P. J., Balachandran, S., Camargo, S. J., Holland, G., Sugi, M. (2016). Tropical cyclones and climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(1), 65-89.
- Wang, K., Yang, Y., Reniers, G., Huang, Q. (2021). A study into the spatiotemporal distribution of typhoon storm surge disasters in China. *Natural Hazards*, 108, 1237-1256.
- Wang, P., Yang, Y., Xue, D., Qu, Y., Tang, J., Leung, L. R., Liao, H. (2023). Increasing compound hazards of tropical cyclones and heatwaves over southeastern coast of China under climate warming. *Journal of Climate*, 36(7), 2243-2257.
- Wendler-Bosco, V., & Nicholson, C. (2022). Modeling the economic impact of incoming tropical cyclones using machine learning. *Natural Hazards*, 110(1), 487-518.
- World Health Organization. (2024). Tropical cyclones. *WHO*. https://www.who.int/health-topics/tropical-cyclones#tab=tab_1
- World Meteorological Organization (WMO). (2021). Weather-related disasters increase over past 50 years, causing more damage but fewer deaths. <https://wmo.int/media/news/weather-related-disasters-increase-over-past-50-years-causing-more-damage-fewer-deaths>
- World Meteorological Organization. (2024, March 19). Climate change indicators reached record levels in 2023: WMO. <https://wmo.int/news/media-centre/climate-change-indicators-reached-record-levels-2023-wmo>
- World Meteorological Organization. (2024). Tropical cyclone. <https://wmo.int/topics/tropical-cyclone>
- Young, R., Hsiang, S. (2024). Mortality caused by tropical cyclones in the United States. *Nature*, 1-8.
- Yuhan, J., Wang, D. C., Canada, A., Schwartz, J. (2021). Growth after trauma: The role of self-compassion following Hurricane Harvey. *Trauma Care*, 1, 119-129. <https://doi.org/10.3390/traumacare1020011>
- Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.), Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1513–1766). *Cambridge University Press*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-11/>

Zhang, C., Yin, K., Shi, X., & Yan, X. (2021). Risk assessment for typhoon storm surges using geospatial techniques for the coastal areas of Guangdong, China. *Ocean & Coastal Management*, 213, 105880.

APPENDIX






LIST OF ABBREVIATIONS

GIS	Geographic Information Systems
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
GCC	Gulf Cooperation Council
IFRC	International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies
IRC	International Rescue Committee
WFP	UN World Food Program
UNDP	United Nations Development Program
WHO	World Health Organization
WMO	World Meteorological Organization

Tipo de artículo: Análisis

Desafíos y oportunidades para la popularización de la Ciencia Verde en Latinoamérica y el Caribe.

Challenges and opportunities for the popularization of Green Science in Latin America and the Caribbean.

 Mary Luz Ojeda Solarte¹,  José Gabriel Pérez Canencio²,  Jorge Enrique Guevara Bejarano³,  Christian Andrés Cuero Gamboa⁴,  Miguel Ángel Pérez Ojeda⁵,

1. Ingeniera de Sistemas, Docente Universitario. Unidad Central del Valle del Cauca. Tuluá. Colombia. mojeda@uceva.edu.co
2. Ingeniero de Sistemas, Docente Universitario. Unidad Central del Valle del Cauca. Tuluá. Colombia. jperez@uceva.edu.co
3. Biólogo, Docente Universitario. Unidad Central del Valle del Cauca. Tuluá. Colombia. jguevara@uceva.edu.co
4. Licenciado en Educación Básica con Énfasis en Lenguas Extranjeras, Docente Universitario. Unidad Central del Valle del Cauca. Tuluá. Colombia. ccuero@uceva.edu.co
5. Ingeniero Biomédico (tesista). Universidad Autónoma de Occidente. Cali. Colombia. Miguel.angel.perez@uao.edu.co

RESUMEN

La región de Latinoamérica y el Caribe, con su rica biodiversidad, enfrenta el reto de integrar la Ciencia Verde en los currículos educativos y en las políticas públicas, en un contexto marcado por desafíos socioeconómicos y falta de recursos. A pesar de la creciente conciencia sobre la crisis climática, la educación ambiental sigue siendo insuficiente, limitando la formación de ciudadanos comprometidos con la sostenibilidad.

Este artículo presenta algunos desafíos en la popularización de la Ciencia Verde, incluyendo la falta de integración curricular, la capacitación docente, el acceso desigual a recursos educativos, el compromiso político y las brechas culturales. Se propone que la transformación digital, a través de tecnologías de cuarta y quinta generación, ofrece oportunidades para superar estas barreras. Herramientas como la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas y plataformas digitales pueden facilitar la formación docente, democratizar el acceso a materiales educativos y promover la participación ciudadana en la formulación de políticas ambientales.

Asimismo, se enfatiza la importancia de inculcar una conciencia ambiental desde la niñez, permitiendo a las nuevas generaciones convertirse en agentes de cambio en sus comunidades.

Al integrar estos enfoques, se busca empoderar a las comunidades para que tomen decisiones informadas sobre la conservación y el desarrollo sostenible, promoviendo un futuro más resiliente y comprometido con la protección del planeta

Palabras clave: Ciencia verde, Sostenibilidad ambiental, Participación ciudadana, Medio ambiente, Conciencia ambiental, Educación ambiental.

Citar como: Ojeda Solarte, M. L., Pérez Canencio, J. G., Guevara Bejarano, J. E., Cuero Gamboa, C. A., & Pérez Ojeda, M. A. (2024). Desafíos y oportunidades para la popularización de la Ciencia Verde en Latinoamérica y el Caribe. *Journal Boliviano De Ciencias*, 20(56). 81-93 <https://doi.org/10.52428/20758944.v20i56.1210>

Revisado: 29/01/2024

Aceptado: 14/05/2024

Publicado: 30/06/2024

Declaración: Derechos de autor 2024 Sierra Martínez, N., & Angulo, N., Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.



ABSTRACT

The Latin American and Caribbean region, with its rich biodiversity, faces the challenge of integrating Green Science into educational curricula and public policies, in a context marked by socioeconomic challenges and lack of resources. Despite growing awareness of the climate crisis, environmental education remains insufficient, limiting the formation of citizens committed to sustainability.

This article presents some challenges in the popularization of Green Science, including lack of curriculum integration, teacher training, unequal access to educational resources, political commitment, and cultural gaps. It is proposed that digital transformation, through fourth and fifth generation technologies, offers opportunities to overcome these barriers. Tools such as artificial intelligence, the Internet of Things and digital platforms can facilitate teacher training, democratize access to educational materials and promote citizen participation in the formulation of environmental policies.

It also emphasizes the importance of instilling environmental awareness from childhood, enabling new generations to become agents of change in their communities.

By integrating these approaches, we seek to empower communities to make informed decisions about conservation and sustainable development, promoting a more resilient future committed to protecting the planet.

Keywords: Green science. Sustainability. Citizen participation. Environment. Environmental awareness.

1. INTRODUCCIÓN

La región de Latinoamérica y el Caribe alberga una biodiversidad excepcional, que representa una oportunidad única para liderar esfuerzos de conservación y desarrollo sostenible. Sin embargo, esta riqueza natural contrasta con los desafíos socioambientales que enfrentan muchos de sus países. En algunos de los documentos de Globalización y Desarrollo publicados por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) desde hace ya dos décadas se ha mostrado cómo el continente ha sido asediado por la explotación de los recursos naturales, por la exportación de los mismos y en especial por la entrada de inversión extranjera que solo ha servido para “acumular presiones que amenazan los procesos productivos y aumentan su vulnerabilidad ambiental” (CEPAL, 2002).

Veinte años después, el panorama cambia un poco de matices pero sigue preocupando a organizaciones como el Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible (UNSDG, por sus siglas en inglés), que en su estudio del año 2018 encuentra cifras y situaciones relacionadas con cambio climático, desarrollo sostenible, educación, economía, biodiversidad y otros de vital importancia para el devenir de los pueblos latinoamericanos y caribeños que los conduce a publicar el documento *Desafíos y Estrategias para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe* como resultado de la reunión realizada en Panamá. (UNSDG - Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, 2018)

En el apartado referente a las Esferas y Ejes Estratégicos de Política Pública, el documento resume la dirección estratégica de la respuesta del UNSDG ante los

desafíos y propuestas identificados en América Latina y el Caribe para “apoyar la articulación de las políticas públicas que mejor conduzcan a una implementación eficiente y efectiva de la Agenda 2030”, siendo un eje fuerte de este compromiso la calidad, la equidad y la inclusión como premisas para la educación del siglo XXI, la protección de los recursos naturales, la investigación aplicada para el desarrollo de economías verdes e innovadoras, entre otros. (UNSDG - Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, 2018).

Con respecto al compromiso de la investigación aplicada para el desarrollo de economías verdes e innovadoras, es preciso mencionar el término “Ciencia Verde” haciendo referencia a las ciencias aplicadas a la sostenibilidad, el medio ambiente y la conservación de los recursos naturales. Esta disciplina engloba una variedad de enfoques científicos y tecnológicos cuyo objetivo es mitigar el impacto ambiental de las actividades humanas. Se relaciona con áreas como la biotecnología verde, la ingeniería ambiental, las energías renovables y la agricultura.

El concepto de “Ciencia Verde” también está asociado con la creación de soluciones innovadoras que promueven un equilibrio entre el progreso humano y la preservación del planeta, a menudo utilizando conocimientos de biología, química, ingeniería y física. Varias definiciones de Ciencia Verde podemos encontrar y son relativas a los conceptos ya mencionados, por ejemplo, en (Isan, 2018), La ciencia verde es un enfoque científico y tecnológico que busca desarrollar soluciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Su objetivo es promover el desarrollo de tecnologías y prácticas que reduzcan el impacto negativo de la humanidad en el planeta y fomenten un futuro más limpio y verde.

