ISSN : 2600-5573

Volume 6 N°2 | Julio 2024

IDEAS JOURNAL

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

http://doi.org/10.53358/ideas.v6i2

http://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas


EDITORIAL
UTN
IBARRA - ECUADOR

IDEAS
Journal

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

IBARRA - ECUADOR
2024

Editorial committee

Daisy Imbaquingo, Ph.D.
EDITOR IN CHIEF
e-mail: deimbaquingo@utn.edu.ec

Fernando Ramírez, Ph.D.
GENERAL EDITOR
e-mail: frramirez@utn.edu.ec

Marco Ciaccia, Ph.D.
SECTION EDITOR
e-mail: mciaccia@utn.edu.ec

Cathy Guevara, Ph.D.
SECTION EDITO.R
e-mail: cguevara@utn.edu.ec

Lissette Revelo, M.Sc.
SECTION EDITOR
e-mail: lgreveloc@utn.edu.ec

David Ojeda, Ph.D.
SECTION EDITOR
e-mail: daojeda@utn.edu.ec

Lucia Vasquez, Ph.D.
SECTION EDITOR
e-mail: ldvasquez@utn.edu.ec

Brizeida Gámez, Ph.D.
ACADEMIC EDITO.R
e-mail: bngamez@utn.edu.ec

Miguel Vivert, Ph.D.
ACADEMIC EDITOR
e-mail: mevivert@utn.edu.ec

Vladimir Bonilla Venegas, Ph.D.
ASSOCIATED EDITOR
e-mail: fbonilla@ute.edu.ec

Thalía San Antonio, Ph.D.
ASSOCIATED EDITOR
e-mail: t.sanantonio@uta.edu.ec

Mario Ron, Ph.D.
ASSOCIATED EDITOR
e-mail: mbron@espe.edu.ec

Laura Guerra, Ph.D.
ASSOCIATED EDITOR
e-mail: lrguerra@pucesi.edu.ec

Wilson Guachamín, Ph.D
ASSOCIATED EDITOR
e-mail: wilson.guachamin@epn.edu.ec

Ana Cabrera, Ph.D.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
e-mail: acabreratobar@unisa.it

Lilibeth Zambrano, Ph.D.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
e-mail: zambranol@itcarlow.ie

Belkys Amador, Ph.D.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
e-mail: bamador@unet.edu.ve

Vannessa Duarte, Ph.D.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
e-mail: vannessa.duarte@unc.cl

-

Laura Sáenz, Ph.D.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
e-mail: decanatoingenieria@ujap.edu.ve

Luis Garza, Ph.D.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
e-mail: luis_garza1@ucol.mx

Roger Mafla, Ing.
DIAGRAMMER DESIGNER
e-mail: rfmafla@utn.edu.ec

Silvia Arciniega, Dra.
SECRETARY AND STYLE CORRECTOR
e-mail: srarciniega@utn.edu.ec

Leonardo Ibujés, Ing.
TECHNICAL EDITOR
e-mail: lvibujesc@utn.edu.ec

Gabriela Obando
ASSISTANT
e-mail: rgobandon@utn.edu.ec

University authorities

Dr. Miguel Naranjo Toro, Ph.D.
RECTOR
e-mail: rectorado@utn.edu.ec

Dra. Alexandra Mina Páez, Ph.D.
ACADEMIC VICE-RECTOR
e-mail: viceacademico@utn.edu.ec

Dra. Nhora Benítez Bastidas, Ph.D.
RESEARCH VICE-RECTOR
e-mail: viceinvestigacion@utn.edu.ec

Dr. Hernán Cadena Pulles, Ph.D.
ADMINISTRATIVE VICE-RECTOR
e-mail: viceadministrativo@utn.edu.ec

Catalina Ramírez, M.Sc.
DEAN FICA
e-mail: mcramirez@utn.edu.ec

Daisy Imbaquingo, Ph.D.
SUB-DEAN FICA
e-mail: deimbaquingo@utn.edu.ec

María José Romero, M.Sc.
RESEARCH COORDINATOR
e-mail: cavasquez@utn.edu.ec

Cosme Ortega, M.Sc.
CISIC-CSOFT COORDINATOR
e-mail: mc.ortega@utn.edu.ec

Jaime Michilena, M.Sc.
CIERCOM-CITEL COORDINATOR
e-mail: jrmichilena@utn.edu.ec

Jenyffer Yépez, M.Sc.
CINDU COORDINATOR
e-mail: jayepez@utn.edu.ec

David Ojeda, Ph.D.
CIME COORDINATOR
e-mail: daojeda@utn.edu.ec

Gerardo Collaguazo, Ph.D.
CIELE COORDINATOR
e-mail: gicollaguazo@utn.edu.ec

Ignacio Benavides, M.Sc.
CIMA-CIAUT COORDINATOR
e-mail: ibbenavides@utn.edu.ec

Marco Naranjo Toro, M.Sc.
CTEX COORDINATOR
e-mail: mfnaranjo@utn.edu.ec

Víctor Caranqui, M.Sc.
CITIL COORDINATOR
e-mail: vmcaranqui@utn.edu.ec

EDITORIAL UTN
IBARRA - ECUADOR

UNIVERSITY PRINTING 2024
Universidad Técnica del Norte
Ibarra-Ecuador

Editorial

La Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte presenta el volumen 6, número 2 de su revista científica: Innovation & Development in Engineering and Applied Science – IDEAS, titulado: Ejes diversos en aplicaciones de Ingeniería multidisciplinaria. Esta entrega consta de diez artículos de alto nivel, en los que se abordan las áreas de ingeniería textil, ingeniería industrial, energía, tecnología educativa, bioingeniería e ingeniería económica.

Omar Godoy, de la Universidad Técnica del Norte, destaca en el ámbito textil con una revisión de literatura sobre el teñido de algodón, subrayando la importancia de la selección adecuada de colorantes y auxiliares para maximizar la eficiencia y sostenibilidad del proceso. Complementando este enfoque, Chamorro et al., de la misma universidad y en conjunto con el Instituto Superior Tecnológico Tena, presentan una investigación sobre la producción de no tejido de lana de oveja, ofreciendo métodos innovadores de homogenización y compactación de fibras.

En el campo del diseño energético, Benavides et al. muestran una herramienta para la optimización del rendimiento de bombas centrífugas usadas como turbinas, mediante simulaciones numéricas avanzadas y análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD). Este enfoque proporciona detalles valiosos sobre la eficiencia y las características operativas del sistema bomba-turbina.

Tapia y Galvis de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, enriquecen el ámbito de las soluciones sostenibles y agricultura con una investigación que combina métodos ARIMA, optimización bayesiana y modelos XGBoost para predecir las lluvias, proporcionando una herramienta robusta para mejorar la resiliencia agrícola ante variaciones meteorológicas.

Cerrón et al. del Laboratorio de Fabricación Digital de la Universidad Continental y la Universidad Católica de Santa María en Perú, abordan la educación en tiempos de pandemia mediante la adaptación del programa "Ruta Maker" a un entorno virtual. Este estudio demuestra que los ecosistemas de aprendizaje digital pueden fortalecer significativamente las habilidades tecnológicas y la cultura maker en estudiantes. Además, Araujo et al. del Instituto Superior Tecnológico ITCA, implementan la realidad aumentada en la educación, mostrando una mejora notable en la retención y comprensión de la información.

En el ámbito de la biotecnología y recursos naturales renovables, León et al., presentan una innovadora propuesta de un Laboratorio Aéreo Inteligente (LAI) para el monitoreo de fuentes hídricas, utilizando vehículos aéreos no tripulados. Esta solución avanzada permite una vigilancia remota y autónoma de cuerpos de agua. Por otro lado,

Benalcázar y Pinto de la Universidad Técnica del Norte, presentan una métrica matricial para evaluar el aprendizaje en Matemática Compleja, proporcionando una herramienta efectiva para identificar y mejorar áreas con oportunidades de mejora en el conocimiento de las ciencias básicas.

Astudillo et al. del Instituto Superior Tecnológico Universitario San Isidro muestran un análisis económico acerca de las actividades generadas alrededor de un evento temporal singular y su influencia en la economía del sector emprendedor relacionado.

Finalmente Parra et al. del Instituto Universitario Misael Acosta, desarrollan una aplicación móvil tipo botón de pánico, bajo la metodología SCRUM, que mejora la seguridad y la comunicación en situaciones de emergencia en comunidades rurales.

El aporte logrado con este conjunto de estudios ofrece soluciones innovadoras y prácticas a desafíos contemporáneos en la ingeniería multidisciplinaria, promoviendo la sostenibilidad, eficiencia y mejora continua en diversos sectores industriales y académicos. La diversidad de investigaciones refleja el compromiso de la revista IDEAS con la difusión de conocimientos que contribuyen al avance científico y tecnológico ecuatoriano e internacional.

PhD. Daisy Imbaquingo

Editor Jefe

PhD. Fernando Ramírez

Editor General

Editorial

The Faculty of Engineering in Applied Sciences at Universidad Técnica del Norte presents Volume 6, Issue 2 of its scientific journal: Innovation & Development in Engineering and Applied Science – IDEAS, titled: Diverse Axes in Multidisciplinary Engineering Applications. This edition comprises ten high-level articles addressing areas such as textile engineering, industrial engineering, energy, educational technology, bioengineering, and economic engineering.

Omar Godoy, from Universidad Técnica del Norte, stands out in the textile field with a literature review on cotton dyeing, emphasizing the importance of proper selection of dyes and auxiliaries to maximize process efficiency and sustainability. Complementing this approach, Chamorro et al., from the same university and in collaboration with Instituto Superior Tecnológico Tena, present a study on the production of non-woven wool, offering innovative methods for fiber homogenization and compaction.

In the field of energy design, Benavides et al. demonstrate a tool for optimizing the performance of centrifugal pumps used as turbines through advanced numerical simulations and computational fluid dynamics (CFD) analysis. This approach provides valuable insights into the efficiency and operational characteristics of the pump-turbine system.

Tapia and Galvis, from Universidad Politécnica Estatal del Carchi, enrich the realm of sustainable solutions and agriculture with a study combining ARIMA methods, Bayesian optimization, and XGBoost models to predict rainfall. This robust tool enhances agricultural resilience to meteorological variations.

Cerrón et al., from the Digital Fabrication Laboratory at Universidad Continental and Universidad Católica de Santa María in Peru, address education during the pandemic by adapting the "Ruta Maker" program to a virtual environment. This study shows that digital learning ecosystems can significantly strengthen students' technological skills and maker culture. Additionally, Araujo et al., from Instituto Superior Tecnológico ITCA, implement augmented reality in education, demonstrating notable improvements in information retention and comprehension.

In the field of biotechnology and renewable natural resources, León et al. present an innovative proposal for an Intelligent Aerial Laboratory (IAL) to monitor water sources using unmanned aerial vehicles. This advanced solution enables remote and autonomous surveillance of water bodies. On the other hand,

Benalcázar and Pinto, from Universidad Técnica del Norte, present a matrix metric for evaluating learning in Complex Mathematics, providing an effective tool for identifying and improving areas with opportunities for growth in basic sciences knowledge.

Astudillo et al., from Instituto Superior Tecnológico Universitario San Isidro, offer an economic analysis of the activities generated around a unique temporary event and its influence on the entrepreneurial sector's economy. Finally, Parra et al., from Instituto Universitario Misael Acosta, develop a mobile panic button application, under the SCRUM methodology, that enhances security and communication in emergency situations in rural communities.

The contributions achieved with this collection of studies offer innovative and practical solutions to contemporary challenges in multidisciplinary engineering, promoting sustainability, efficiency, and continuous improvement in various industrial and academic sectors. The diversity of research reflects IDEAS journal's commitment to disseminating knowledge that contributes to scientific and technological advancement in Ecuador and internationally.

PhD. Daisy Imbaquingo

Editor in Chief

PhD. Fernando Ramírez

General Editor

Índice

Index

Revisión sistemática del proceso de teñido de algodón con colorantes reactivos para optimizar la cinética tintórea en fase de adsorción 9

Método matricial para evaluación basado en valores y vectores propios 25

Análisis de la resistencia a la tracción y elongación del no tejido de lana de oveja para elaborar sombreros de fieltro 37

Ampliando horizontes tecnológicos desde la implementación de un ecosistema de recursos de aprendizaje virtual para estudiantes universitarios 51

Predicción de la precipitación pluvial para prevención aplicando modelos ARIMA, optimización bayesiana y modelo XGBoost 65

Advanced optimization and numerical simulation of a pump as a turbine system 83

Educación inmersiva en la transferencia e innovación de resultados de investigación científica 95

Impacto económico del árbol de navidad más grande del Ecuador en los emprendimientos - Cuenca 2022 111

Laboratorio aéreo inteligente para muestreos hídricos en la Amazonía del Ecuador 123

Guardián comunitario: Innovación en seguridad y respuesta rápida a emergencias 139

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

Revisión sistemática del proceso de teñido de algodón con colorantes reactivos para optimizar la cinética tintórea en fase de adsorción

http://doi.org/10.53358/ideas.v6i2.963

Omar Godoy-C
Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
ovgodoy@utn.edu.ec

Fecha de envío, octubre 12/2023 - Fecha de aceptación, junio 6/2024 - Fecha de publicación, julio 15/2024

Resumen: La fase de adsorción y la cinética tintórea como elementos correlacionados en un proceso de teñido con colorantes reactivos sobre fibra de algodón son de vital importancia, no solo para el proceso tintóreo como tal, sino que además, un adecuado y consciente uso de los elementos que intervienen en la receta de tintura, la curva de procesos ajustada a las realidades del equipo, maquinaria y procesos, así como una adecuada elección de los colorantes y auxiliares, permitirá tener el mayor aprovechamiento del color sobre la fibra. Es por esto que, tras la revisión sistemática de literatura, varios autores abordan estas dos temáticas como elementos fundamentales para ser revisados en un proceso, mismos que aportan en la reducción del tiempo de teñido, la correcta igualación del color sobre la fibra y por sobre todo, permiten tener el mayor aprovechamiento de colorantes y auxiliares, y con ello minimizar la cantidad de desperdicios; y, posteriormente, realizar procesos de recuperación de agua más eficientes, ecológicos y naturales.

Palabras clave: textiles, colorantes, proceso de teñido, fase de adsorción.

Abstract: The adsorption phase and dyeing kinetics as correlated elements in a dyeing process with reactive dyes on cotton fiber are of vital importance, not only for the dyeing process itself but also because an appropriate and conscious use of the elements involved in the dyeing recipe, the process curve adjusted to the realities of the equipment, machinery, and processes, as well as an adequate choice of dyes and auxiliaries, will allow for the maximum utilization of color on the fiber. This is why, after a systematic literature review, various authors address these two themes as fundamental elements to be reviewed in a process. These elements contribute to reducing dyeing time, achieving correct color uniformity on the fiber, and most importantly, maximizing the use of dyes and auxiliaries, thereby minimizing waste. Additionally, this enables the implementation of more efficient, ecological, and natural water recovery processes.

Keywords: textiles, dyes, dyeing process, adsorption pase.

Autor de correspondencia:
Omar Godoy, ovgodoy@utn.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción

La tintura de algodón con colorantes reactivos es ampliamente utilizada en la industria textil debido a su capacidad para lograr colores brillantes y duraderos en las fibras de algodón, pero en muchas ocasiones, la decoloración es un proceso inevitable, es decir el rompimiento de la unión colorante-fibra, afinidad colorante-fibra, calidad de la radiación, temperatura-humedad, cinética tintórea, entre otras [1][2]. La optimización de este proceso es esencial para garantizar la eficiencia y la calidad del teñido. Entre las etapas fundamentales, la fase de adsorción juega un papel crucial [3][4][5].

La adsorción se refiere al proceso mediante el cual, los colorantes reactivos se unen químicamente a las fibras de algodón, formando enlaces estables y permanentes. Esta etapa determina la cantidad de colorante que se adhiere a las fibras y, por lo tanto, la intensidad y la solidez del color obtenido [4][6]. Desafortunadamente, para el proceso de teñido se hace necesaria la utilización de grandes cantidades de sal y álcalis, mismas que se convierten en una problemática ambiental, pues su reutilización hasta la fecha sigue siendo una tarea pendiente [7][8]. Una característica adicional a tomar en cuenta, es el tipo de colorante y la fibra a ser teñida; en este sentido, el colorante reactivo presenta un 72% de absorción de colorante en relación con el 98% del colorante directo [9][10].

En tal virtud, la exploración de la literatura científica reciente, relacionada con el teñido de algodón con colorantes reactivos, permite analizar las investigaciones sobre la cinética tintórea y su relación con la fase de adsorción.

En este estudio, se explora la importancia de la fase de adsorción en la optimización del proceso de tintura de algodón con colorantes reactivos. Además, se examinan las estrategias y técnicas utilizadas para mejorar la adsorción [11][8][12], como el uso de agentes de dispersión y la modificación química de las fibras, además de comprender la optimización de la fase de adsorción con el fin de mejorar la eficiencia y la calidad del proceso de teñido.

Al hacer un análisis de los elementos que intervienen en el proceso de tintura, se llega a establecer que las condiciones óptimas del proceso se ven influenciadas por la concentración de Na_2CO_3, la concentración de colorante, el tiempo de inmersión, el número de inmersiones y pinzamientos y el tiempo de vaporización en la fijación del colorante y el valor K/S del algodón teñido [13][14][15].

Relación entre fase de adsorción y la cinética tintórea

El teñido de fibras textiles en condiciones acuosas es el método más utilizado en la actualidad a nivel mundial [16][17][8]. Esto se da gracias a los enlaces covalentes generalmente formados, inclusive mayor a la de los puentes de hidrógenos y las fuerzas de Van de Vals, haciendo que los colorantes reactivos, presenten una elevada solidez del color a diferentes pruebas de calidad [18][19]. El color, son simplemente ondas de luz que viajan a través del espacio y dependiendo de la cantidad de nanómetros, para que estos sean visibles o no al ojo humano, según el rango de espectro visible comprendido entre los 450nm y 750nm [20][21], los colorantes reactivos son muy efectivos en el teñido de telas, sin embargo, una elección no apropiada de parámetros y componentes puede ocasionar resultados adversos con respecto al teñido de sustratos textiles [22][23].

Los colorantes reactivos bifuncionales, presentan un grado de agotamiento relativamente corto y esto se debe a la fase determinante de adsorción, es decir, la cantidad de colorante que se deposita de forma superficial sobre la fibra y que ha salido con rumbo al sustrato a teñirse, desde el baño de tintura [24].

Objetivos

Como base de la investigación y su posterior desarrollo, se formulan las siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles son los factores clave que influyen en la eficiencia de la fase de adsorción en el proceso de teñido de algodón con colorantes reactivos?
- ¿Qué técnicas son utilizadas para medir la cinética tintórea en fase de adsorción?
- ¿Qué tipos de colorantes reactivos se utilizan para optimizar la cinética tintórea en fase de adsorción y cómo determinar y comparar su eficiencia?

En este sentido, se plantea el siguiente objetivo: Determinar cómo la fase de adsorción en el teñido con colorantes reactivos incide en la optimización del proceso.

Metodología

El proceso de revisión sistemática de literatura intenta encontrar una relación entre la fase de adsorción y la optimización de proceso de teñido de algodón con colorantes reactivos, para lo cual, se detalla el siguiente esquema de trabajo [11]:

- Formulación de las preguntas de investigación.
- Búsqueda de la información: Identificación y cribado de los elementos para análisis.
- Determinación de categorías: clasificación y tamaño de la información.
- Evaluación del material recolectado: Definición de categorías y dimensionamiento para obtener resultados de las investigaciones.

Para una mejor comprensión del proceso de revisión sistemática se detalla en la Figura 1.

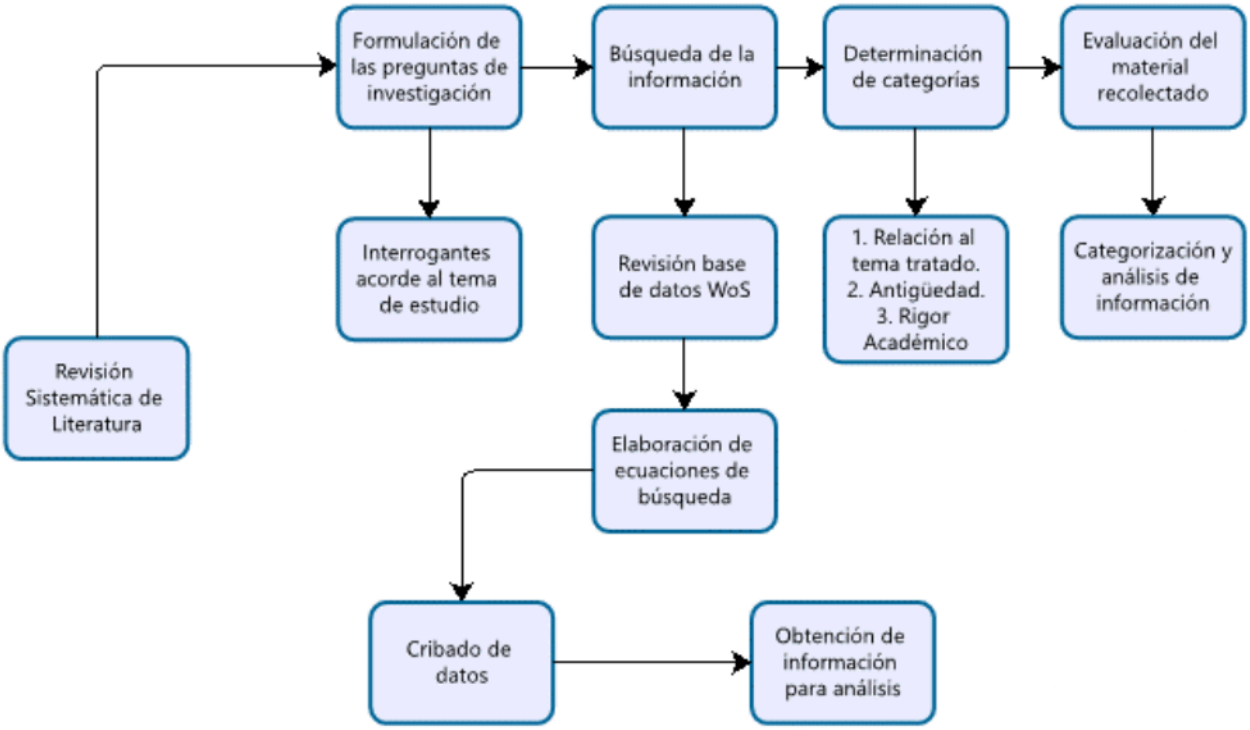


Fig. 1. Proceso de Revisión sistemática.

Clasificación de la información.

Para esta parte del proceso investigativo, se recurre al análisis de documentos almacenados en la base de datos Web of Science (WoS) sean artículos de revista o publicaciones comprendidas entre 2019 a 2023, en idioma inglés; previo a ello, se realizó un análisis de las posibles interconexiones entre diferentes terminologías, haciendo uso del software VOSVIEWER (Ver Figura 2), considerando criterios de búsqueda que giran en torno a: teñido con colorantes reactivos, fase de adsorción, cinética tintórea, procesos de tintura, optimización, ingeniería textil y fibras celulósicas. Es indispensable aclarar, que la revisión sistemática maneja criterios como: a. relación con el tema tratado, b. Originalidad, c. Rigor académico, d. Antigüedad de las publicaciones, e. Acceso libre a la información, f. Metodología y confiabilidad de la información.

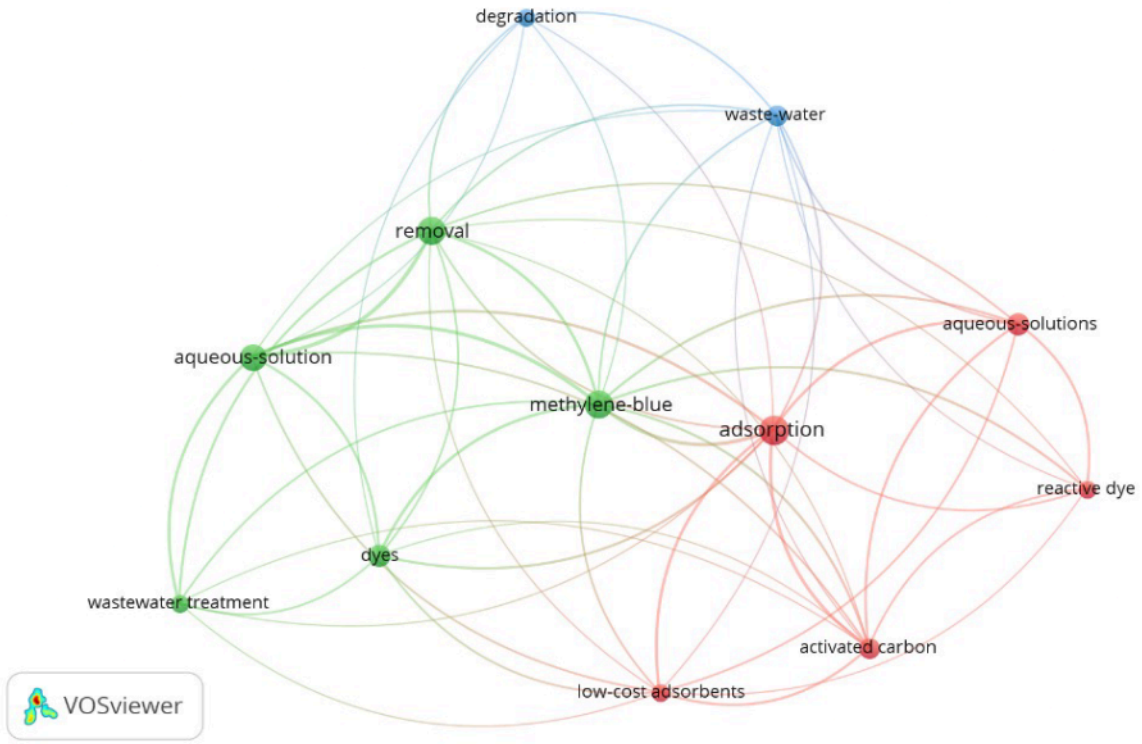


Fig. 2. Relación entre terminología afín al tema tratado

La base de datos Web of Science permite tener acceso a documentación valiosa para la aplicación del modelo PRISMA para revisiones sistemáticas (Ver Figura 3). En este sentido, para analizar los factores de adsorción se utilizó el siguiente criterio de búsqueda sobre la lista de artículos:

- Ecuación de búsqueda 1: ("Cotton dyeing" or "reactive dyes") AND ("reactive dyes" or "adsorption kinetics" or "adsorption factors")
- Ecuación de búsqueda 2: ("Cotton dyeing" OR "reactive dyes") AND (("spectroscopy" OR "chromatography" OR "colorimetry" OR "HPLC") OR ("UV-Vis" OR "FTIR" OR "NMR") OR "measurement techniques")
- Ecuación de búsqueda 3: ("Cotton dyeing" OR ("reactive dyes" OR "dye types")) AND ("adsorption kinetics" OR "adsorption efficiency")

Como criterios de inclusión, se tomaron en cuenta estudios experimentales y teóricos que investiguen la cinética de adsorción en el teñido de algodón de colorantes reactivos, que analicen uno o más factores que puedan influir en la eficiencia de adsorción, como la temperatura, el pH, la concentración de colorantes, tiempo de procesamiento, entre otros [7][25]. También se revisaron aquellos estudios que utilicen únicamente colorantes reactivos para teñidos de algodón, y, se excluyeron aquellos trabajos que no cumplieron con estos requisitos de inclusión; de igual manera, aquellas investigaciones que no proporcionaron suficiente información sobre su metodología o presentaron limitaciones significativas en el interés de este artículo, fueron descartadas.