A pesar de la creciente conciencia global sobre la crisis climática y la urgencia de implementar políticas de sostenibilidad, la integración de la Ciencia Verde en los currículos educativos y en las agendas políticas sigue siendo insuficiente. Esto dificulta el desarrollo de una ciudadanía informada y comprometida con la protección del medio ambiente.

En este contexto, la transformación digital emerge como una herramienta clave para superar estas barreras y fomentar la alfabetización científica en la región. Tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT) y la analítica de datos tienen el potencial de revolucionar la gestión ambiental, facilitar la educación en temas de sostenibilidad y empoderar a las comunidades para tomar decisiones informadas. Además, el fortalecimiento de la bioeconomía, el ecoturismo y la ciencia ciudadana ofrece caminos viables para armonizar el desarrollo económico con la conservación de la biodiversidad, especialmente en áreas rurales y comunidades vulnerables.

Cabe mencionar dos aspectos muy importantes para aclarar los términos educación ambiental y educación para la sostenibilidad. De acuerdo con (UNESCO, 2019) la educación ambiental se centra en la conciencia y comprensión del medio ambiente, promoviendo la protección y conservación de los recursos naturales. Se enfoca en educar sobre los problemas ambientales y cómo los individuos pueden contribuir a su resolución.

Por otro lado, la educación para la sostenibilidad va más allá de la protección del medio ambiente. Incluye conceptos de desarrollo sostenible, como la equidad social, la economía y la sostenibilidad ambiental. Busca fomentar habilidades y

actitudes que permitan a las personas tomar decisiones informadas y responsables que beneficien tanto a la sociedad como al planeta.

Este artículo explora los desafíos y oportunidades para la popularización de la Ciencia Verde en Latinoamérica y el Caribe, destacando el papel de la tecnología, la educación y la participación comunitaria en la construcción de un futuro más sostenible. A partir de un análisis crítico, se proponen estrategias para fortalecer la educación ambiental y promover prácticas sostenibles que impulsen una transición hacia economías verdes y resilientes en la región.

2. DESARROLLO

Desafíos actuales en la educación y Popularización de la Ciencia Verde.

2.1 Reto: Integración de la Ciencia Verde en los Currículos.

Al revisar la publicación del año 2022 del trabajo realizado por la UNESCO (UNESCO, 2022) en el cual se propuso hacer una “revisión mundial de cómo los temas relacionados con el medio ambiente están integrados con la educación”; tanto los hallazgos como las recomendaciones finales, especialmente en el estudio del componente No. 1: “un análisis sistemático de planes del sector educativo y marcos curriculares nacionales”, vemos que presentan una continua preocupación por las deficiencias evidenciadas en la escasa preparación en temas ambientales que se está impartiendo en las escuelas, temas que como ya se ha mencionado están incluidas en los conceptos de Ciencia Verde.

Este hecho nos conduce a tratar como uno de los desafíos en la educación ambiental en América Latina y el Caribe a la integración de la Ciencia Verde en los currículos. La falta de un enfoque sistemático que abarque la sostenibilidad y las prácticas ecológicas dentro de la estructura educativa es mostrada en el libro (UNESCO, 2022), lo que dificulta la formación de ciudadanos conscientes y comprometidos con el medio ambiente. Los currículos revisados presentan limitaciones en cuanto a la inclusión de temática consideradas como Ciencia Verde, que puede ser debido a la rigidez institucional y/o la falta de capacitación docente en estas áreas emergentes. Esta situación limita el desarrollo de competencias ambientales necesarias para enfrentar los retos globales del cambio climático y la pérdida de biodiversidad en los estudiantes.

Un reto clave, especialmente en los países incluidos en el estudio de UNESCO, es alinear los objetivos de sostenibilidad y los programas educativos de la escuela. Según la UNESCO, es esencial transformar los currículos para que aborden de manera efectiva los problemas ambientales globales y locales, como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, integrando la educación para el desarrollo sostenible (UNESCO, 2024)

Para superar este reto, es necesario, entre otras actividades, desarrollar materiales educativos específicos, promover plataformas de aprendizaje accesibles y establecer colaboraciones internacionales, como lo sugiere el Programa GEM de la UNESCO, que fomenta alianzas para compartir buenas prácticas y recursos educativos en diferentes regiones del mundo (UNESCO, 2024).

Es preciso mencionar que desde el año 2015 McKenzie ya había publicado un libro en el cual se ofrece una visión sobre cómo integrar la sostenibilidad en la educación y los desafíos que enfrenta “Educating for Sustainability: Principles and Practices for Teachers” por Stephen B. McKenzie. (Nolet, V. 2015)

Algunas oportunidades de solución para este reto aplicando tecnologías son:

Desarrollo de Materiales Educativos Modulares: Crear módulos educativos con temas de Ciencia Verde que sean fácilmente integrables en los currículos existentes a diferentes niveles educativos, desde primaria hasta educación superior. Estos módulos pueden incluir contenidos interactivos, como videos, simulaciones y actividades prácticas relacionadas con problemas ambientales locales y globales, tal como se discute en el artículo “cómo la educación puede enfrentar los desafíos del cambio climático, mencionando la necesidad de un currículo más inclusivo”: “The Role of Education in the Response to Climate Change”, y en el informe: “Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives” que aborda la discusión acerca de cómo los currículos deben adaptarse para incluir competencias en sostenibilidad, publicado por UNESCO en el año 2019.

Plataformas Digitales de Aprendizaje: Implementar plataformas digitales que permitan el acceso gratuito a recursos educativos sobre Ciencia Verde. Estas plataformas pueden incluir cursos en línea, guías para docentes y estudiantes y recursos multimedia que faciliten la enseñanza y el aprendizaje sobre sostenibilidad. En el documento “Barriers to Integrating Environmental Education in Teacher Education Programs”: se analizan las limitaciones en la formación docente respecto a temas de sostenibilidad, tema que es de gran importancia para fortalecer el rol del profesor como constructor de material y recursos educativos digitales, y en el documento “role of quality education for sustainable development goals (SDGs)”, se destaca la importancia de capacitar a los docentes en temas ambientales. (Nazar, R. *et al.*, 2018)

Colaboraciones Internacionales: Fomentar asociaciones entre instituciones educativas, ONGs y organizaciones internacionales para compartir buenas prácticas y recursos educativos, asegurando una implementación efectiva y contextualizada en diferentes regiones. (Hernández S. *et al.*, 2024)

Inteligencia Artificial (IA) para Currículos Personalizados: Utilizar algoritmos de IA para diseñar currículos personalizados que se adapten a las necesidades de cada estudiante. La IA puede analizar el rendimiento y los intereses de cada alumno para recomendar contenidos educativos específicos sobre sostenibilidad y Ciencia Verde.

Plataformas de E-learning Basadas en IA: Implementar plataformas de e-learning que usen IA para proporcionar retroalimentación inmediata y recursos educativos adaptativos. Estas plataformas pueden incluir simulaciones interactivas y estudios de caso virtuales que ayuden a los estudiantes a comprender la importancia de la Ciencia Verde.

Realidad Aumentada (AR) y Realidad Virtual (VR): Utilizar tecnologías de AR y VR para crear experiencias inmersivas que permitan a los estudiantes explorar ecosistemas virtuales, comprender el impacto de la degradación ambiental y aprender sobre prácticas sostenibles de manera interactiva.

Un sistema de aprendizaje basado en IA podría recomendar módulos específicos sobre energías renovables a estudiantes interesados en ingeniería, mientras que a aquellos enfocados en biología les podría sugerir contenidos sobre conservación de especies.

2.2 Reto: Formación y Capacitación de Docentes.

A pesar de la creciente conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad y la protección de la biodiversidad, muchos educadores aún carecen de las herramientas, conocimientos y enfoques pedagógicos necesarios para integrar estos temas en el aula de manera efectiva.

La falta de formación en temas ecológicos comprendidos en la Ciencia Verde puede resultar en una enseñanza superficial o desactualizada, lo que dificulta que los estudiantes comprendan la complejidad de los desafíos ambientales que enfrenta la región, como la deforestación, la pérdida de biodiversidad y el cambio climático, además, la escasez de recursos didácticos y la capacitación continua limitada agravan esta situación, impidiendo que los docentes se mantengan al día con los avances científicos y las prácticas sostenibles. Este tema es abordado por (Aggarwal, 2023) en cuyo artículo subraya que la educación ecológica es esencial para comprender los retos medioambientales, promover la concienciación, el cambio de comportamiento y una perspectiva sistémica, lo que permite a las personas comprender la complejidad de cuestiones como el cambio climático y el agotamiento de los recursos, vitales para proporcionar conocimientos específicos.

Para abordar este desafío, es importante desarrollar programas de formación robustos que no solo equipen a los docentes con el conocimiento técnico necesario, sino que también fomenten metodologías activas de enseñanza que involucren a los estudiantes en el aprendizaje práctico y la investigación. Asimismo, se deben promover redes de colaboración entre educadores y expertos en ciencia ambiental, facilitando el intercambio de experiencias y buenas prácticas.

Al fortalecer la formación docente en Ciencia Verde, se potenciará la capacidad de los educadores para inspirar a la próxima generación a valorar y proteger su entorno natural, convirtiendo a las aulas en espacios de innovación y conciencia ecológica

Algunas oportunidades de solución para este reto aplicando tecnologías son:

Inteligencia Artificial para Análisis de Necesidades Formativas: Utilizar IA para analizar datos de desempeño y autoevaluaciones de docentes, identificando áreas donde se requiere más capacitación en temas de Ciencia Verde y sostenibilidad.