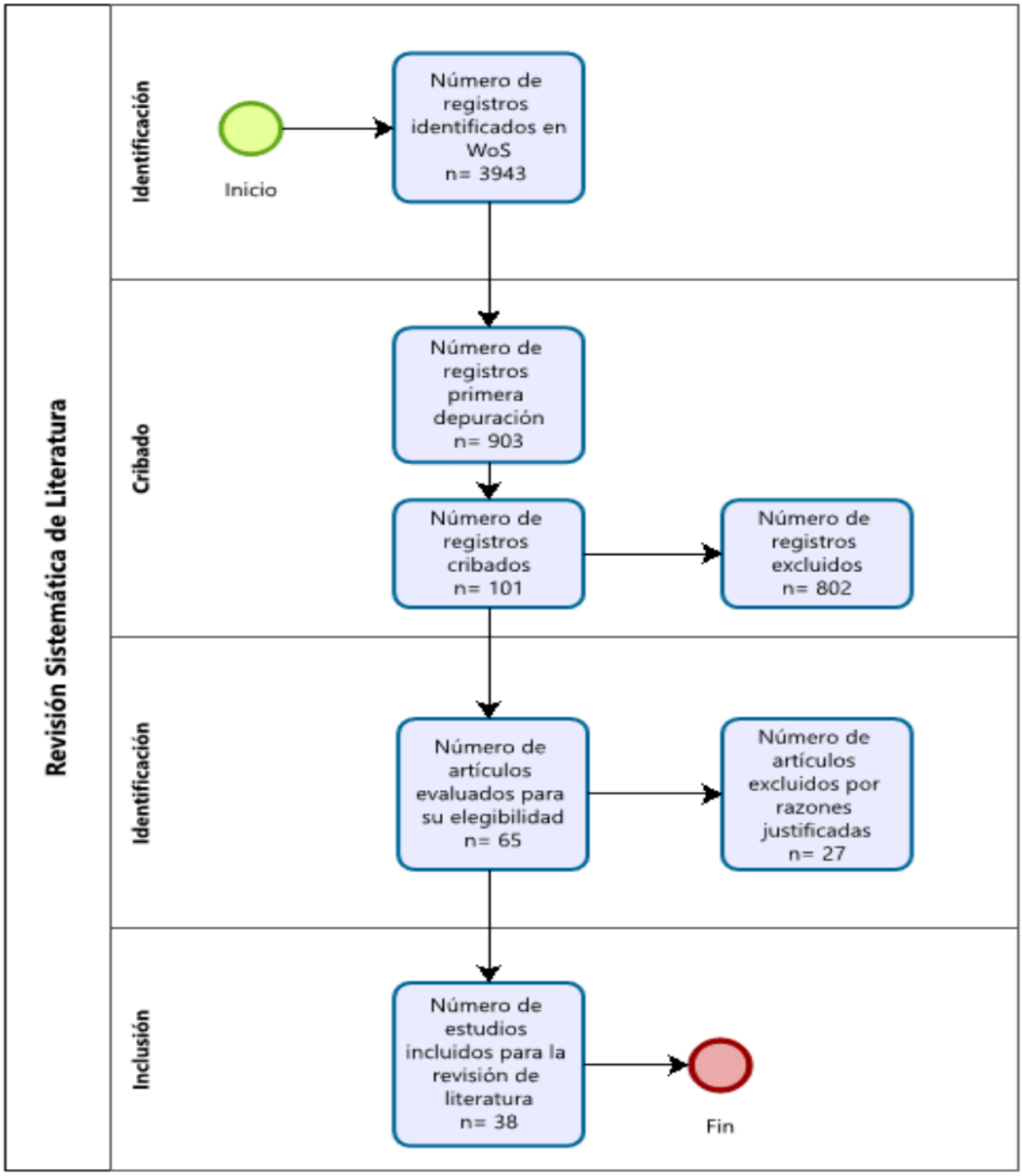


Fig. 3. Modelo Prisma para artículo de revisión sistemática [26]

En esta parte del proceso investigativo, se elabora la estructura del documento como tal, para tal fin se define que en la parte introductoria, se deben incluir elementos y conceptualizaciones asociadas al proceso de teñido con colorantes reactivos, de manera especial en el manejo de fibras celulósicas; acto seguido, se relaciona bibliografía obtenida, se definen los elementos primarios que intervienen en el proceso de teñido, su incidencia en la fase de adsorción, y la interconexión en la optimización del proceso.

Análisis descriptivo

Selección de estudios

Los 38 estudios incluidos para esta revisión sistemática, fueron evaluados para ser elegidos, acorde a criterios preestablecidos en el apartado 4.1, pudiendo explicarse que se excluyen a todos aquellos elementos que principalmente no cumplen con los siguientes parámetros: no sean artículos OPEN ACCES, sean publicados antes del 2019, correspondan a CPAPER, JOURNAL y PAPER, además, que guarden relación con los términos de búsqueda (algodón, colorantes reactivos, cinética tintórea, fase de adsorción, proceso de teñido). La Figura 4 muestra el resultado de esta clasificación.

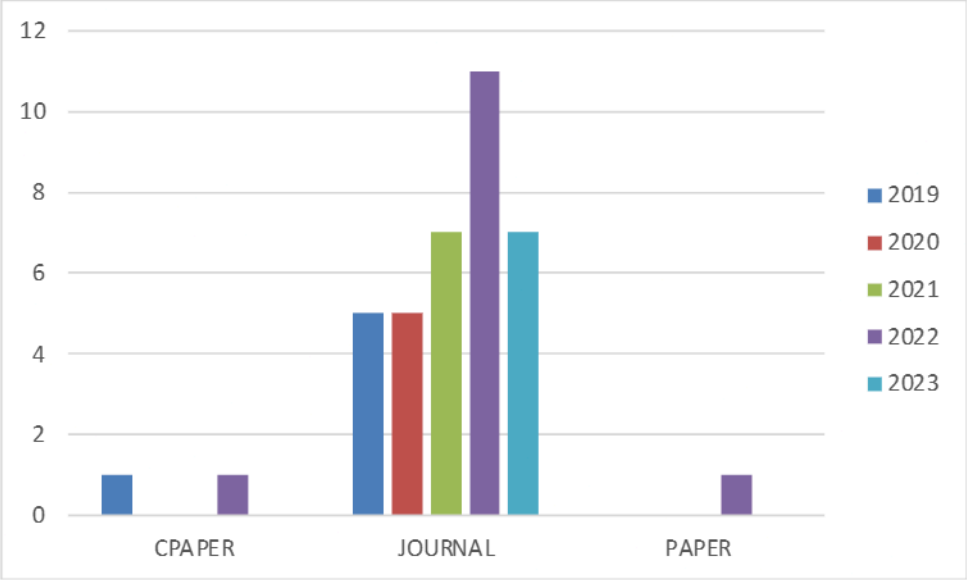


Fig. 4. Número de publicaciones por año

En este sentido, se logra establecer que la revista con más número de publicaciones que almacena en sus repositorios, corresponde a "Moléculas y Materiales", cada una con tres publicaciones; seguidamente, las revistas con 2 publicaciones en sus bases de datos son: 2nd Forum In Research; Science And Technology; Biointerface Research In Applied Chemistry; Coatings; Journal Of Engineered Fibers And Fabrics; Journal Of Molecular Liquids; Rsc Advances; Sustainability; y, finalmente, los respositorios científicos indexados con una publicación por cada una son: 2nd Forum In Research, Science, And Technology; ACS Omega; cellulose; Ecological Chemistry And Engi-neering S-Chemia I Inzynieria Ekologiczna S; Egyptian Journal Of Chemistry; Envi-ronment Protection Engineering; Environmental Science And Pollution Research; Fibers; International Journal Of Biomaterials; International Journal Of Environmental Analytical Chemistry; Journal Of Chemistry; Journal Of Environmental Chemical Engineering; Journal Of Materials Research And Technology-Jmr&T; Materials To-day-Proceedings; Microbiology-SGM; Separations; Third International Conference On Energy Engineering And Environmental Protection y Water Science And Technology (ver Figura 5).

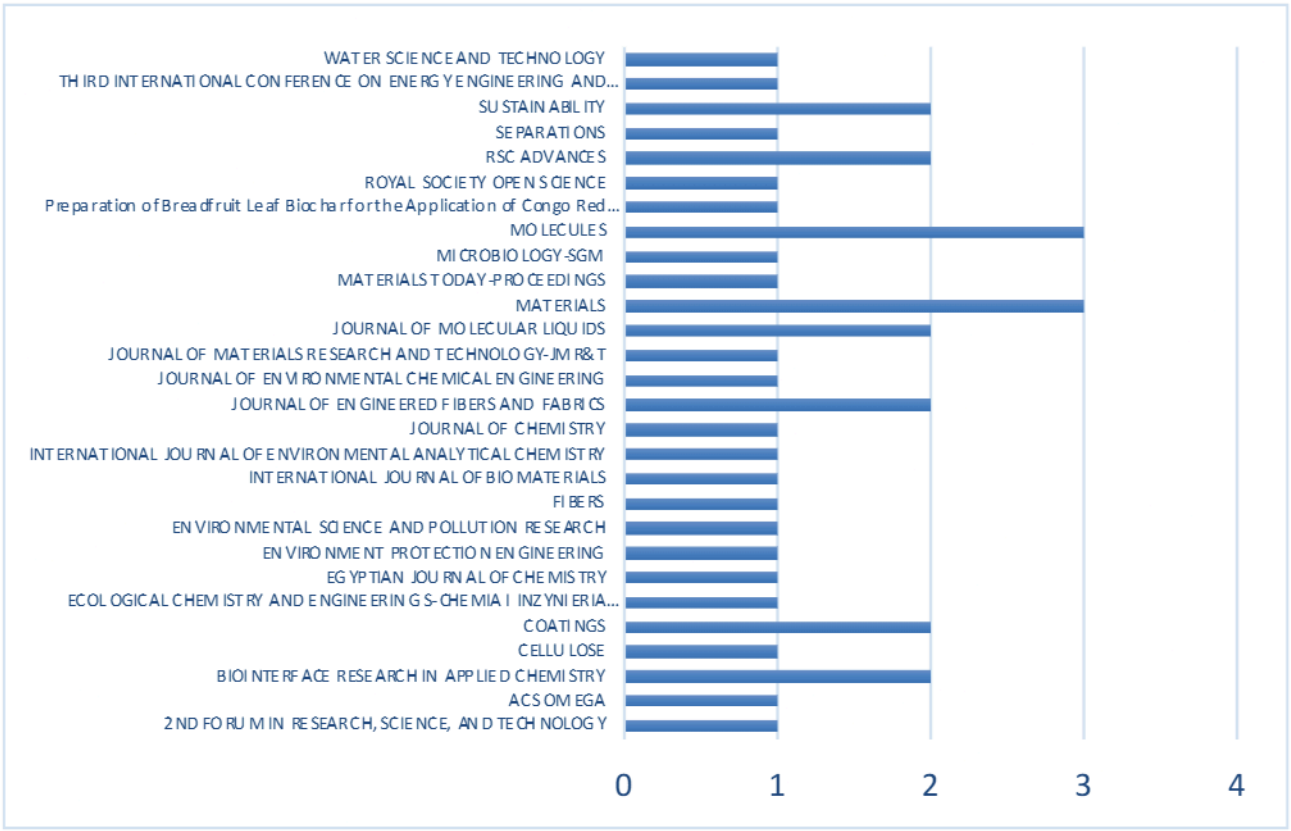


Fig. 5. Repositorios de publicaciones

Características de los estudios

Los 38 estudios elegidos tienen una relación con el tema tratado, y, además, son publicaciones catalogadas como CPAPER con un número total 2 publicaciones, 35 publicaciones catalogadas como JOURNAL y, 1 publicación catalogada como PAPER dentro de WoS. Esta clasificación se muestra en la Figura 6.

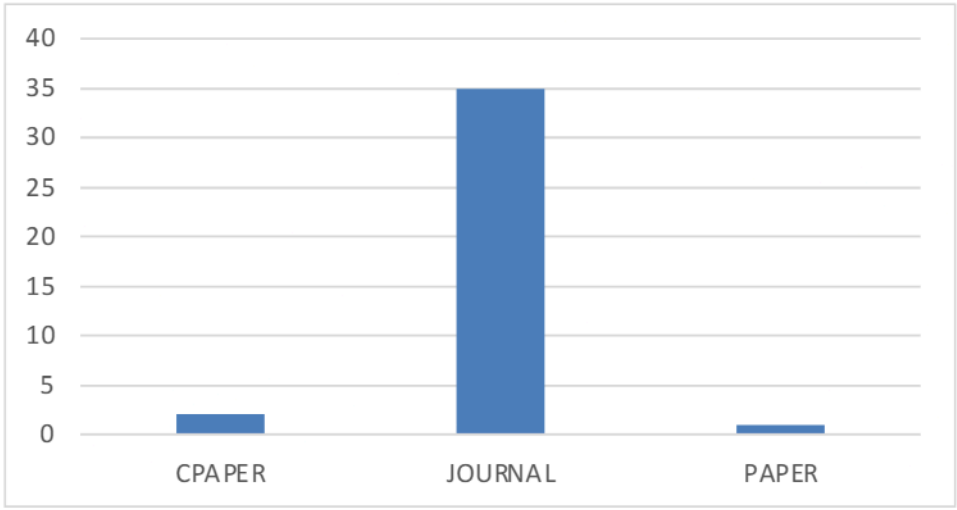


Fig. 6. Características de los estudios

Ubicación geográfica

De acuerdo con los datos analizados (ver Figura 7), se resume que el país con mayor número de publicaciones relacionadas con el tema es Inglaterra con 14 publicaciones, seguido de Suiza con 12 publicaciones, a continuación, los Países Bajos con 5 publicaciones, Polonia y Rumania cada una con 2 publicaciones y Egipto, Alemania y Estados Unidos con 1 publicación por país.

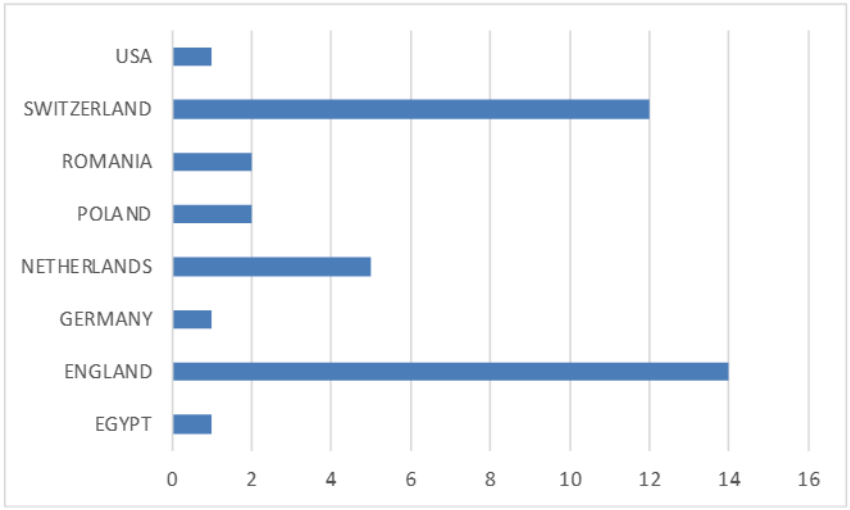


Fig. 7. Número de publicaciones por país

En esta sección, se pretende analizar la información recolectada y segmentarla en dos grupos bien definidos: Adsorción y Cinética tintórea.

Para tal fin, se logran encontrar 27 artículos que abordan la importancia de la fase de adsorción en los procesos tintóreos, tanto en el teñido como tal, así como en la importancia que la adición de sales y álcalis mantiene con el tratamiento de aguas residuales.

Acto seguido, se identifican 11 estudios en los cuales se aborda la temática relacionada con la cinética tintórea (ver Figura 8).

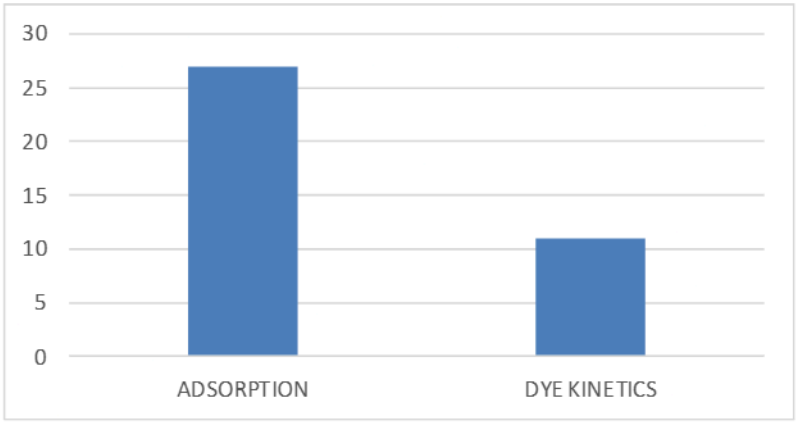


Fig. 8. Categorización

De la información recolectada se han podido establecer una serie de definiciones que sirven de soporte para determinar la relación entre la cinética tintórea y la efectividad del proceso de teñido. En la Tabla 1, se detallan los hallazgos.

Tabla 1. Definiciones Fase de adsorción-Cinética tintórea según algunos autores

Autor	Descripción
Kevin Beng Kieng Lau	Las características que tenga el adsorbente en términos físicos, permite retener una mayor cantidad de tinte en función del área que este posea. [21].
Abu Naser Md Ahsanul Haque	El uso de colorante desencadena a una descarga cuantiosa de aguas residuales. Causante principal de la contaminación. En el mundo, el consumo de colorantes bordea las 700.000 Ton. En diferentes sectores industriales y de estas, entre el 10% al 15% se vierten directamente en forma de aguas residuales [19].
Saheed A. Popoola	Los materiales utilizados para adsorber el colorante azul básico y posterior medición de la eficiencia de la adsorción se realizó en concentraciones y con una cantidad máxima adsorbida de 346 mg/g, según lo estimado por el modelo de Langmuir se encontró que el proceso de adsorción era favorable y espontáneo [14].
Taufiq Rinda Alkas	En lo referente a la adsorción de colorantes, las capacidades de decoloración se vieron afectadas por varios factores, como la concentración del tinte, la temperatura, el pH y las condiciones estáticas o agitadas [23].
Sonalika Sonal	La adsorción es uno de los procesos de tratamiento más simples para la eliminación de colorantes en aguas residuales. Algunos investigadores han informado sobre el uso de carbón activado dopado con diferentes metales para la eliminación de diferentes clases de colorantes, pero su capacidad de adsorción los hace incompatibles [27].
Jiping Wang	El tiempo de equilibrio de adsorción del tinte reactivo es solo de 5-10 minutos a 25 °C, mientras que se necesita más tiempo a 60 °C en el sistema de teñido con agua. La tensión superficial del medio no acuoso influye en la velocidad de adsorción del tinte. Cuanto menor sea la tensión superficial, más rápida será la velocidad de adsorción del tinte reactivo y mayor será la absorción final del tinte. Como resultado, la tecnología de teñido no acuoso proporciona un enfoque innovador para aumentar la absorción de tintes a bajas temperaturas de teñido, además de lograr importantes ahorros de agua [28].
Stanislaw Pruś	los tintes con carga negativa y las fibras con carga negativa experimentan una repulsión iónica, lo que dificulta el agotamiento. Para superar este problema, se agregan electrolitos (el más común es el sulfato de sodio) para ayudar en el proceso de agotamiento. Después del agotamiento, se lleva a cabo el paso de fijación mediante la adición de álcali. La formación de enlaces covalentes entre el tinte y la fibra solo puede ocurrir cuando el tinte se ha absorbido en la fase de celulosa [1].

Discusión

La relación entre la "fase de adsorción, cinética tintórea y eficiencia del proceso, sustentada en los hallazgos de esta revisión sistemática, han permitido establecer una interconexión muy fuerte, siendo de gran relevancia, resaltar los siguientes aspectos:

Una óptima fase de adsorción, es aquella que permite el desplazamiento de las moléculas de colorantes desde el baño de tintura hacia la fibra, en este sentido, la cantidad de sal necesaria para el intercambio electrolítico es vital, la cantidad óptima de este producto, permitirá que exista una rápida reacción del colorante con la fibra y consecuentemente, la velocidad de teñido se acorte [29]; otro factor muy importante es el nivel de pH, este factor influye de manera drástica, especialmente cuando la fase de adsorción ha terminado

y la absorción comienza, es decir, el colorante pasará desde la superficie de la fibra hacia el interior de esta. Por otra parte, una elección adecuada de parámetros como tiempo de agotamiento, temperatura y gradientes, aportarán a que el proceso sea lo más eficiente posible, pues es en este punto, donde se permite que las moléculas de colorantes se desplacen desde el medio acuoso hacia la fibra y además, la elección adecuada del tipo de colorante y sus características, permitirán que las reacciones químicas se lleven a cabo en el momento ideal; la elección adecuada de colorante y una relación íntima entre las dosificaciones de auxiliares no solo son vitales, son imprescindibles.

Una de las técnicas mayormente empleadas para medir la cinética tintórea se la conoce como espectrofotometría, misma que consiste en la medición de la luz absorbida por el objeto bajo estudio en condiciones controladas, esta cantidad de luz, está dentro de los rangos visibles por el hombre, utilizando técnicas de medición espectral [13][5], pudiendo determinarse la cantidad de colorante retenido por la fibra en función de las comparaciones antes y después del teñido e inclusive, posterior a un proceso de calidad de tintura, tal como es el caso del ensayo AATCC 61 para determinar la solidez del color al lavado.

Al respecto de las limitaciones de este estudio se puede indicar que el acceso de la información, en determinadas instancias, ha llevado a encontrar varios puntos de inflexión que no se consideraron en las revisiones iniciales, por ejemplo, la gran cantidad de estudios que hacen alusión a la fase de adsorción no estrictamente a la fase de teñido, sino más bien al proceso de recuperación de las aguas residuales provenientes de la tintura de fibras de algodón con colorantes directos o con colorantes reactivos; esto ha planteado una serie de cuidados a llevarse a cabo, con el fin de no tener sesgos en los resultados.

Un colorante reactivo está conformado de al menos un grupo cromóforo compuesto por enlaces azoico (N=N), y es el principal elemento para el otorgamiento del color en una tintura [30], además de que estos son la familia más grande de colorantes textiles a nivel mundial, teniendo como resultado ciertas características propias de este producto como: dificultad de degradación en condiciones naturales, dificultad de tratamiento de aguas por sistemas convencionales como: adsorción, filtración, coagulación y floculación, siendo varios de ellos, muy costosos [31].

La cantidad de colorante adsorbido expresado en nivel porcentual implica apenas el 50% en varios casos, es decir, gran cantidad de colorante, por efectos de una mala elección de auxiliares, máquinas y curva de calentamiento, ralentizan su efectividad, teniendo como resultado una cantidad de colorante que finalmente reacciona con el agua del proceso en vez de la tintura [32][33].

Conclusiones

La parte medular de esta investigación gira en torno a encontrar una relación entre la fase de adsorción, la cinética tintórea y posterior eficiencia del proceso de teñido, el análisis de la documentación encontrada, da como resultado que la gran mayoría de estudios centran su atención en la fase de adsorción, por la implicación desde el punto de teñido y la posibilidad de recuperar las aguas residuales provenientes del teñido con colorantes reactivos, gracias al uso de la fase de adsorción como elemento principal para recolectar el colorante disuelto en el baño de tintura.

La gran mayoría de documentación analizada, da como puntos fuertes para que la fase de adsorción tenga los mejores resultados, a la elección de los productos auxiliares, mismos que deben compartir una carga iónica compatible para prevenir precipitaciones o comportamientos anómalos; además, la selección de los productos reguladores de pH son de suma importancia, pues de ello dependerá que la alcalinidad, establecida en un rango 10,5 a 11,5 permitan que el colorante se desplace del baño de tintura hacia la fibra en las mejores condiciones.

Finalmente, un buen proceso, elección adecuada de curvas de calentamiento de agua y gradientes de temperatura, permiten que la cinética tintórea se desarrolle con normalidad, haciendo que el colorante finalmente tras la fase de adsorción continúe la fase de migración y fijación, mismas que definirán el éxito, en términos de calidad.

Agradecimientos

Cabe señalar que el proceso de revisión sistemática ha requerido de un gran esfuerzo, no solamente intelectual, sino que también ha requerido el financiamiento propio para la búsqueda, extracción y cribado de la documentación, es importante reconocer el apoyo de la Universidad Técnica del Norte al mantener el acceso abierto al personal a su servicio con la información sin mayores restricciones.