IoT para Formación Práctica a Distancia: Emplear dispositivos IoT, como sensores ambientales y estaciones meteorológicas conectadas, para que los docentes puedan realizar prácticas a distancia, monitoreando en tiempo real variables ambientales desde cualquier parte del mundo.

Aprendizaje Automatizado (Machine Learning) para Programas de Capacitación Adaptativos: Utilizar aprendizaje automatizado para desarrollar programas de capacitación adaptativos, que evolucionen según los avances científicos y tecnológicos en sostenibilidad y Ciencia Verde, manteniendo a los docentes actualizados con los últimos conocimientos y habilidades.

Una plataforma de capacitación en línea podría usar IA para recomendar cursos específicos sobre gestión de residuos y otros temas ambientales según las brechas de conocimiento detectadas en los docentes, ofreciendo recursos educativos personalizados y relevantes.

2.3 Reto: Acceso y Distribución de Recursos Educativos.

A pesar de la existencia de materiales educativos valiosos sobre sostenibilidad y biodiversidad, su disponibilidad y distribución desigual limitan la capacidad de muchos docentes y estudiantes para aprovecharlos, lo cual se puede expresar como las barreras para la educación, tal como lo expresan (Shanthi K. *et al.*, 2024).

En muchas regiones, especialmente en áreas rurales y menos favorecidas, según lo explican (Jingxian Wang, Dineke E.H. Tigelaar, Wilfried A, 2019). las escuelas enfrentan barreras significativas para acceder a recursos didácticos actualizados, como libros, guías de enseñanza, herramientas tecnológicas y plataformas en línea. Esto no solo crea una brecha en el aprendizaje, sino que también impide que los educadores implementen enfoques innovadores en sus clases.

Además, la calidad de los recursos educativos puede variar considerablemente. Muchos materiales no están contextualizados para la realidad local, lo que dificulta su aplicación práctica y su relevancia para los estudiantes. La falta de capacitación sobre cómo utilizar estos recursos de manera efectiva también puede limitar su impacto.

Para superar este desafío, es esencial establecer redes de colaboración entre instituciones educativas, organizaciones no gubernamentales y gobiernos que faciliten el intercambio y la distribución equitativa de recursos. Además, es importante desarrollar materiales educativos que reflejen la diversidad ecológica y

cultural de la región, garantizando que sean accesibles y relevantes para todos los contextos, entre otras soluciones

Algunas oportunidades de solución para este reto aplicando tecnologías son:

IoT para la Distribución Inteligente de Recursos: (Becerra, L. Y.2020). Implementar redes de IoT para gestionar y distribuir de manera eficiente los recursos educativos. Dispositivos IoT pueden monitorear la disponibilidad de materiales en diferentes regiones y facilitar la logística para enviar recursos físicos donde más se necesiten.

Blockchain para la Gestión de Recursos Educativos: Utilizar blockchain para crear un sistema transparente de gestión y distribución de recursos educativos. Esto permite rastrear donaciones, gestionar inventarios y asegurar que los recursos lleguen a las comunidades más necesitadas de manera eficiente.

Análítica de Datos para la Identificación de Necesidades Educativas: Emplear analítica de datos para analizar patrones de uso y demanda de recursos educativos en diferentes regiones. Esto permite priorizar la distribución y desarrollo de contenidos en áreas con mayores carencias.

Un sistema IoT integrado con blockchain (Vanegas, W.J. *et al.*, 2022.) puede monitorear y gestionar la distribución de kits educativos sobre Ciencia Verde en escuelas rurales, asegurando transparencia y eficiencia en la entrega.

2.4 Reto: Conciencia y Compromiso Político.

La conciencia y el compromiso político representan uno de los grandes desafíos para la promoción de la Ciencia Verde en Latinoamérica y el Caribe. A pesar de la creciente preocupación por los problemas ambientales, como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, muchas decisiones políticas aún no reflejan la urgencia de estas cuestiones.

Esto puede deberse a la falta de comprensión profunda sobre la interconexión entre la salud ambiental y el bienestar social y económico o a la limitada participación de la comunidad educativa y científica en la formulación de políticas ambientales. Además, el desinterés o la falta de información sobre la importancia de la sostenibilidad en los procesos de toma de decisiones pueden llevar a la priorización de intereses económicos a corto plazo sobre estrategias de conservación a largo plazo que podrán resultar muy eficaces.

Para abordar este desafío, es fundamental fomentar una mayor conciencia y educación política entre educadores, estudiantes y comunidades. Esto incluye capacitar a los actores educativos para que comprendan cómo influir en la política ambiental y cómo abogar por prácticas sostenibles. La creación de espacios de diálogo entre la comunidad educativa, los responsables políticos y la sociedad civil es esencial para generar un compromiso conjunto en torno a la Ciencia Verde.

Asimismo, promover la investigación que evidencie los beneficios de la conservación y la sostenibilidad puede ayudar a impulsar políticas más efectivas. Iniciativas que integren la ciencia y la política, como proyectos de ciencia ciudadana, pueden ser herramientas valiosas para empoderar a la comunidad y generar un impacto real en la formulación de políticas.

Algunas oportunidades de solución para este reto aplicando tecnologías son:

Analítica de Datos para la Evaluación de Políticas: Utilizar analítica de datos para evaluar el impacto de políticas educativas y ambientales. Los datos recolectados a través de encuestas y análisis de comportamiento pueden ayudar a ajustar estrategias políticas y mejorar la implementación de programas educativos sobre Ciencia Verde.

IA para Modelado Predictivo: Implementar IA para modelar escenarios futuros basados en diferentes políticas ambientales. Estos modelos pueden ayudar a los responsables de políticas a entender los posibles resultados de sus decisiones y a comunicar mejor los beneficios de la educación en sostenibilidad.

Blockchain para la Transparencia y la Participación Ciudadana: Usar blockchain para crear plataformas de votación y participación ciudadana en la formulación de políticas educativas y ambientales, garantizando transparencia y confianza en el proceso.

Un sistema de análisis predictivo basado en IA puede ayudar a modelar el impacto a largo plazo de integrar la educación ambiental en los currículos nacionales, mostrando a los políticos los beneficios de estas políticas en términos de reducción de emisiones de carbono y mejora de la biodiversidad.

2.5 Reto: Brechas Culturales.

La diversidad cultural de la región, que incluye una rica variedad de cosmovisiones, tradiciones y prácticas, a menudo se encuentra en tensión con los enfoques científicos occidentales predominantes. Esta discrepancia puede dificultar la aceptación y la integración de conceptos de sostenibilidad y conservación en las comunidades.

Las diferencias en la percepción de la naturaleza, el medio ambiente y la biodiversidad pueden llevar a una falta de interés o resistencia hacia las iniciativas de Ciencia Verde. (Mach, K., J., 2019).

Muchas comunidades indígenas y rurales, por ejemplo, poseen conocimientos ancestrales y prácticas sostenibles que no siempre son reconocidos o valorados por los modelos educativos formales. Esta desconexión puede generar desconfianza hacia las políticas ambientales y los esfuerzos de conservación, así como una subestimación de la importancia de la ciencia en la resolución de problemas locales (Kato, D.S. & Pedraza-J, Y. 2021).

Para abordar este desafío, es fundamental fomentar un diálogo intercultural que reconozca y valore el conocimiento tradicional y científico. Incluir a las comunidades en la co creación de programas educativos y proyectos de investigación puede ayudar a construir puentes entre diferentes saberes y fortalecer el compromiso comunitario hacia la Ciencia Verde.

Además, resulta vital desarrollar materiales educativos que sean culturalmente relevantes y que reflejen las realidades y necesidades de las diversas comunidades de la región. Esto no solo facilitará el aprendizaje, sino que también promoverá una mayor identificación con los temas de sostenibilidad.

Al abordar las brechas culturales en la educación sobre Ciencia Verde, se puede fomentar un enfoque más inclusivo y participativo, que empodere a las comunidades

a tomar decisiones informadas sobre la conservación de su entorno, reconociendo al mismo tiempo la riqueza de su diversidad cultural.

Algunas oportunidades de solución para este reto aplicando tecnologías son:

IA para Análisis de Sentimientos y Compresión Cultural: Usar IA para analizar textos, redes sociales y entrevistas, identificando percepciones y actitudes hacia el cambio climático y la sostenibilidad en diferentes comunidades. Esto puede ayudar a adaptar los mensajes y programas educativos para que sean culturalmente sensibles y efectivos.

Aplicaciones Móviles Bilingües e Interculturales: Desarrollar aplicaciones móviles que ofrezcan contenidos educativos en varios idiomas y que incorporen conocimientos tradicionales junto con información científica. Estas aplicaciones pueden facilitar la educación ambiental en comunidades con diversidad cultural y lingüística.

Plataformas de Diálogo Virtual: Crear plataformas virtuales para el diálogo intercultural, donde se puedan compartir perspectivas y conocimientos tradicionales sobre sostenibilidad y prácticas ambientales. Estas plataformas pueden integrar IA para moderar discusiones y facilitar la traducción en tiempo real.

Una aplicación móvil bilingüe puede enseñar prácticas de conservación del agua en un contexto local, integrando conocimiento científico con tradiciones culturales sobre el manejo del agua. (Zambrano M. *et al.*, 2020; Almanza, G. A. H., 2021).

3. DISCUSIÓN

La popularización de temáticas de Ciencia Verde en América Latina y el Caribe es una estrategia fundamental para promover la sostenibilidad y la conciencia ambiental ciudadana a partir de los currículos. Sin embargo, esta tarea enfrenta múltiples desafíos que deben abordarse de manera integral, considerando también el papel transformador de las tecnologías de cuarta y quinta generación.