References

1. Pruś S, Kulpiński P, Matyjas-Zgondek E, et al (2023) The Light Fastness of the Reactive Dyes on Cationized Cellulose. J Nat Fibers 20:. https://doi.org/10.1080/15440478.2023.2215995

2. Sales DA, Lima PNS, Silva LS, et al (2022) Amino-Functionalized Titanate Nanotubes: pH and Kinetic Study of a Promising Adsorbent for Acid Dye in Aqueous Solution. Materials (Basel) 15:. https://doi.org/10.3390/ma15186393

3. Farias S, De Oliveira D, Ulson De Souza AA, et al (2017) Removal of Reactive Blue 21 and Reactive Red 195 dyes using horseradish peroxidase as catalyst. Brazilian J Chem Eng 34:701–707. https://doi.org/10.1590/0104-6632.20170343s20160091

4. Djordjevic D, Stojiljkovic D, Smelcerovic M (2014) Adsorption kinetics of reactive dyes on ash from town heating plant. Arch Environ Prot 40:123–135. https://doi.org/10.2478/aep-2014-0024

5. Ngaha MCD, Njanja E, Doungmo G, et al (2019) Indigo Carmine and 2,6-Dichlorophenolindophenol Removal Using Cetyltrimethylammonium Bromide-Modified Palm Oil Fiber: Adsorption Isotherms and Mass Transfer Kinetics. Int J Biomater 2019:. https://doi.org/10.1155/2019/6862825

6. Balakrishnan S, Wickramasinghe GD, Wijayapala US (2019) Study on dyeing behavior of banana fiber with reactive dyes. J Eng Fiber Fabr 14:. https://doi.org/10.1177/1558925019884478

7. Liu L, Mu B, Li W, Yang Y (2019) Cost-effective reactive dyeing using spent cooking oil for minimal discharge of dyes and salts. J Clean Prod 227:1023–1034. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.277

8. Al-Qahtani SD, Snari RM, Alamrani NA, et al (2022) Synthesis and adsorption properties of fibrous-like aerogel from acylhydrazone polyviologen: efficient removal of reactive dyes from wastewater. J Mater Res Technol 18:1822–1833. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.03.087

9. Sökmen N, Aktas MO (2013) Dyeing of linen and blends with direct, reactive and sulphur dyes. Asian J Chem 25:3893–3896. https://doi.org/10.14233/ajchem.2013.13835

10. Zhang J, Zhu M, Jones I, et al (2021) Performance of activated carbons prepared from spent tyres in the adsorption of rhodamine B in aqueous solutions. Environ Sci Pollut Res 28:52862–52872. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14502-4

11. Cagnetti C, Gallo T, Silvestri C, Ruggieri A (2021) Lean production and Industry 4.0: Strategy/management or technique/implementation? A systematic literature review. Procedia Comput Sci 180:404–413. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.256

12. Irdemez Ş, Özyay G, Ekmekyapar Torun F, et al (2022) Comparison of Bomaplex Blue CR-L Removal by Adsorption Using Raw and Activated Pumpkin Seed Shells. Ecol Chem Eng S 29:199–216. https://doi.org/10.2478/eces-2022-0015

13. Shan B, Xiong W, Zhang S (2019) Dyeing method and properties of a novel blue azoanthraquinone reactive dye on cotton. Molecules 24:1–9. https://doi.org/10.3390/molecules24071334

14. Popoola SA, Al Dmour H, Rakass S, et al (2022) Enhancement Properties of Zr Modified Porous Clay Heterostructures for Adsorption of Basic-Blue 41 Dye: Equilibrium, Regeneration, and Single Batch Design Adsorber. Materials (Basel) 15:. https://doi.org/10.3390/ma15165567

15. Hasani N, Selimi T, Mele A, et al (2022) Theoretical, Equilibrium, Kinetics and Thermodynamic Investigations of Methylene Blue Adsorption onto Lignite Coal. MOLECULES 27:. https://doi.org/10.3390/molecules27061856

16. Śmigiel-Kamińska D, Kumirska J, Wąs-Gubała J, Stepnowski P (2020) The Identification of Cotton Fibers Dyed with Reactive Dyes for Forensic Purposes. Molecules 25:. https://doi.org/10.3390/molecules25225435

17. Miljković M, Purenović M, Stamenković M, Petrović M (2012) Determination of two reactive dyes concentration in dyed cotton fabric. Hem Ind 66:243–251. https://doi.org/10.2298/HEMIND110721091M

18. Cheng L, Farooq A, Yang HW, et al (2023) A low-dosage chemicals, short process alternative approach to reactive dyeing of golden cocoon-like silk fibers with robust color fastness. Polym Test 123:108035. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.108035

19. Haque ANMA, Sultana N, Sayem ASM, Smriti SA (2022) Sustainable Adsorbents from Plant-Derived Agricultural Wastes for Anionic Dye Removal: A Review. Sustain 14:. https://doi.org/10.3390/su141711098

20. Machado KMG, Compart LCA, Morais RO, et al (2006) Biodegradation of reactive textile dyes by basidiomycetous fungi from Brazilian ecosystems. Brazilian J Microbiol 37:481–487. https://doi.org/10.1590/S1517-83822006000400015

21. Kieng, Kevin; Hadibarata, Tony; Elwina, Elwina; Dewi R (2016) Reactive dyes adsorption via Citrus hystrix peel powder and Zea mays cob powder: characterization, isotherm and kinetic studies. 6:1612–1620

22. Carneiro PA, Boralle N, Stradiotto NR, et al (2004) Decolourization of anthraquinone reactive dye by electrochemical reduction on reticulated glassy carbon electrode. J Braz Chem Soc 15:587–594. https://doi.org/10.1590/S0103-50532004000400023

23. Alkas TR, Ediati R, Ersam T, Purnomo AS (2022) Reactive Black 5 decolorization using immobilized Brown-rot fungus Gloeophyllum trabeum. Mater Today Proc 65:2934–2939. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.521

24. Fakhr IMI, Zayed SMA (2008) Egyptian Journal of Chemistry: Preface. Egypt J Chem 51:647–656. https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2021

25. El-Desouky MG, Hassan N, Shahat A, et al (2021) Synthesis and Characterization of Porous Magnetite Nanosphere Iron Oxide as a Novel Adsorbent of Anionic Dyes Removal from Aqueous Solution. BIOINTERFACE Res Appl Chem 11:13377–13401. https://doi.org/10.33263/BRIAC115.1337713401

26. DG MDATJA (2009) PRISMA 2020 flow diagram new SRs. Prism Statement. https://doi.org/10.1371/journal.pmed1000097

27. Sonal S, Prakash P, Mishra BK, Nayak GC (2020) Synthesis, characterization and sorption studies of a zirconium(IV) impregnated highly functionalized mesoporous actlVated carbonsb. RSC Adv 10:13783–13798. https://doi.org/10.1039/c9ra10103a

28. Wang J, Gao Y, Zhu L, et al (2018) Dyeing property and adsorption kinetics of reactive dyes for cotton textiles in salt-free non-aqueous dyeing systems. Polymers (Basel) 10:. https://doi.org/10.3390/polym10091030

29. Guo J, Wang J, Zheng G (2019) Synthesis of cross-linking cationic starch and its adsorption properties for reactive dyes. In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION. IOP PUBLISHING LTD, DIRAC HOUSE, TEMPLE BACK, BRISTOL BS1 6BE, ENGLAND

30. Araujo FV da F, Yokoyama L, Teixeira LAC (2006) Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H2O2/UV. Quim Nova 29:11–14. https://doi.org/10.1590/s0100-40422006000100003

31. Ekambaram SP, Perumal SS, Annamalai U (2016) Decolorization and biodegradation of remazol reactive dyes by Clostridium species. 3 Biotech 6:1–8. https://doi.org/10.1007/s13205-015-0335-0

32. Mohamed FA, Abd El-Megied SA, Mohareb RM (2020) Synthesis and application of novel reactive dyes based on dimedone moiety. Egypt J Chem 63:4447–4455. https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2020.24092.2437

33. El-Apasery MA, Aly AA, Ahmed DA (2022) Decolorization of Reactive Dyes, Part II: Eco-Friendly Approach of Reactive Dye Effluents Decolorization Using Geopolymer Cement Based on Slag. Egypt J Chem 65:49–54. https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.146015.6355.



INNOVATION

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

Método matricial para evaluación basado en valores y vectores propios

http://doi.org/10.53358/ideas.v6i2.1077

Jorge Ricardo Benalcázar Gómez, Alejandra Mabel Pinto Erazo
Universidad Técnica del Norte
jrbenalcazar@utn.edu.ec, ampinto@utn.edu.ec

Fecha de envío, marzo 18/2024 - Fecha de aceptación, mayo 28/2024 - Fecha de publicación, julio 15/2024

Resumen: Frente a diversas causas que conducen a un bajo rendimiento académico estudiantil en temas de Matemática, se planteó como objetivo una métrica con método matricial para la evaluación del aprendizaje de Matemática Compleja; considerando los ejes actitudinal, procedimental y cognitivo, así también los aspectos conceptual, algebraico y gráfico-numérico, es decir una matriz 3x3 que permitió recopilar datos específicos. Luego de la aplicación de ensayos experimentales enfocados a la obtención, procesamiento e interpretación de datos numéricos, se obtuvo como resultado dos matrices específicas de evaluación. Una "matriz de estado" que describe el conocimiento del estudiante antes de la ejecución de la actividad y otra al finalizar el ensayo, las cuales permiten comparar el conocimiento antes y después, expresarlo como extremos de una cadena de Márkov; así también, comparar con otras métricas de evaluación existentes, siendo las matrices una rúbrica de calificación que ayuda a identificar las fallas y plantear mejoras. Mediante un programa en MATLAB, se identificó un segundo resultado en forma de "Matriz de Transformación" que determina la evolución de la matriz de estado, es decir visualiza cuantitativamente el aprendizaje y por tanto mide la eficiencia de la actividad académica. Para ella se analizó la existencia de valores y vectores propios, los cuales se interpretan en la etapa de discusión.

Palabras clave: matriz de estado, evaluación del aprendizaje, vectores propios, matriz de transformación.

Abstract: In response to various causes leading to poor academic performance among students in Mathematics, the objective was to establish a matrix method metric for assessing Complex Mathematics learning; considering attitudinal, procedural, and cognitive axes, as well as conceptual, algebraic, and graphic-numerical aspects, i.e., a 3x3 matrix that allowed for the collection of specific data. Following the application of experimental trials focused on the acquisition, processing, and interpretation of numerical data, the result was two specific evaluation matrices. A "state matrix" describes the student's knowledge before the activity's execution and another at the trial's end, which allows for the comparison of knowledge before and after, expressing it as the extremes of a Markov chain; also, comparing it with other existing evaluation metrics, with the matrices serving as a grading rubric that helps identify shortcomings and propose improvements. Through a program in MATHLAB, a second outcome in the form of a "Transformation Matrix" was identified, which determines the evolution of the state matrix, i.e., quantitatively visualizes learning and thus measures the academic activity's efficiency. This involved analyzing the existence of eigenvalues and eigenvec-tors, which are interpreted in the discussion stage.

Keywords: state matrix, learning assessment, eigenvectors, transformation matrix.

Autor de correspondencia:
Alejandra Pinto, ampinto@utn.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción

La evaluación es el proceso fundamental que permite medir el aprendizaje y el desempeño de los estudiantes. Se trata de una herramienta esencial para evaluar el nivel de conocimientos, habilidades y competencias que han adquirido los estudiantes, lo que a su vez permite identificar fortalezas y debilidades en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Justificación

A criterio de Hattie [1], se enfatiza la importancia de la retroalimentación en el proceso de aprendizaje y ha desarrollado el concepto de "efecto de retroalimentación", que se refiere a la relación entre la retroalimentación que recibe el estudiante y su capacidad para aprender y mejorar su rendimiento. El docente elabora una secuencia didáctica enfocada a reforzar los puntos débiles del estudiante, mismo que debe conocer sus debilidades, errores e inconsistencias sin que se sienta desmotivado, cuando se le muestre el camino sienta la necesidad de recorrer el "camino faltante".

La evaluación en la educación actual se lleva a cabo de diversas formas, desde exámenes y pruebas escritas hasta proyectos y presentaciones. Además, en los últimos años, se ha dado un mayor énfasis a la evaluación formativa, que implica la retroalimentación constante del docente al estudiante para mejorar su aprendizaje. También se ha fomentado la evaluación por competencias, que evalúa el desempeño del estudiante en situaciones reales, permitiendo una mejor medición de su capacidad para aplicar lo aprendido en el mundo laboral y en la vida diaria.

Marco Teórico

En general, "la evaluación consiste en emitir un juicio de valor, a partir de un conjunto de información sobre la evolución o los resultados de un alumno con el fin de tomar una decisión". La evaluación entendida como valoración, seguimiento, calificación y retroalimentación, elementos indispensables para garantizar la calidad educativa y el éxito académico de los procesos de aprendizaje planificados, debe cumplir con las siguientes características:

- Validez: Se refiere a la capacidad de una evaluación para medir lo que pretende medir, aplicar la rúbrica ideal con certeza. Es importante asegurarse de que la evaluación se centre en los objetivos de aprendizaje específicos, sea coherente con las preguntas, los criterios de evaluación sean claros y relevantes para la materia o habilidad en cuestión [2]. La validez también se relaciona con la equidad, objetividad e imparcialidad en la evaluación, el docente en este contexto debe optimizar su esfuerzo en el cumplimiento de los planes y programas y a la vez impartir justicia.

- Fiabilidad: "No todo lo importante se puede medir, ni todo lo que se mide es importante" A. Einstein. Es importante que los resultados de la evaluación sean coherentes y confiables, incluso si se administra a diferentes grupos de estudiantes o en diferentes momentos. La fiabilidad puede mejorarse a través del uso de instrumentos de evaluación estandarizados con una calificación objetiva consistente y precisa [3].

- Autenticidad: La autenticidad se refiere a la capacidad de la evaluación para reflejar situaciones y contextos del mundo real. Las evaluaciones auténticas ayudan a los

estudiantes a aplicar sus conocimientos y habilidades en situaciones prácticas y relevantes, de nada le sirve a un estudiante de ingeniería conocer la "Ley de la Mano Derecha" si no sabe a qué lado girar el destornillador. Esto puede ayudar a motivar a los estudiantes y a encausar su compromiso dentro de su "contrato de aprendizaje" [4] y rendimiento académico en la institución.

- Retroalimentación: Debe ser específica, constructiva y oportuna para ser efectiva. La retroalimentación efectiva es útil para aumentar el rendimiento académico, la pregunta es; ¿Qué retroalimentar? También puede ser útil para involucrar a los estudiantes en el proceso de evaluación, ya que puedan reflexionar sobre su propio desempeño y establecer objetivos específicos de crecimiento. Se habla entonces de un proceso de evaluación que no tiene un espíritu sancionador o castigador, sino más bien es una investigación que busca dónde aplicar correctivos y así evitar el autoritarismo en el proceso de aprendizaje.

- La flexibilidad La evaluación debe ser accesible y apropiada para todos los estudiantes, independientemente de sus habilidades, necesidades o circunstancias individuales. Esto puede requerir ajustes en el formato, los plazos o los requisitos de la evaluación para satisfacer las necesidades de los estudiantes. La flexibilidad también puede contribuir en la equidad, integrar la inclusión en el proceso de evaluación y romper la barrera con el docente.

- La calificación. - Valoración del rendimiento del alumnado en algún aspecto de la actividad formativa (prueba, test, seguimiento), la calificación es un arduo trabajo docente consistente en revisar minuciosamente las respuestas hasta altas horas de la noche, no para obtener una nota que presentar ante las autoridades, sino ante sus estudiantes, y establecer un plan de mejoras.

- Para medir el estado del conocimiento antes de la actividad académica se suele utilizar una rúbrica de calificación y se compara con los resultados al final de la etapa, la nota al final es función de muchas variables y está lejos de ser una función lineal.

Hipótesis

La utilización de una matriz como rúbrica puede tener una gran influencia en la práctica docente como herramienta para identificar errores y así poder enfocar el proceso de seguimiento, calificación y valoración del crecimiento para contribuir a una mayor comprensión en el proceso de aprendizaje alcanzado luego de la ejecución de actividades específicas dentro y fuera del aula. Puede tomarse como métrica y método para la evaluación del aprendizaje de algunas asignaturas en ciencias exactas, considerando los ejes actitudinales, procedimental [5], cognitivo, así también los aspectos conceptuales, algebraico y el eje numérico-aplicativo de algunas soluciones particulares.

Al plantear una matriz "de estado inicial" E0 para el conocimiento del estudiante antes de la ejecución de la actividad, cada celda tiene asignado un valor taxonómico específico para las preguntas de la evaluación, así se asegura una evaluación auténtica, fiable y válida. E0 contiene la calificación de los parámetros con los que el estudiante inicia el tema, se espera que luego de cada paquete de actividades, la matriz de estado E1 haya mejorado su calificación o nota al concluir el tema 1; así mismo E2 haya mejorado al concluir el tema 2, y así se aplica con cada tema.

Objetivo

La repetición sucesiva y ciega de problemas o actividades conduce a estados del conocimiento C0, C1, C2, C3,…Cn, pero la excesiva aplicación de pruebas, trabajos, test y exámenes, solo estresará al estudiante igual que al maestro, ya no ayudará a mejorar la calificación final del tema [2] , pues se ha alcanzado el límite Cn, sucede lo que se explica más adelante en las fórmulas (7) y (10), ya no se alcanza mayor calificación ni más conocimiento porque que la madurez matemática simplemente es parte del crecimiento mental de la persona y espera su momento de llegar.

Se planteó como objetivo; obtener la matriz específica de evaluación tras varias actividades para poder compararla con otras métricas de evaluación existentes. Esto permitió estimar las matrices anexas a cada método, además ayudó a identificar las fallas del estudiante, adicionalmente encontramos la matriz de transformación T que constituye una rúbrica para evaluar el método aplicado y herramienta para proyectar el conocimiento esperado.

Método

La representación del conocimiento como un "Vector de estado" 3D donde la primera componente se considera la calificación en el eje conceptual C_{11}^{o}, la segunda será en lo algebraico C_{21}^{o} y la tercera componente será numérica C_{31}^{o}, clasifica los tres aspectos dentro de un vector $\overrightarrow{V_0}$ para analizarlos por separado y poder compararlos con la siguiente etapa de aprendizaje.

$$\overrightarrow{V_0} = \begin{pmatrix} C_{11}^{0} \\ C_{21}^{0} \\ C_{31}^{0} \end{pmatrix} \qquad (1)$$

$$\overrightarrow{V_1} = \begin{pmatrix} C_{11}^{1} \\ C_{21}^{1} \\ C_{31}^{1} \end{pmatrix} \qquad (2)$$

Para el vector de estado actitudinal luego de la primera actividad académica, las componentes provienen de las componentes del vector inicial $\overrightarrow{V_0}$ multiplicadas por la probabilidad de mejora o cambio, así entonces tenemos C_{11}^{O} por $\mathcal{P}_{\text{ac}}$, la probabilidad de mejora en el eje actitudinal conceptual, más el aporte por parte de la componente algebraica C_{21}^{O} por la probabilidad de aporte a través de lo actitudinal algebraica $\mathcal{P}_{aa}$ y más la parte numérica C_{31}^{O} de $\overrightarrow{V_0}$ por la probabilidad de ganar desde el eje actitudinal numérico $\mathcal{P}_{\text{an}}$, así obtenemos:

$$C_{11}^{1} = C_{11}^{O} \cdot \mathcal{P}_{ac} + C_{21}^{O} \cdot \mathcal{P}_{aa} + C_{31}^{O} \cdot \mathcal{P}_{an} \qquad (3)$$

De manera similar evolucionan la componente algebraica actitudinal;

$$C_{21}^{1} = C_{11}^{O} \cdot \mathcal{P}_{pc} + C_{21}^{O} \cdot \mathcal{P}_{pa} + C_{31}^{O} \cdot \mathcal{P}_{pn} \qquad (4)$$

E igualmente la componente numérica actitudinal;

$$C_{31}^{1} = C_{11}^{O} \cdot \mathcal{P}_{cc} + C_{21}^{O} \cdot \mathcal{P}_{ca} + C_{31}^{O} \cdot \mathcal{P}_{cn} \qquad (5)$$

Hemos alcanzado el nuevo vector de conocimiento que se obtiene como el producto de una matriz de transformación T por un vector:

$$\overrightarrow{V_1} = \begin{pmatrix} C_{11}^1 \\ C_{21}^1 \\ C_{31}^1 \end{pmatrix} = \mathcal{P} \cdot \overrightarrow{V_0} = \begin{pmatrix} \mathcal{P}_{ActtCncp} & \mathcal{P}_{ActtAlgb} & \mathcal{P}_{ActtNumr} \\ \mathcal{P}_{PrcCncp} & \mathcal{P}_{PrcAlgb} & \mathcal{P}_{PrcNumr} \\ \mathcal{P}_{CgntCncp} & \mathcal{P}_{CgntAlgb} & \mathcal{P}_{Cgnt\ Numr} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} C_{11}^0 \\ C_{21}^0 \\ C_{31}^0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Si asumimos que cada actividad académica tiene un componente actitudinal, procedimental y conceptual en cada uno de los ejes conceptual, algebraico y numérico-gráfico, entonces el vector debe seguir la misma transformación;

$$\overrightarrow{V_2} = \mathcal{P} \cdot \overrightarrow{V_1} = \mathcal{P} \cdot \mathcal{P} \cdot \overrightarrow{V_0} = \begin{pmatrix} \mathcal{P}_{ac} & \mathcal{P}_{aa} & \mathcal{P}_{an} \\ \mathcal{P}_{pc} & \mathcal{P}_{pa} & \mathcal{P}_{pn} \\ \mathcal{P}_{cc} & \mathcal{P}_{ca} & \mathcal{P}_{cn} \end{pmatrix}^2 \cdot \overrightarrow{V_0} \quad (7)$$

A partir de n se puede afirmar que se cumple la propiedad de Márkov [6], donde cada vector sucesivo es un eslabón de la cadena de evolución del conocimiento matemático.

$$\overrightarrow{V_{\mathrm{n+1}}} = \mathcal{P} \cdot \overrightarrow{V_{\mathrm{n}}} = \lambda \cdot \overrightarrow{V_{\mathrm{n}}} \quad (8)$$

$$\mathrm{T} = \mathcal{P}^n = \begin{pmatrix} \mathcal{P}_{ac} & \mathcal{P}_{aa} & \mathcal{P}_{an} \\ \mathcal{P}_{pc} & \mathcal{P}_{pa} & \mathcal{P}_{pn} \\ \mathcal{P}_{cc} & \mathcal{P}_{ca} & \mathcal{P}_{cn} \end{pmatrix}^n \quad (9)$$

$$\mathcal{P}^n = P^{inv} \cdot D^n \cdot P = \left(\overrightarrow{V_{\lambda 1}} \quad \overrightarrow{V_{\lambda 2}} \quad \overrightarrow{V_{\lambda 3}}\right)^{inv} \cdot \begin{pmatrix} \lambda_1^n & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2^n & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3^n \end{pmatrix} \cdot \left(\overrightarrow{V_{\lambda 1}} \quad \overrightarrow{V_{\lambda 2}} \quad \overrightarrow{V_{\lambda 3}}\right) \quad (10)$$

Y a partir de ella la matriz de transformación $\mathcal{P}$ que es útil para proyectar la matriz de estado luego de deberes o tareas.

$$\mathcal{P} = \left(\overrightarrow{V_{\lambda 1}} \quad \overrightarrow{V_{\lambda 2}} \quad \overrightarrow{V_{\lambda 3}}\right)^{inv} \cdot \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{pmatrix} \cdot \left(\overrightarrow{V_{\lambda 1}} \quad \overrightarrow{V_{\lambda 2}} \quad \overrightarrow{V_{\lambda 3}}\right) \quad (11)$$

Debe notarse que los valores propios para $\mathcal{P}^n$ corresponden a los valores propios de $\mathcal{P}$ elevados a la enésima potencia [7], de ahí la necesidad de encontrar los vectores propios para $\mathcal{P}^n$ y luego hallar $\mathcal{P}$ con la fórmula (11). El mismo razonamiento se aplicó al eje procedimental (columna 2) y al eje cognitivo (columna 3), tomando además en consideración; al aspecto conceptual, aspecto algebraico y aspecto numérico-aplicativo, se obtuvo una matriz de estado que tomó la siguiente forma:

$$\begin{pmatrix} Vector\ \text{fila"}conceptual\text{"} \\ Vector\ fila"\ algebraico" \\ Vector\ fila\ "numérico" \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{cnpt}\ A_{ctt} & C_{cnpt}\ P_{rcd} & C_{cnpt}\ C_{gnt} \\ A_{lgbr}\ A_{ctt} & A_{lgbr}\ P_{rcd} & A_{lgbr}\ C_{gnt} \\ \mathrm{n_{mrc}}\ A_{ctt} & \mathrm{n_{mrc}}\ P_{rcd} & N_{mrc} C_{gnt} \end{pmatrix}$$
$$= \left(V_{Columna\ Actitudinal}, \quad V_{Columna\ Procedimental}, \quad V_{Columna\ Cognitiva}\right) \quad (12)$$

Este producto brinda la posibilidad de extrapolar o proyectar el aprendizaje esperado luego de un conjunto de actividades específicas.

$$\begin{pmatrix} C_{11}^2 & C_{12}^2 & C_{13}^2 \\ C_{21}^2 & C_{22}^2 & C_{23}^2 \\ C_{31}^2 & C_{32}^2 & C_{33}^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathcal{P}_{ActtCncp} & \mathcal{P}_{ActtAlgb} & \mathcal{P}_{ActtNumr} \\ \mathcal{P}_{PrcCncp} & \mathcal{P}_{PrcAlgb} & \mathcal{P}_{PrcNumr} \\ \mathcal{P}_{CgntCncp} & \mathcal{P}_{CgntAlgb} & \mathcal{P}_{Cgnt\,Numr} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{11}^1 & C_{12}^1 & C_{13}^1 \\ C_{21}^1 & C_{22}^1 & C_{23}^1 \\ C_{31}^1 & C_{32}^1 & C_{33}^1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