Cuando los educadores carecen de conocimientos específicos sobre sostenibilidad se limita su capacidad para enseñar estos conceptos de manera efectiva. Aquí es donde las tecnologías de cuarta generación, como las plataformas de aprendizaje en línea y los recursos educativos digitales, pueden jugar un papel fundamental. Estas herramientas permiten el acceso a cursos de formación continua, seminarios web y materiales modernos, facilitando la actualización constante de los educadores. Además, la inteligencia artificial (IA) puede personalizar la capacitación, adaptando el contenido a las necesidades individuales de los docentes.

Para facilitar el acceso y la distribución equitativa de recursos educativos para la enseñanza de la Ciencia Verde se hace importante la utilización de la tecnología. Las tecnologías de quinta generación, que incluyen soluciones de conectividad avanzada y redes 5G, ofrecen oportunidades sin precedentes para mejorar el acceso a materiales educativos, incluso en áreas remotas. Estas tecnologías permiten la transmisión de contenido multimedia de alta calidad y la implementación de plataformas interactivas que fomentan el aprendizaje activo.

La creación de redes colaborativas que utilicen estas tecnologías puede facilitar la distribución de recursos contextualizados, empoderando a las comunidades para involucrarse en la sostenibilidad.

Adicionalmente, las tecnologías de cuarta y quinta generación pueden ayudar a amplificar la voz de la comunidad educativa en la formulación de políticas ambientales. Por ejemplo, plataformas de participación ciudadana y aplicaciones móviles pueden facilitar la recolección de datos y opiniones de las comunidades, permitiendo que estas sean escuchadas en la toma de decisiones. Además, la analítica de datos puede proporcionar evidencia contundente sobre la importancia de la educación ambiental, apoyando la creación de políticas más efectivas.

Las brechas culturales son un desafío significativo al integrar la Ciencia Verde en los currículos. La diversidad cultural de la región puede beneficiarse de las tecnologías digitales, que permiten la creación de contenidos educativos inclusivos y accesibles en múltiples idiomas y formatos.

Además, las plataformas de aprendizaje en línea pueden facilitar el intercambio de conocimientos entre comunidades, integrando perspectivas locales y ancestrales con enfoques científicos contemporáneos. Esta interacción puede enriquecer el currículo y fomentar una mayor identificación y compromiso de los estudiantes con los temas de sostenibilidad.

4. CONCLUSIONES

La integración de la Ciencia Verde en los currículos educativos de Latinoamérica y el Caribe es un proceso complejo que requiere abordar múltiples desafíos de manera interconectada. La formación docente, el acceso a recursos, el compromiso político y el reconocimiento de la diversidad cultural son elementos fundamentales para crear un sistema educativo que fomente la conciencia y acción ambiental. Al enfrentar estos desafíos, no solo se puede fortalecer la educación sobre sostenibilidad, sino que también se logra empoderar a las nuevas generaciones para enfrentar los problemas ambientales de manera colaborativa.

Al integrar la Ciencia Verde en los currículos escolares para las etapas tempranas, tal como lo sugiere UNESCO, se promueve una relación positiva entre los niños y su entorno, empoderándolos para convertirse en agentes de cambio en sus comunidades. Educar a los más jóvenes sobre la importancia de cuidar el planeta no solo fomenta un sentido de responsabilidad, sino que también contribuye a la construcción de sociedades más resilientes y comprometidas con la sostenibilidad. Inculcar una conciencia ambiental desde la niñez es fundamental para garantizar un futuro sostenible. Los primeros años de vida son cruciales para el desarrollo de valores y actitudes hacia el cuidado del medio ambiente y la protección de la biodiversidad.

El uso adecuado de las tecnologías de cuarta y quinta generación es esencial para acercar a las comunidades al conocimiento de la Ciencia Verde. Estas herramientas digitales no solo facilitan el acceso a información relevante y actualizada, sino que también permiten la creación de espacios interactivos para el aprendizaje. A través de plataformas en línea y aplicaciones móviles, las comunidades pueden participar activamente en proyectos de conservación, compartir conocimientos locales y colaborar en iniciativas de sostenibilidad.

Al aprovechar el potencial de la tecnología, se pueden democratizar los conocimientos sobre la Ciencia Verde, empoderando a las comunidades para que tomen decisiones informadas y efectivas en la protección de su entorno.

5. REFERENCIAS

- Avelar, A.B.A., da Silva Oliveira, K.D. & Farina, M.C. (2023). The integration of the Sustainable Development Goals into curricula, research and partnerships in higher education. *Int Rev Educ* 69, 299–325. <https://doi.org/10.1007/s11159-023-10013-1>
- Nolet, V. (2015). *Educating for Sustainability: Principles and Practices for Teachers* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315867052>
- Sono Hernández, J., Neyra López, C., Rosas Lezama, R., & Lema Martínez, Y. (2024). Educación ciudadana para la sostenibilidad ambiental: recomendaciones de política en el marco del Proyecto Educativo Nacional al 2036. Quito: *Ministerio de Educación del Perú*. <https://hdl.handle.net/20.500.12799/10354>
- UNESCO (2024). “Informe de seguimiento de la educación en el mundo: tecnología en la educación: ¿una herramienta en los términos de quién? Paris: UNESCO, 2024. <https://doi.org/10.54676/NEDS2300>.
- Nazar, R., Chaudhry, I. S., Ali, S., & Faheem, M. (2018). Role of Quality Education for Sustainable Development Goals (SDGS). *PEOPLE: International Journal of Social Sciences*, 4(2), 486-501. DOI: <https://doi.org/10.20319/pijss.2018.42.486501>
- Shanthi K., Prabha D, Sapna Y., Pallavi P. A., Surya R., Mohd S.A. (2024). Comprender las barreras a la educación ambiental en los países en desarrollo. *Revista electrónica internacional de educación ambiental*. Volume 14(1). <https://doi.org/10.52783/iejee.v14.102>
- Jingxian Wang, Dineke E.H. Tigelaar, Wilfried A, (2019). Connecting rural schools to quality education: Rural teachers’ use of digital educational resources, *Computers in Human Behavior*, Volume 101, 68-76, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.07.009>
- .Vanegas, Witt Jay, Rodelo M., Milys K., Soto M. J. (2022). *Amauta*. Blockchain, tecnología en la gestión educativa. Volume 20 (39). 99 – 109. ISSN-e 1794-5658
- Becerra, L. Y.(2020).Tecnologías de la información y las Comunicaciones en la era de la cuarta revolución industrial: Tendencias Tecnológicas y desafíos en la educación en Ingeniería. *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol.14, (28), p.76-81. <https://doi.org/10.31908/19098367.2057>.
- Kato, Danilo Seithi & Pedraza-J, Y (2021). Educación ambiental desde culturas y territorios en conflictos socioambientales en América Latina. *Prax. Saber*. volume.12, (28), 1-8. <https://doi.org/10.19053/22160159.v12.n28.2021.12607>.
- Zambrano Medina, Melba R, Alvarez A. W.O., Najar S, O. (2020). Empleo de herramientas TIC como posibilidad didáctica para fortalecer la educación ambiental y el cuidado del medio ambiente. *Espacios*. Volume 41 (13).
- Almanza, G. A. H. (2021). Metodología TIC en la enseñanza de educación ambiental para el desarrollo sostenible. *Educación y Ciudad*, (40), 129-146. <https://doi.org/10.36737/01230425.n40.2021.2461>

CEPAL. (2002). Gran potencial para solucionar problemas ambientales. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/comunicados/gran-potencial-solucionar-problemas-ambientales>

UNSDG - Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible. (2018). Obtenido de Desafíos y Estrategias para el Desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe: <https://unsdg.un.org/sites/default/files/Desaf%C3%ADos-y-Estrategias-para-el-Desarrollo-sostenible-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Isan, A. (18 de Enero de 2018). *Ecología Verde*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-quimica-verde-definicion-principios-y-ejemplos-360.html>


UNESCO. (2022). Aprender por el planeta: revisión mundial de cómo los temas relacionados con el medio ambiente están integrados en la educación. París: UNESCO. ISBN: 978-92-3-300174-9

Aggarwal, D. (2023). Green Education for a Sustainable Future. *Journal of environmental Impact and Management Policy*. vol 3 (4). 27 - 30. <https://doi.org/10.55529/jcimp.34.27.30>

Tipo de artículo: Ingeniería Aplicada

Prototipo del Sistema de Llamada Selectiva (SELCAL)

Prototype of the Selective Calling System (SELCAL)

 William Jaldin Corrales¹, Joel Kevin Pacocillo Casa²

1. Docente.Universidad del Valle.Cochabamba. Bolivia. wjaldinc@univalle.edu
2. Estudiante.Universidad del Valle.Cochabamba. Bolivia. pcj0026380@est.univalle.edu

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el modelamiento de hardware del sistema de comunicación SELCAL correspondiente al ATA 23 del sistema de comunicaciones de la aeronave, presente en todas las aeronaves. Este sistema tiene como propósito discriminar las llamadas realizadas desde un SELCAL de tierra mediante señales de radiofrecuencia, usando una codificación binaria de 16 bits compuesta por 4 caracteres únicos para cada aeronave. Si la llamada es dirigida a una estación a bordo determinada, el código de caracteres configurado en la aeronave debe coincidir con el código marcado en la estación terrestre, emitiendo una alerta audible y visible para la tripulación.