Es decir que el conocimiento del estudiante se caracterizó por una matriz 3x3 de 9 calificaciones a una prueba de 9 preguntas en una prueba estructurada, en dicho caso su evolución pudo expresarse como:

$$C_1 = \mathcal{P} \cdot C_0 = \mathcal{P}^1 C_0$$
$$C_2 = \mathcal{P} \cdot C_1 = \mathcal{P}^2 \cdot C_0$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$C_n = \mathcal{P} \cdot C_{n-1} = \mathcal{P}^n \cdot C_0 \quad (14)$$

Cn representa el conocimiento del estudiante en forma de tres vectores columna luego de n actividades académicas. Si la matriz C_0 tiene inversa C_0^{inv} se puede multiplicar por la derecha, es decir:

$$C_n C_0^{inv} = \mathcal{P}^n \begin{pmatrix} C_{11}^0 & C_{12}^0 & C_{13}^0 \\ C_{21}^0 & C_{22}^0 & C_{23}^0 \\ C_{31}^0 & C_{32}^0 & C_{33}^0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{11}^{inv} & C_{12}^{inv} & C_{13}^{inv} \\ C_{21}^{inv} & C_{22}^{inv} & C_{23}^{inv} \\ C_{31}^{inv} & C_{32}^{inv} & C_{33}^{inv} \end{pmatrix} = \mathcal{P}^n \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \mathcal{P}^n \quad (15)$$

[8], se obtuvo la fórmula para calcular $\mathcal{P}^n$ en base a datos conocidos;

$$\mathcal{P}^n = C_n \cdot C_0^{inv} \quad (16)$$

La prueba estructurada

La temática es "Números complejos e imaginarios". Luego de la visualización de 5 videos con el respectivo resumen, 5 clases, 1 lección y 1 deber, (total 12 actividades que definen 12 cambios) se diseñó y aplicó la siguiente prueba estructurada, de manera que conste de tres filas y 3 columnas (matriz- 3x3). El modelo se visualiza a continuación en la Tabla 1:

Tabla 1. Estructura de la matriz de estado del conocimiento del estudiante (valores taxonómicos de las 9 preguntas.

EJE ACTITUDINAL	EJE PROCEDIMENTAL	EJE COGNITIVO	
¿Es respetuoso?, ¿Es puntual? ¿Dibuja el problema?	¿Sigue las instrucciones?, ¿Es metódico?	¿Memoriza las definiciones?, ¿Entiende los teoremas y las leyes?, ¿Asocia con ejemplos?	ASPECTO CONCEPTUAL
¿Conoce la ecuación?, ¿Acepta el desafío?	¿Conoce el algoritmo de solución de la ecuación?, ¿Puede despejar la fórmula?	¿Resuelve la ecuación?, ¿Memorizó la fórmula?	ASPECTO ALGEBRAICO
¿Interpreta los resultados?, ¿Toma conciencia del caso?	¿Registra ordenadamente los datos y resultados?, ¿Conoce los algoritmos de cálculo?	¿Calcula correctamente?, ¿Grafica bien los resultados?, ¿Extrae conclusiones?	ASPECTO NUMÉRICO APLICATIVO

Con base en este análisis taxonómico se procedió a realizar una evaluación cuantitativa como la que se muestra a continuación;

UTN-FICA-CITEL-Matemática Aplicada AbrlAgst2023

Números Imaginarios ***Mcf Jorge Benalcázar G.*** ***Fecha:***

Apellidos y Nombre: ***C.I.***

Indicaciones. - Encuentre la respuesta a cada una de las preguntas y escríbala en el casillero correspondiente que está numerado el lado posterior de esta hoja. Use los valores p= q= asignados por el docente.

Pregunta11.- $1+\sqrt{3}$ *; es un número; racional, complejo, irracional o natural. (escriba la palabra)*

Pregunta12.- Para multiplicar los números complejos $z_1 = (1 + q \cdot i)$ *y* $z_2 = (p - i)$ *¿Se debe usar la propiedad asociativa, conmutativa o distributiva? (escriba la palabra)*

Pregunta13.- Defina . $\sqrt{-1}$

Pregunta 21.-Calcular la suma de $z_1 = (p + 2 \cdot i)$ *y* $z_2 = (q - i)$

Pregunta 22.-Calcular el producto de los números complejos: $z_1 = (1 \; ; \; 25^o)$ *por p y* $z_2 = (2 \; ; \; -15^o)$ *por q.*

Pregunta 23.- Escriba la fórmula general para calcular el producto de dos complejos en coordenadas cartesianas

Pregunta 31.- Indique el valor de $(\sqrt{-1})^1$ *y de* $(\sqrt{-1})^3$

Pregunta 32.- Calcular el producto de complejos; $z_1 = (p + 2i)$ *y* $z_2 = (2 - q \cdot i)$

Pregunta 33.- En que eje se encuentra $(\sqrt{-1})^2$

Tabla 2.- Matriz de respuestas correctas a las 9 preguntas planteadas.

EJE ACTITUDINAL	EJE PROCEDIMENTAL	EJE COGNITIVO	
R11; Es un número irracional	R12; Se debe usar la propiedad distributiva	R13; Es un vector de longitud 1 hacia el ejercicio +1	ASPECTO CONCEPTUAL
R21; $z_1 + z_2 = (p + q \; ; \; i)$	R22; $z_1 z_2 = (2pq, 10^o)$	R23; $z_1 z_2 = [(au - bv), (av + bu)i]$	ASPECTO ALGEBRAICO
R31; $(\sqrt{-1})^1 = i$ y $(\sqrt{-1})^3 = -i$	R32; $z_1 z_2 = [2(p + q), (4 - pq)i]$	R33; Se encuentra en el eje real negativo	ASPECTO NUMÉRICO APLICATIVO

La calificación debió cuantificarse en cada celda, es decir que constará la nota completa o la nota mínima, sin valores intermedios que pudieran conducir a la existencia de filas proporcionales entre sí y que; $det(C) = 0$, en cuyo caso no existiría la matriz inversa y el método no sería confiable. Para evadir este caso, las calificaciones máxima y mínima fueron elegidas por los autores de manera Heurística siguiendo el criterio que se detalla a continuación:

Las notas asignadas como máximo, y que se muestran en la tabla 3 son tales que los tres vectores fila son linealmente independientes al igual que los vectores columna de la Tabla 3, los valores estimados como mínimo se toman de la nota máxima dividida para 10 como en la tabla 7, de ese modo fueron distintos de cero y no hubo filas proporcionales, así siempre se tuvo $det(C) \neq 0$. Se hizo que la suma sea 10 y su determinante sea distinto de cero, con los datos de la matriz de la tabla 3 y la fórmula (16) se encuentra $\mathcal{P}^n$, cuyos EIGEN valores son calculados con el siguiente algoritmo en MATLAB:

```
% CALCULA VALORES PROPIOS, MATRIZ DIAGONAL Y VECTORES PROPIOS E10
%Eo = input ('Ingresa la matriz E0 en la forma [e11, e12, e13; e21, e22, e23; e31, e32, e33]: ')
Eo = [0.1,0,0; 0,0.15,0;0,0,0.1];
Eo_inv=inv (Eo);
%Cn = input ('Ingresa la matriz Cn en la forma: [c_11^n, c_12^n, c_13^n; c_21^n, c_22^n , c_23^n; c_31^n,
c_32^n, c_33^n]; ')
Cn = [0.7,0.8,0.95; 1.3,1.5,1.4;1.25,1.1,1];
Tn= Eo_inv *Cn;
% Se calculan los valores propios y vectores propios de Tn =Tn
[eigenVectors, eigenValues] = eig (Tn);
P=eigenVectors;
% Matriz inversa de P (Pinv)
P_inv=inv(P);
disp ('MATRIZ INVERSA Pinv=');
disp(P_inv);
% Muestra los valores propios pero elevados a la n-ésima potencia
disp ('Valores Propios elevados a la n potencia:');
Dn=eigenValues;
disp (diag (Dn));
D = [1,0,0; 0,1,0;0,0,1];
% el programa debe oftener la n-ésima raíz real de los VP de Dn e ingresarlos a la matriz D
D (1,1) = (abs (Dn (1,1))) ^ (1/12);
D (2,2) = (abs (Dn (2,2))) ^ (1/12);
D (3,3) = (abs (Dn (3,3))) ^ (1/12);
%Se eligen valores reales de la raíz deλ^n
disp ('3 Valores Propios=');
disp(diag(D));
disp ('MATRIZ DE PASO=');
disp(P);
disp ('MATRIZ DE TRANSFORMACIÓN T=');
T= P_inv*D*P;
disp(T); %FIN DE LA OPERACIÓN!
```

En el caso analizado, la matriz es diagonalizable, sin embargo, existe la posibilidad de que no lo sea; entonces se debería revisar si el método propuesto puede adaptarse para usar la forma canónica de Jordan, que es una generalización de la forma diagonal para matrices que no son diagonalizable. La forma de Jordan permite trabajar con bloques para cada valor propio, que no son necesariamente de 1x1 (es decir, no son escalares) pero aún facilitan ciertos cálculos y transformaciones de la matriz. Este análisis, así como el caso de valores complejos correspondería a un amplio estudio futuro.

Resultados y discusión

Tomando en consideración el valor taxonómico de cada una de las preguntas de la prueba se llegó a la siguiente matriz de calificaciones con los valores tope ideal máximo:

Tabla 3.- Matriz de valoración más alta de cada una de las 9 preguntas.

EJE ACTITUDINAL	EJE PROCEDIMENTAL	EJE COGNITIVO	
C_{11}=0,7	C_{12}=0,8	C_{13}=0,95	ASPECTO CONCEPTUAL
C_{21}= 1,3	C_{22}=1,5	C_{23}=1,4	ASPECTO ALGEBRAICO
C_{31}=1,25	C_{32}=1,1	C_{33}=1,0	ASPECTO NUMÉRICO APLICATIVO

Con el uso de MATLAB se obtienen las potencias 12 de los valores propios, $\lambda_1^{12} = 28.6951 \quad , \lambda_2^{12} = -2.5288 \quad , \lambda_3^{12} = 0.8337$, de acuerdo con la Fórmula de Moivre; existen 12 raíces complejas, se tomó solo una de sus proyecciones reales positiva; $\lambda_1 = 1.3228 \quad , \lambda_2 = 1.0804 \quad y \ \lambda_3 = 0.9850$, para construir los vectores propios y la respectiva matriz de paso:

$$P = \begin{pmatrix} -0.4968 & -0.6600 & 0.4065 \\ -0.5609 & -0.0982 & -0.8116 \\ -0.6622 & 0.7448 & 0.4196 \end{pmatrix}$$

cada columna representa una ruta de crecimiento del estudiante.

Matriz de Transformación:

$$T = \begin{pmatrix} 1.1123 & 0.1329 & -0.0329 \\ 0.1348 & 1.1603 & -0.1028 \\ -0.0384 & -0.1015 & 1.1156 \end{pmatrix}$$

Con esta matriz de transformación se puede proyectar la calificación de una futura actividad, sin embargo, ni el conocimiento ni la calificación mejoran. La aplicación de la prueba antes indicada con las cotas de valoración de las tablas 3 y 7, condujo a los siguientes resultados para el mejor estudiante del grupo:

Tabla 4.- Estructura de la matriz de calificaciones obtenida por el estudiante élite.

EJE ACTITUDINAL	EJE PROCEDIMENTAL	EJE COGNITIVO	
C_{11}=0,7	C_{12}=0,8	C_{13}=0,95	ASPECTO CONCEPTUAL
C_{21}= 1,3	C_{22}=0,15	C_{23}=1,4	ASPECTO ALGEBRAICO
C_{31}=1,25	C_{32}=1,1	C_{33}=1,0	ASPECTO NUMÉRICO APLICATIVO

La suma es 8,65, nota para el mejor estudiante, los valores propios reales de la matriz Tn de un estudiante sobresaliente son: $\lambda_1^{12} = 26.2955 \quad , \lambda_2^{12} = -2.4687 \quad , \lambda_3^{12} = -5.8268$, del conjunto de raíces, se elige la real y positiva; $\lambda_1 = 1.3132 \quad , \lambda_2 = 1.0782 \quad y \ \lambda_3 = 1.1582$ conducen a la matriz de paso:

$$P = \begin{pmatrix} -0.5375 & -0.7482 & 0.2296 \\ -0.4478 & 0.1084 & -0.8748 \\ -0.7146 & 0.6545 & 0.4267 \end{pmatrix}$$

Y a la Matriz de Transformación:

$$T = \begin{pmatrix} 1.1932 & 0.0764 & -0.0553 \\ 0.0708 & 1.2530 & -0.0247 \\ -0.0501 & -0.0174 & 1.1035 \end{pmatrix}$$

Una actividad adicional ayuda a este estudiante a alcanzar una nota de 9, la pregunta es ¿Hay tiempo para aquello? Resultados para el estudiante medio:

Tabla 5.- Matriz de calificación obtenida por un estudiante medio.