Para el desarrollo del prototipo, se utilizó la plataforma open hardware ESP32, que permitió crear un modelo funcional con características específicas. Se diseñó una interfaz gráfica de software mediante Microsoft Windows Forms para el emisor en la estación de tierra y una interfaz de hardware con LEDs y dip-switches para configurar el código binario del receptor. Como resultado, se implementó un transmisor en tierra y un sistema de recepción SELCAL a bordo de la aeronave, con una configuración binaria eficaz, permitiendo incluso la interacción de múltiples sistemas SELCAL en aire. Sin embargo, el prototipo abarca solo el primer código alfanumérico de los cuatro que conforman el código convencional de una aeronave comercial.

El prototipo ha permitido modelar la estructura básica del sistema SELCAL, y se destacó que el uso del ESP32 es adecuado para este tipo de aplicaciones, gracias a sus amplias prestaciones inalámbricas. La conexión entre Windows Forms y el ESP32 mediante el puerto serial facilita la interacción directa con el hardware, permitiendo configurar de manera flexible los terminales y ejecutar diferentes escenarios. Aunque se identificaron limitaciones en cuanto al número de códigos que se pueden manejar, este modelo cumple una función educativa, ofreciendo una plataforma que permite a los estudiantes interactuar con tecnología actual, abriendo así oportunidades para futuras investigaciones y mejoras en los sistemas de comunicación aeronáutica.

Palabras clave: SELCAL, Prototipo, ESP32, Comunicaciones, Aeronaves

Citar como: Jaldin Corrales, W., & Pacocillo Casa, J. K. (2024). Prototipo del Sistema de Llamada Selectiva (SELCAL). *Journal Boliviano De Ciencias*, 20(56). 94-110 <https://doi.org/10.52428/20758944.v20i56.1170>

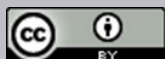
Revisado: 30/07/2024

Aceptado: 11/12/2024

Publicado: 30/12/2024

Declaración: Derechos de autor 2024 Ramos Pacheco, R. B., Crespo Vargas, J., & Carrillo Mendoza. Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.



ABSTRACT

In this work, the hardware modeling of the SELCAL communication system corresponding to ATA 23 of the aircraft communications system, which is present in all aircraft, was carried out. This system aims to discriminate calls made from a ground SELCAL through radio frequency signals, using a 16-bit binary code composed of 4 unique characters for each aircraft. If the call is directed to a specific onboard station, the character code configured on the aircraft must match the code marked on the ground station, triggering an audible and visible alert for the crew.

For the development of the prototype, the open hardware platform ESP32 was used, which enabled the creation of a functional model with specific characteristics. A graphical software interface was designed using Microsoft Windows Forms for the emitter at the ground station, and a hardware interface with LEDs and dip-switches to configure the binary code of the receiver. As a result, a transmitter on the ground and a SELCAL reception system onboard the aircraft were implemented, with an effective binary configuration, allowing even the interaction of multiple SELCAL systems in the air. However, the prototype only covers the first alphanumeric code of the four that make up the conventional code of a commercial aircraft.

The prototype has allowed the modeling of the basic structure of the SELCAL system, and it was highlighted that the use of the ESP32 is suitable for this type of application, due to its extensive wireless capabilities. The connection between Windows Forms and the ESP32 through the serial port facilitates direct interaction with the hardware, allowing flexible configuration of the terminals and execution of different scenarios. Although limitations were identified regarding the number of codes that can be handled, this model serves an educational function, providing a platform that allows students to interact with current technology, thus opening opportunities for future research and improvements in aircraft communication systems.

Keywords: SELCAL, Prototype, ESP32, Communication, Aircraft

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo describe la implementación de un módulo didáctico y experimental basado en un prototipo funcional de SELCAL. Este prototipo ha sido desarrollado para permitir a los estudiantes experimentar y comprender de manera práctica el funcionamiento del sistema, favoreciendo el desarrollo de habilidades en la identificación y gestión de señales de comunicación aeronáutica en un entorno controlado.

Por lo cual es necesario aclarar que el proceso de crear una muestra o modelo inicial de un producto para probar un concepto o proceso se conoce como prototipado (Teel, 2023).

La importancia de desarrollar prototipos es grande, Barriga J. (2021) indica lo siguiente al respecto:

Cuando queremos prototipar debemos pensar en el concepto de iterar; lo cual significa hacer la misma acción varias veces encontrando los errores, y como el error en este caso no es algo negativo, sino que es una oportunidad de mejoramiento, de esta manera estamos probando nuestro

prototipo para llegar a uno final que podamos usar con la comunidad como una solución a la problemática identificada.

SELCAL es un sistema de identificación radiofonía a bordo, que tiene la intención de notificar a la tripulación que una estación en tierra desea comunicarse con ellos mediante radio (Gómez, V, 2009).

Modelar este sistema conllevó un conjunto de retos. Para este propósito, fue necesario cumplir con una serie de tareas:

- El análisis de la estructura del sistema a modelar.
- La definición de los medios, métodos y recursos para lograr el objetivo.
- El diseño y configuración del prototipo.
- El desarrollo de interfaces de usuario para cada terminal.

1.1 SELCAL

De acuerdo a Gomez, V, (2009), SELCAL fue concebido por la necesidad de mitigar la molestia sonora en trayectorias aéreas transoceánicas. Las ondas HF (High Frequency) brindan suficiente cobertura de comunicaciones por radio, con la desventaja que los sonidos de estática son muy fuertes. Motivo que llevó a las tripulaciones a tener el radio sin volumen. Para que una emisión desde Centro de control operacional pueda ser oído, ARINC (Aeronautical Radio Incorporated) diseñó un sistema que alerta a la tripulación pueda comunicarse con los operarios en tierra.

La organización Internacional de Aviación Civil (OACI). Describe la notificación en cabina como un par de pulsos sonoros que combinan dos frecuencias no armónicas diferentes entre sí (Figura 1).

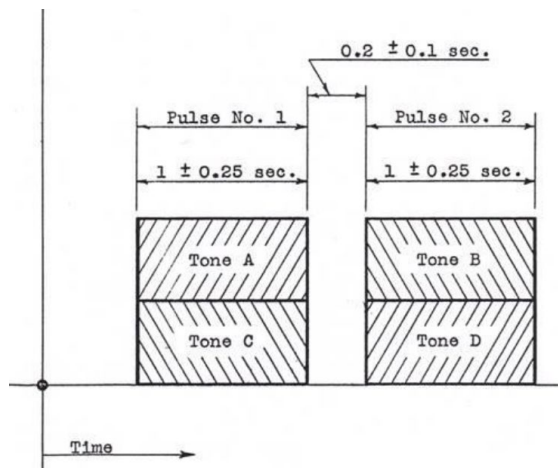


Figura N°1. Distribución de pulsos

Fuente: Elaboración propia, 2024.

La aeronave cuenta con un botón que apaga la alerta, entonces la tripulación está lista para subir el volumen del radio y oír el mensaje (Figura 2).



Figura N°2. Cockpit de aeronave

Fuente: Elaboración propia, 2024.

El conjunto de señales se basa en 16 tonos diferentes entre sí, que son representados con las letras y frecuencias mostradas en la Tabla N°1. Y la asignación de código a cada unidad consta de una agrupación de cuatro términos, por ejemplo “AB-CD”. Cada término puede ser convertido en el sistema binario (Tabla N°2). Este sistema de numeración permite interactuar con un Módulo de Programación de interruptores de estado discreto de 16 bits (Figura N°3). Donde de cuatro en cuatro bits conforman una letra en el sistema binario.

Tabla N°1. Frecuencia de tonos SELCAL

Código de letra SELCAL	Frecuencia sonora (Hz)
S	1479.1
H	645.7
D	426.6
M	977.2
B	346.7
K	794.3
F	524.8
Q	1202.3
A	312.6
J	716.1
E	473.2
P	1083.9
C	384.6
L	881.0
G	582.1
R	1333.5

Fuente: OACI, 2019.

Tabla N°2. Conversión de letras SELCAL a código binario

Carácter	Base Binaria
S	0000
H	0001
D	0010
M	0011
B	0100
K	0101
F	0110
Q	0111
A	1000
J	1001
E	1010
P	1011
C	1100
L	1101
G	1110
R	1111

Fuente: Service Bulletin (EASA.21J.452) en Eitech Aviation Services (2021).



Figura N°3. Decodificador SELCAL

Fuente: AvtechTyee Corporation, 2018.

Las asignaciones de códigos SELCAL tienen reglas que se siguen para asegurar que los sistemas de radio sean consistentes en su uso. En primer lugar, un carácter nunca puede repetirse, es decir, un código no puede usar la 'A' dos veces. En segundo lugar, el primer carácter de cada par debe mostrarse con el carácter alfabético más bajo primero, es decir, 'A' debe estar antes de 'F' (OACI, 2019).

2. METODOLOGÍA

Para lograr el diseño, la elección de la interfaz que realiza esta transmisión fue vital. En principio, se consideró la utilización de una placa Arduino Uno con un Módulo RF Tx-Rx, ya que SELCAL opera con altas radiofrecuencias (HF) y dicho módulo es un perfecto modelo a escala. Sin embargo, de acuerdo con las especificaciones descritas por TecBolivia, este módulo solo se recomienda para el envío de comandos simples. Por lo tanto, se optó por la placa ESP-32, que tiene la capacidad de enviar datos tanto por Bluetooth como por Wi-Fi a 2.4GHz. Según la documentación vigente de Espressif (2023), el fabricante de la placa, esta cuenta con una amplia capacidad para aplicaciones tanto domésticas como industriales, lo que la convierte en una opción adecuada para el proyecto debido a su óptima capacidad de envío y recepción de datos.

Dentro del código fuente, se insertó una librería para cumplir con la función de envío de datos. ESP-NOW es un tipo de protocolo o librería de comunicación Wi-Fi sin conexión, definido por la guía de desarrollo de Espressif, que permite encapsular y enviar datos a uno o más receptores a través de una dirección MAC (Media Access Control), con la que cada dispositivo se identifica. La obtención de estas direcciones se realiza mediante un programa que se compila en cada chip ESP-32, mostrando cada dirección en el monitor serial del software Arduino IDE. Una guía detallada sobre este proceso se encuentra en el portal web de Random Nerd Tutorials (2020).

Hasta el momento, se ha definido la forma de conexión. A continuación, se delimitan los siguientes aspectos:

- Se realizó la codificación de un solo término o tono, debido a que los pines ofrecidos por el chip no son suficientes.
- Para la visualización y verificación de funcionamiento, se utilizaron dos medios: Leds representativos de los bits del término y el Monitor Serial del IDE de Arduino.

Considerando los medios y herramientas descritas anteriormente, se establecieron tres elementos fundamentales: la interfaz gráfica en tierra, la estación de tierra y la estación a bordo (SELCAL).

Un emisor interactúa con una interfaz gráfica que le permite escribir un código SELCAL o elegir una aeronave con la que desea comunicarse. La estación de tierra interpreta la solicitud y realiza una transmisión que es recibida por todas las estaciones en aire disponibles. Solo una de estas estaciones, cuyo código coincide con el marcado en tierra, emite la alerta de llamada.

Para diseñar la interface (Figura N°4) se acudió a Microsoft Windows Forms, que se define a sí mismo como:

“Es un marco de interfaz de usuario para compilar aplicaciones de escritorio de Windows. Proporciona una de las formas más productivas de crear aplicaciones de escritorio basadas en el diseñador visual proporcionado en Visual Studio” (Microsoft, 2023)

En esta herramienta, es posible diseñar una interfaz gráfica con un menú donde se pueden seleccionar aeronaves que cuentan con un código SELCAL predefinido. También es posible realizar marcaciones manuales.

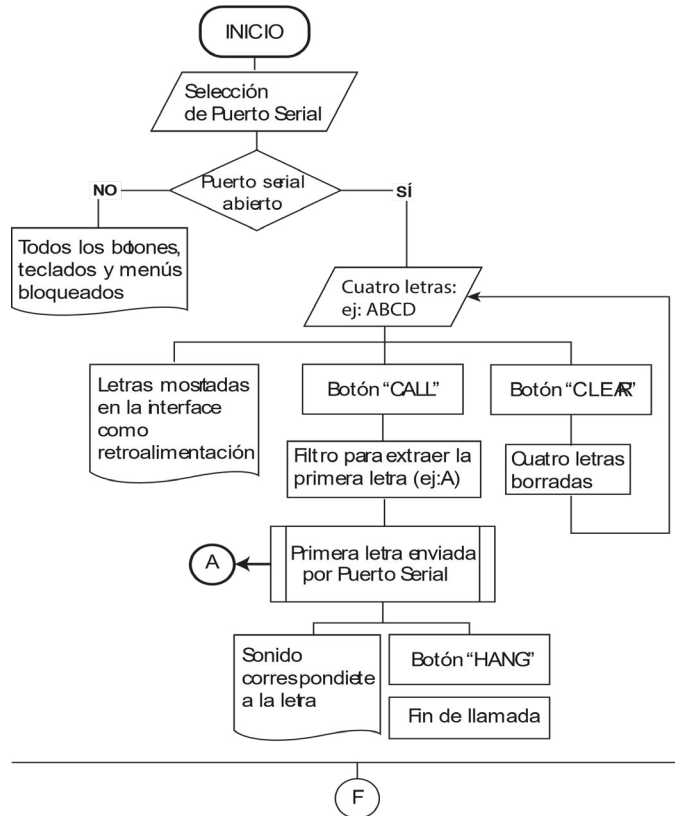


Figura N°4. Diagrama de flujo para el algoritmo de la Estación de Interface
Fuente: Elaboración propia, 2024.

El enlace con el hardware ESP32 de la estación tierra se logró mediante el Puerto Serial. Microsoft Visual Studio permite insertar una lista con la posibilidad de mostrar y seleccionar cualquier puerto disponible. Con el puerto conectado, se permite seleccionar cada letra sin la necesidad de conocer su notación binaria. Al presionar el botón “Call”, la interfaz envía el primer carácter del código a la estación de tierra para que esta lo decodifique y realice la transmisión.

Esta interfaz cuenta con un botón de cuelgue “Hang” para detener la llamada, “Clear” para limpiar el marcador y un menú de directorio donde se pueden hallar aeronaves con un código predefinido. La estación tierra (Figura N°5) recibe directamente la letra enviada por el puerto serial. Se programó para que, al reconocer cada letra, escriba en cada término booleano (x_1 , x_2 , x_3 y x_4) un estado particular que corresponda a la notación binaria de la letra requerida. A continuación, cada término es transmitido en conjunto mediante el protocolo ESP-NOW. A la vez, estos términos son mostrados en el Monitor Serial con el propósito de verificar, en forma de texto visible, el correcto envío del mensaje.

Por lo cual, la estación a bordo (Figura N°6) cuenta con un módulo ‘Dip Switch’ que define un código fijo con el que la estación a bordo podrá identificarse, esto mediante un conjunto de interruptores, cuyos estados representan a una letra en término binario (y_1 , y_2 , y_3 e y_4).

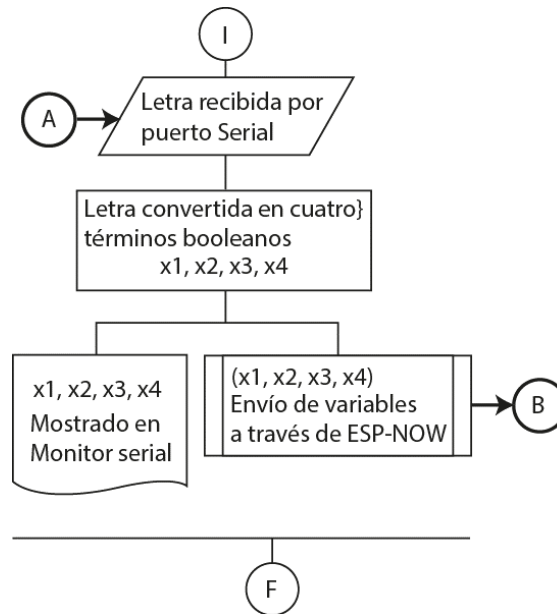


Figura N°5. Diagrama de flujo para el algoritmo de la Estación de Tierra
Fuente: Elaboración propia, 2024.

El protocolo NOW permite que las variables x_1 , x_2 , x_3 y x_4 sean recibidas por esta estación. Para verificar el mensaje, se recurre al monitor serial. Adicionalmente cuatro LED indicarán el estado de cada uno de estos términos.

Para la alerta, un led rojo permanece encendido si no existen llamadas emitidas o si la llamada no está dirigida a la estación. En cambio, un led verde parpadeante se enciende si cada término X e Y coinciden, siendo ésta una llamada a la estación a bordo.

Se implementó además un botón físico de colgado, para que la alerta deje de emitirse.

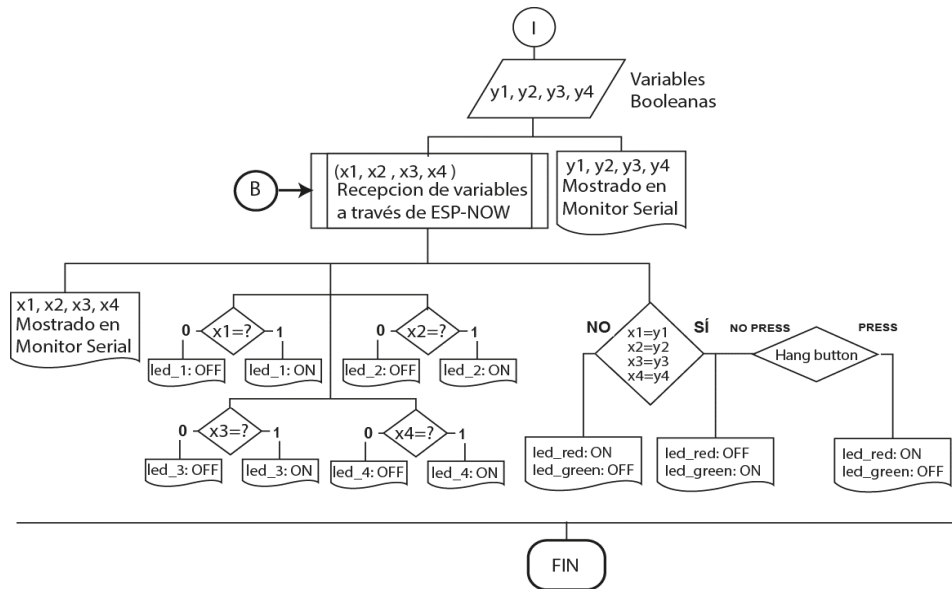


Figura N°6. Diagrama de flujo para el algoritmo de la Estación a Bordo

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Es posible replicar esta estación múltiples veces, y asignarles un código diferente con el que se puede experimentar. Solo se requiere obtener la dirección MAC de hardware correspondiente al microcontrolador ESP32 de cada estación adicional para vincularlas a la estación de tierra.

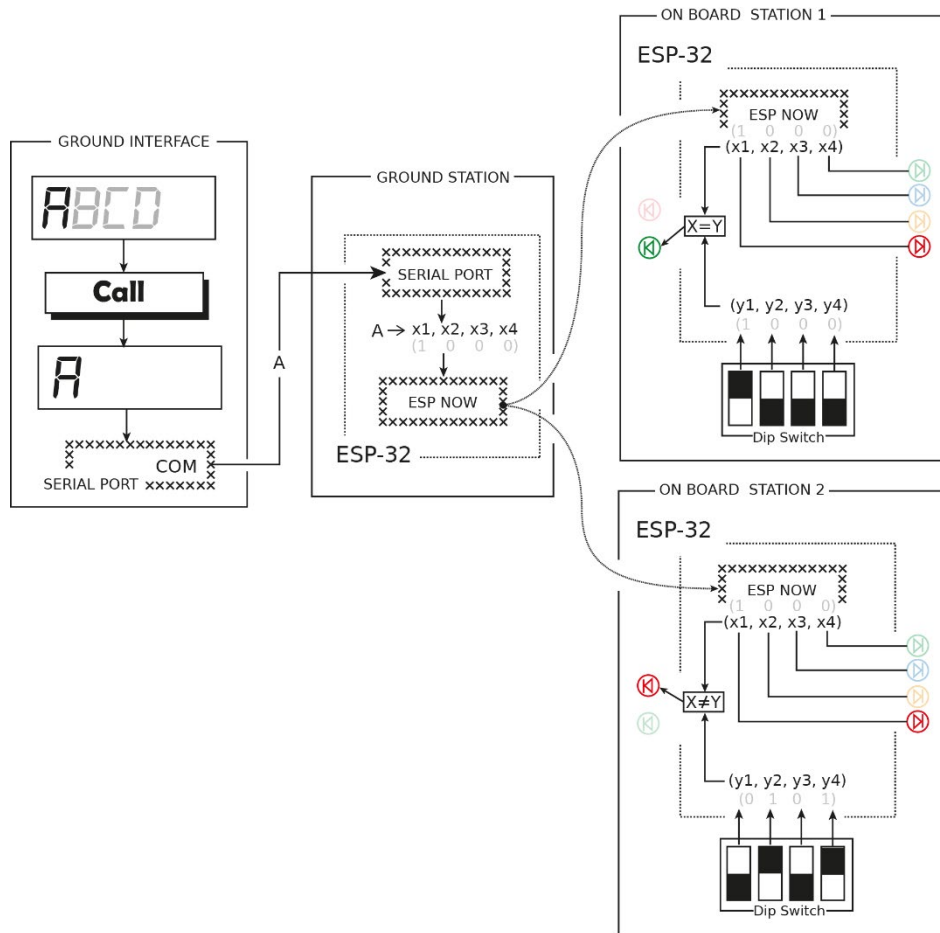


Figura N°7. Esquema de funcionamiento del Prototipo SELCAL
Fuente: Elaboración propia, 2024.

3. RESULTADOS

Con el fin de realizar pruebas de verificación del correcto funcionamiento del prototipo, se procedió a realizar una llamada SELCAL desde la estación de tierra a dos estaciones a bordo.

Para realizar la llamada, se selecciona en la interfaz, mostrada en la Figura N°8, el puerto COM, que corresponde a un cable USB conectado al microcontrolador ESP32. Este puerto puede variar de equipo en equipo. Una vez seleccionado, el botón “Open” habilita el resto de las opciones. A continuación, se presentan dos opciones: realizar el marcado de cada término manualmente o seleccionar una aeronave de la flota. Por ejemplo, “QA-RM”. El programa muestra un mensaje indicando que solo se pueden escribir cuatro términos si la cantidad es excedida. El resto de las reglas, como el orden ascendente obligatorio o la no repetitividad, no fueron implementadas.

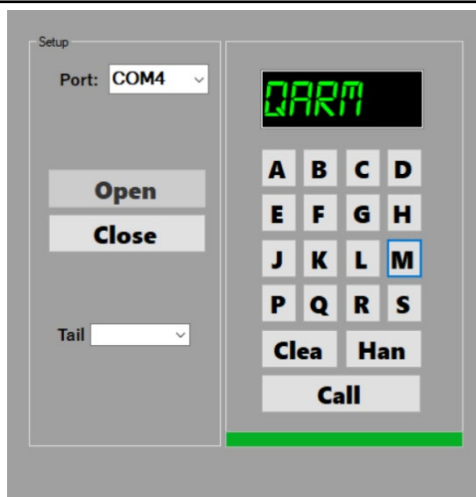


Figura N°8. Interfaz de Usuario de estación tierra
Fuente: Elaboración propia, 2024.

El botón “Call” inicia la llamada, la cual puede ser comprobada desde el Monitor Serial, donde se puede observar el envío exitoso a cada estación a bordo (Figura N°9 y 10), y también el valor booleano correspondiente a la letra Q.

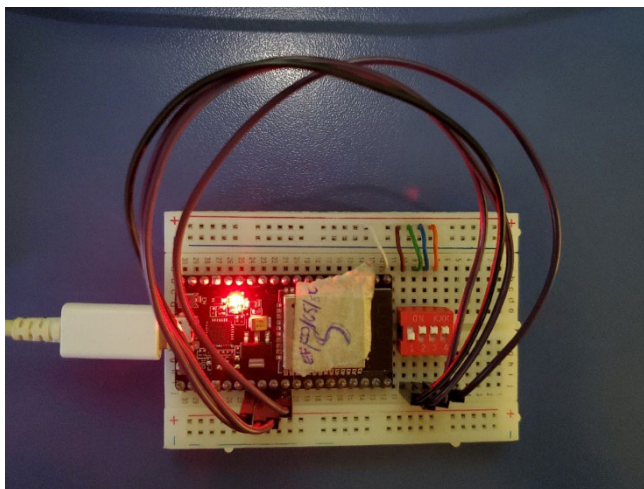


Figura N°9. Estación de Tierra
Fuente: Elaboración propia, 2024.

```
Packet to: 24:d7:eb:0f:5a:0c send status: Envío exitoso
Packet to: 24:d7:eb:10:e1:44 send status: Envío exitoso
enviado x1: 0
enviado x2: 1
enviado x3: 1
enviado x4: 1
Envío Exitoso
```

Figura N°10. Captura del Monitor Serial de Arduino IDE para la estación tierra
Fuente: Elaboración propia, 2024.

La aeronave A tiene configurado en el Dip Switch los valores de 0100, que corresponden a la letra B. Se debe notar que los cuatro LED de colores muestran el mensaje recibido, y el LED rojo indica que la llamada no es correspondida (Figura N°11).

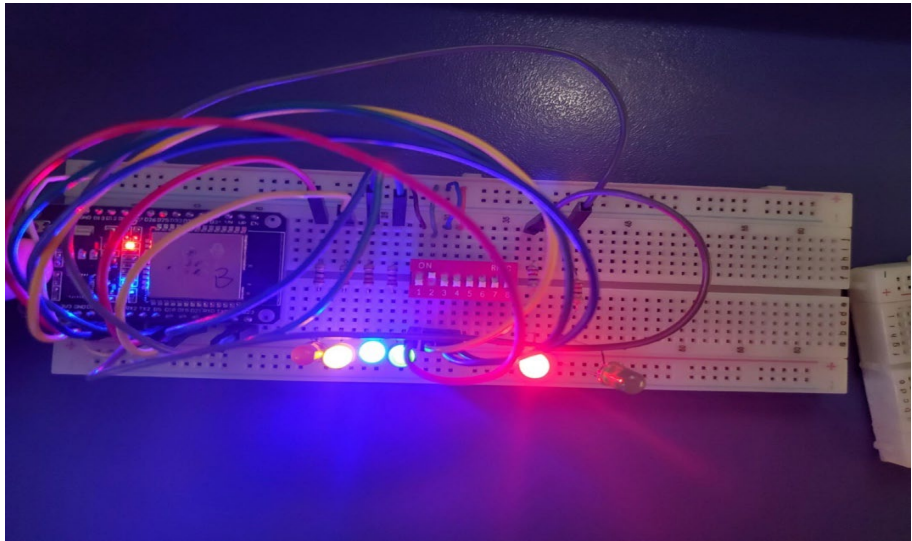


Figura N°11. Interfaz física de la Estación a Bordo “A”
Fuente: Elaboración propia, 2024.

```
Bytes received: 4  
Switch Y1: 0  
Switch Y2: 1  
Switch Y3: 0  
Switch Y4: 0
```

Figura N°12. Captura del Monitor Serial de Arduino IDE para la estación a bordo “A”

Fuente: Elaboración propia, 2024.

La aeronave B tiene configurado en el Dip Switch los valores de 0111 (Figura N°14), que corresponden a la letra Q. Se debe notar que, igualmente, los cuatro LED de colores muestran el mensaje recibido en función de la codificación binaria de la tabla N°2. El LED verde realiza un parpadeo indicando un “call” entrante desde SELCAL de tierra (Figura N°13).

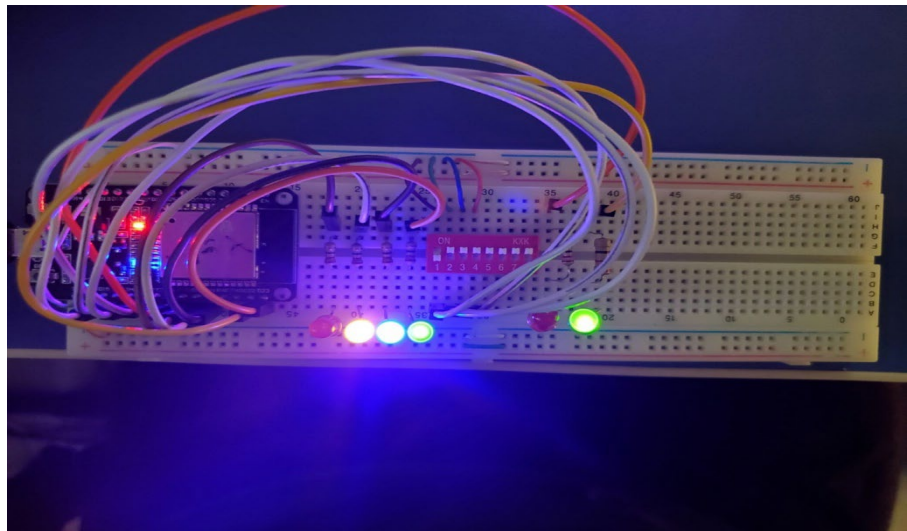


Figura N°13. Interfaz física de la Estación a Bordo “B”

Fuente: Elaboración propia, 2024.

```
Bytes received: 4
Switch Y1: 0
Switch Y2: 1
Switch Y3: 1
Switch Y4: 1
```

Figura N°14. Captura del Monitor Serial de Arduino IDE para la estación a bordo “B”

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Este sistema (Figura N°15) permite la modificación en tiempo real del Dip Switch, haciendo que la alerta se adapte a cualquier configuración.

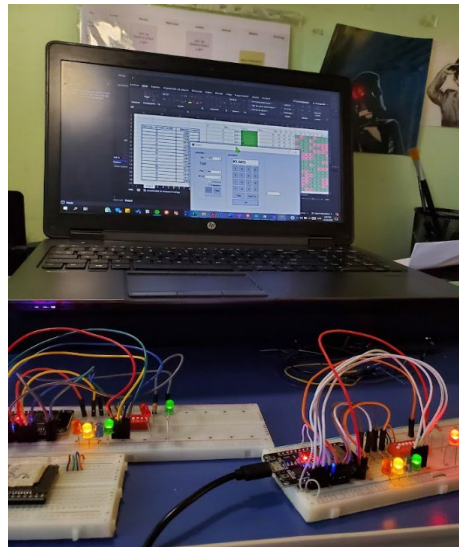


Figura N°15. Sistema SELCAL funcionando en conjunto

Fuente: Elaboración propia, 2024.

4. DISCUSIÓN, DESARROLLO Y ANÁLISIS

4.1 Discusión

Con la implementación de este proyecto, se logró diseñar un prototipo funcional. No obstante, dicho prototipo está lejos de ser funcional en aeronaves reales, ya que la transmisión y decodificación del sistema SELCAL operan de una manera muy distinta. Por lo tanto, este modelo tiene un carácter didáctico y experimental.

Es posible alcanzar los cuatro términos que conforman cada código y establecer las reglas de marcado; sin embargo, se recomienda optimizar el algoritmo para reducir la complejidad. Este prototipo fue implementado en un Protoboard, configuración que no se recomienda debido a la existencia de inductancias parásitas, las cuales podrían generar falsos positivos. También es importante considerar las limitaciones del ESP32, como el número máximo de dispositivos conectados, la cobertura mediante Wi-Fi y la alimentación de la placa. A pesar de ser un modelo de un sistema de comunicación de aeronaves, el principio del sistema diseñado en este artículo podría tener diversas aplicaciones, ya que permite que distintos dispositivos respondan con una alerta ante la solicitud de un emisor.

5. CONCLUSIONES

En conclusión, mediante la satisfactoria ejecución del prototipo, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- La estructura fundamental del sistema SELCAL fue descrita y modelada para la implementación de un prototipo funcional.
- El ESP32 es una variante de Arduino con amplias prestaciones inalámbricas, ideales para proyectos como el presentado.
- Windows Forms puede conectarse con un chip Arduino mediante el Puerto serial, permitiendo la interacción directa del usuario con el circuito sin alterarlo.
- Se pudo establecer una lógica de funcionamiento a través de los medios y herramientas seleccionadas, permitiendo la libre configuración de cada terminal y la ejecución de múltiples escenarios.
- Las limitaciones establecidas y encontradas son tenidas en cuenta, siendo estos aspectos evidentemente mejorables.

Una vez completado el prototipo, no solo se logrará una demostración práctica de la identificación de señales, sino que también se brindará una plataforma para que los estudiantes interactúen con tecnología actual en un entorno controlado. Este trabajo contribuye significativamente a la educación aeronáutica y abre posibilidades para futuras investigaciones y mejoras en sistemas de comunicación aeronáutica.

REFERENCIAS

- Barriga, J. A. (2021, junio 18). *La importancia de prototipar para generar soluciones innovadoras en la educación*. *La Palabra Maestra*. Recuperado de : <https://www.compartirpalabramaestra.org/actualidad/columnas/la-importancia-de-prototipar-para-generar-soluciones-innovadoras-en-la-educacion>.
- Gómez, V. (2009, mayo 12). *¿Sabías... qué es el SEL-CAL?*. *Microservos*. Recuperado de <https://www.microservos.com/archivo/aerotrastorno/sabias-sel-cal.html>
- AvtechTye. (2018). *ARINC 714 SELCAL decoders*. Recuperado de <https://www.avtechttye.com/wp-content/uploads/2018/03/ARINC-741-Selcal-Decoders.pdf>
- TecBolivia. (s.f.). *Kit transmisor y receptor RF 315 MHz con codificador y decodificador*. Recuperado de <http://tecbolivia.com/index.php/venta-de-componentes-electronicos-11/comunicaciones/kit-transmisor-y-receptor-rf-315mhz-con-codificador-y-decodificador-detail>
- Espressif. (s.f.). *ESP-NOW API reference*. Recuperado de https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32c3/api-reference/network/esp_now.html
- Santos, S. (2020). *Get ESP32/ESP8266 MAC address and change it (Arduino IDE)*. Recuperado de <https://randomnerdtutorials.com/get-change-esp32-esp8266-mac-address-arduino/>
- Microsoft. (2023). *Guía de escritorio para Windows Forms*. Recuperado de <https://learn.microsoft.com/es-es/dotnet/desktop/winforms/overview/?view=netdesktop-7.0>
- Brown, A. J., & Smith, K. T. (2022). *The evolution of SELCAL systems in commercial aviation*. *Aviation Technology Journal*, 28(4), 210–225. <https://doi.org/10.1016/j.aviat.2022.04.003>
- Li, H., & Zhang, Y. (2021). *Improving communication efficiency with advanced SELCAL systems*. *Journal of Aerospace Engineering*, 35(3), 150–162. <https://doi.org/10.1002/jae.2021.150>
- Johnson, T. D., & Thompson, B. (2019). *SELCAL and its role in improving pilot-controller communication*. *Journal of Air Traffic Management*, 44(2), 87–101. <https://doi.org/10.1016/j.jatm.2019.05.002>
- Kim, S. Y., & Lee, J. H. (2018). *Enhancing aviation safety with digital SELCAL systems*. *Aerospace Safety Journal*, 19(4), 302–315. <https://doi.org/10.1016/j.aersaf.2018.07.004>
- Gupta, R., & Verma, A. (2017). *The impact of SELCAL on long-haul communication*. *Journal of Aviation Communication*, 12(1), 110–123. <https://doi.org/10.1016/j.javiacomm.2017.03.007>
- Singh, V., & Patel, D. (2016). *Comparative analysis of traditional and modern SELCAL systems*. *Journal of Aeronautical Sciences*, 25(3), 185–200. <https://doi.org/10.1007/jaersci.2016.185>

Anderson, C., & Green, S. (2015). *Digital advancements in SELCAL technology*. *Journal of Aircraft Communication*, 34(2), 75–88. <https://doi.org/10.1016/j.jaircomm.2015.02.005>

Rodriguez, L. M., & Thompson, P. (2014). *SELCAL system performance in diverse weather conditions*. *International Journal of Aviation Safety*, 29(1), 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.aviatsafe.2014.01.004>

Chen, Y., & Wu, Z. (2013). *Innovations in SELCAL technology for next-generation aircraft*. *Journal of Aeronautics and Astronautics*, 27(5), 210–225. <https://doi.org/10.2514/jaaa.2013.210>

Williams, R., & Thompson, B. (2014). *The impact of SELCAL on global aviation communication networks*. *International Journal of Aerospace Communications*, 16(2), 101–115. <https://doi.org/10.1016/j.ijac.2014.04.002>

Nakamura, H., & Tanaka, T. (2016). *Comparative study of analog and digital SELCAL systems*. *Aviation Technology Journal*, 20(1), 65–79. <https://doi.org/10.1016/j.aviat.2016.01.009>



SEDE CENTRAL COCHABAMBA

Campus Universitario Tiquipaya
c. Guillermina Martínez s/n
Telf: (591 – 4) 4318800

Torre Académica América

Av. América N°165 entre Túpac Amaru y Av. Libertador Bolívar
Telf: (591 – 4) 4150300

Edif. Polifuncional Ayacucho

Av. Ayacucho N°256
Telf: (591 – 4) 4150200

SEDE ACADÉMICA LA PAZ

Campus Miraflores
Av. Argentina N° 2083 esq. Nicaragua
Telf: (591 – 2) 2246725/6/7

SEDE ACADÉMICA SUCRE

Campus Las Delicias
Pasaje Guillermina de Ruiz N° 1 (Zona Bajo Delicias)
Telf: (591 – 4) 6441664

SEDE ACADÉMICA TRINIDAD

Campus El Gran Paitití
Av. Reyes s/n
Telf: (591 – 3) 4621238

SEDE ACADÉMICA SANTA CRUZ

Campus Eco Smart
Av. Banzer – Séptimo anillo y Av. Juan Pablo II