EJE ACTITUDINAL	EJE PROCEDIMENTAL	EJE COGNITIVO	
C_{11}=0,07	C_{12}=0,8	C_{13}=0,95	ASPECTO CONCEPTUAL
C_{21}= 1,3	C_{22}=0,15	C_{23}=1,4	ASPECTO ALGEBRAICO
C_{31}=1,25	C_{32}=0,11	C_{33}=1,0	ASPECTO NUMÉRICO APLICATIVO

Podemos darnos cuenta de que su suma es 7,03 nota de un estudiante medio, los valores propios para dicho estudiante son: $\lambda_1 = 1.2880$, $\lambda_2 = 1.1875$ y $\lambda_3 = 1.0215$, del conjunto de raíces, se elige la real y positiva; con ellos obtenemos tres vectores propios:

$$P = \begin{pmatrix} -0.5246 & -0.8073 & -0.5031 \\ -0.5389 & 0.2080 & -0.6062 \\ -0.6590 & 0.5522 & 0.6160 \end{pmatrix}$$

La Matriz de Transformación indica un bajo aporte de las actividades hacia lo algebraico, para subir su nota a 8, necesitaría por lo menos dos actividades extra.

$$T = \begin{pmatrix} 1.1336 & 0.1223 & 0.1118 \\ 0.0581 & 1.2607 & 0.0428 \\ 0.0678 & -0.0836 & 1.1028 \end{pmatrix}$$

La más baja nota dentro del grupo corresponde a la tabla 6.

Tabla 6.- Rúbrica del estudiante con calificación de 2,575.

EJE ACTITUDINAL	EJE PROCEDIMENTAL	EJE COGNITIVO	
C_{11}=0,07	C_{12}=0,8	C_{13}=0,95	ASPECTO CONCEPTUAL
C_{21}= 0,13	C_{22}=0,15	C_{23}=0,14	ASPECTO ALGEBRAICO
C_{31}=0,125	C_{32}=0,11	C_{33}=0,1	ASPECTO NUMÉRICO APLICATIVO

Del conjunto de raíces, se elige la real y positiva, los valores propios reales de la matriz de la figura 6 son:

$\lambda_1 = 1.1566$, $\lambda_2 = 1.0975$, $\lambda_3 = 0.7353$, de ahí los Vectores propios:

$$P = \begin{pmatrix} 0.9267 & 0.9559 & 0.1792 \\ 0.2286 & -0.1456 & -0.7588 \\ 0.2981 & -0.2552 & 0.6262 \end{pmatrix}$$

La Matriz de Transformación indica deficiencias en el aspecto conceptual y numérico, el estudiante necesita repetir todas las actividades.

$$T = \begin{pmatrix} 1.0008 & 0.1302 & -0.2511 \\ 0.1623 & 1.0202 & 0.2787 \\ -0.0603 & 0.0541 & 0.9684 \end{pmatrix}$$

Para los valores mínimos se tiene:

Tabla 7.- Matriz de valoración más baja posible de cada pregunta.

EJE ACTITUDINAL	**EJE PROCEDIMENTAL**	**EJE COGNITIVO**	
C_{11}=0,07	C_{12}=0,08	C_{13}=0,095	ASPECTO CONCEPTUAL
C_{21}= 0,13	C_{22}=0,15	C_{23}=0,14	ASPECTO ALGEBRAICO
C_{31}=0,125	C_{32}=0,11	C_{33}=0,1	ASPECTO NUMÉRICO APLICATIVO

La suma es 1.0 y su determinante D=7,223. Del conjunto de raíces, se elige la real y positiva, los valores propios de la matriz son: $\lambda_1 = 1.0918$, $\lambda_2 = 0.8918$, $\lambda_3 = 0.8130$

Vectores propios:

$$P = \begin{pmatrix} -0.4968 & -0.6600 & 0.4065 \\ -0.5609 & -0.0982 & -0.8116 \\ -0.6622 & 0.7448 & 0.4196 \end{pmatrix}$$

La Matriz de Transformación indica deficiencias en el aspecto conceptual y numérico, el estudiante necesita repetir todas las actividades.

$$T = \begin{pmatrix} 0.9181 & 0.1097 & -0.0272 \\ 0.1113 & 0.9577 & -0.0849 \\ -0.0317 & -0.0838 & 0.9208 \end{pmatrix}$$

A diferencia de los otros, el método matricial nos brinda la matriz de transformación T para poder predecir el crecimiento de la matriz de conocimientos del estudiante. Los vectores propios nos indican la ruta de expansión del conocimiento tras tal o cual actividad académica. Podemos hablar entonces del espacio vectorial del conocimiento adquirido.

Conclusiones

Es posible definir un vector fila 1x3 netamente conceptual, con tres componentes; actitudinal, procedimental y cognitiva, un segundo vector fila 1x3 netamente algebraico con similares componentes y finalmente un tercer vector fila 1x3 con las mismas componentes, pero con contenido numérico aplicativo.

El crecimiento matemático del estudiante en cada aspecto puede expresarse mediante una cadena de Márkov de vectores fila 1x3.

Finalmente es posible definir una cadena de matrices de estado 3x3 para expresar la evolución del conocimiento del estudiante en los aspectos; conceptual, algebraico, numérico por filas, y en los ejes; actitudinal, procedimental, cognitivo por columnas.

Es posible encontrar una matriz de transformación T que determina la evolución del conocimiento tras una o varias actividades académicas, como un producto de vector por matriz.

Cada valor propio de la matriz de transformación T está asociado a un vector propio (vector fila) en el eje actitudinal, otro vector fila en el eje procedimental y un tercer valor conduce a un vector fila en el eje cognitivo. Así, cada vector propio determina la "ruta" de crecimiento mental del estudiante y por lo tanto define el valor taxonómico real de las actividades guiadas o ejecutadas por el docente.

Se logra identificar fallas puntuales en el aprovechamiento tales como: un estudiante necesita profundizar más en lo conceptual numérico porque los resultados de la matriz de Transformación indican un bajo aporte de las actividades hacia lo algebraico, para subir su nota a 8, necesitaría por lo menos dos actividades extra.

Recomendaciones

Aplicar el presente método por vectores para identificar la ruta de crecimiento del conocimiento estudiante e identificar deficiencias y poder guiar su mejora.

Aplicar el presente método por matrices para identificar las rutas óptimas de crecimiento del conocimiento estudiantil y poder evaluar los métodos docentes y así poder guiar su mejora. Es importante explorar los casos de valores propios complejos y de vectores con componentes complejas.

Referencias

1. Hattie, J., Visible Learning. Routledge ed. 2009.
2. Espíndola Castro, J.L., Reingeniería educativa: Enseñar y aprender por competencias. 2011, México: Segunda edición.
3. Pérez Gómez, Á.I., Educarse en la era digital. Morata ed. 2012, Madrid.
4. Holton Iii, E.F.S.R.A. and M.S. Knowles, Andragogía: El aprendizaje de los adultos. Oxford Uni ed. 2001, México, D.F.
5. Dugua Chatagner, C.C.R.M.d. and S. Olivares Lucas, La evaluación del aprendizaje en el nivel superior desde el enfoque por competencias. México, D. ed. 2016, México.
6. Lay, D.C., Álgebra lineal para cursos con enfoque por competencias. Pearson ed. 2013, México, D.F.
7. Grossman, S.I., Álgebra lineal. McGraw-Hil ed. 2008, Madrid.
8. Larson, R., Fundamentos de álgebra lineal. México, D. ed. 2016, México, D.F.: Cengage Learning

.

VOL. 6 Nº2- 2024

IBARRA - ECUADOR

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

IDEAS

Análisis de la resistencia a la tracción y elongación del no tejido de lana de oveja para elaborar sombreros de fieltro

http://doi.org/10.53358/ideas.v6i2.961

Luis Chamorro Ortega[1], Willam Esparza Encalada[1], Betty Jaramillo Tituaña[2]

[1]Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador

[2]Instituto Superior Tecnológico Tena, Tena, Ecuador

lachamorro@utn.edu.ec, wresparza@utn.edu.ec, betty.jaramillo@itstena.edu.ec

Fecha de envío, septiembre 28/2023 - Fecha de aceptación, diciembre 8/2023- Fecha de publicación, julio 15/2024

Resumen: La investigación para obtener no tejido de lana de oveja (NWW) para la aplicación en sombreros de fieltro, inicia desde el lavado de la lana de oveja (SW) se centrifuga y seca al ambiente, luego se abre y mezcla SW en la máquina abridora y mezcladora (O) para obtener una homogenización con promedio de fibra 40mm, a continuación ingresa a la máquina carda (C) consiguiendo alinear las fibras en dirección de máquina (MD) y dirección contraria (CD) enrollado capa sobre capa sobre un cono con forma adecuada en grosor y tamaño. Posteriormente se coloca en una plancha vibradora (VP) al que ingresa vapor a 120o C desde un caldero de vapor (SB) hacia la capa de SW, se amasa y frota con movimientos circulares de vaivén para compactar y enfieltrar formando el NWW colocando al ambiente y secando con diferentes formas y tamaños. Los datos encontrados se analizaron mediante el software Past 4 y tienen una confiabilidad del 95% (P>0,05), llegando a la conclusión que su elongación (E) MD y CD tienen promedios de 59,56 y 58,27% respectivamente, en resistencia a la tracción (TS) 335,846 Newton en MD y 392,218 Newton en CD, resaltando más la energía a la rotura (EB) con 20052,36 Joules en MD y 21951,38 Joules en CD cuando se aplica una fuerza.

Palabras Clave: Lana, no tejido, sombrero.

Abstract: The research to obtain non-woven sheep wool (NWW) for application in felt hats begins with the washing of sheep wool (SW), which is then centrifuged and air-dried. Next, SW is opened and blended in the opening and mixing machine (O) to achieve homogenization with an average of 40mm. It is then processed in the carding machine (C) to align the fibers in the machine direction (MD) and cross direction (CD), and then it is rolled layer by layer onto a properly sized and shaped cone. Subsequently, it is placed on a vibrating plate (VP) where steam at 120°C is introduced from a steam boiler (SB) onto the SW layer. It is kneaded and rubbed with circular reciprocating movements to compact and felt, forming the NWW. Finally, it is left in the open air to dry with various shapes and sizes. The data obtained were analyzed using Past 4 software and have a 95% reliability (P>0.05). The conclusion reached is that the elongation (E) in MD and CD has averages of 59.56% and 58.27%, respectively. The tensile strength (TS) is 335.846 N in MD and 392.218 N in CD, with greater energy at break (EB) being observed at 20,052.36 joules in MD and 21,951.38 joules in CD when force is applied.

Keywords: Wool, non-woven, hat.

Autor de correspondencia:
Luis Chamorro Ortega, lachamorro@utn.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción

El análisis de la resistencia a la tracción y elongación del no tejido de lana de oveja es fundamental para la elaboración de sombreros de fieltro de alta calidad. La resistencia a la tracción se refiere a la capacidad del material para soportar tensiones y estiramientos, mientras que la elongación mide la capacidad del material para estirarse sin romperse. Estos parámetros son importantes para garantizar la durabilidad y calidad del sombrero de fieltro final, puesto que un material que no cumple con estas características podría romperse o desgastarse fácilmente. En este sentido, el análisis de la resistencia a la tracción y elongación del no tejido de lana de oveja es crucial para seleccionar los materiales adecuados y asegurar la producción de sombreros de fieltro de alta calidad y durabilidad.

La viabilidad en las industrias depende de poder crecer y fabricar productos de calidad provenientes de la lana de una manera más respetuosa posible con el ambiente, según la organización internacional textil de lana (TWTO), que ha adoptado el estándar de etiqueta ecológica de la UE como eco-lana, con los niveles de producción estándar de lana; se asumió que los genotipos de ovejas, "carne" tenían un peso de vellón limpio de 3,2 y 4,0 kg [7].

Analizando en conjunto se encuentran 19 razas de ovejas de lana gruesa en todo el mundo, los patrones de mezcla de razas de ovejas probablemente se deben a la expansión de los nómadas y a través de la red de comercio de la Ruta de la Seda [15]. La característica de la lana juega un papel importante en la determinación de su precio, si la lana no cumple con requisitos como el diámetro de la fibra, la longitud de la fibra y la fuerza de la fibra, significa que los agricultores recibirán precios más bajos [27]. Las propiedades de tensión son importantes para la fibra de lana, debido a su efecto directo sobre las propiedades mecánicas de los hilos y telas, la lana merino convencional (CM), y la de Australian Soft Rolling Skin (SRS), no existe una diferencia estadísticamente significativa en la resistencia a la rotura mientras el alargamiento de rotura promedio es ligeramente mayor para SRS (37%) que CM (34%), y SRS (2,38 GPa) tiene un módulo más bajo que CM (2,53 GPa) [25].

Los atributos de la fibra de lana, como el rizado (curvatura), la morfología de las escamas, la relación orto-córtex (OtC) y la recuperación de humedad, pueden tener una influencia significativa en el desempeño de la suavidad, la fibra SRS en comparación con (CM) y rangos de diámetro de fibra (por debajo de 14,5 micras, 16,5-18,5 micras) [26], comparados con otras fibras de lana Merino (18,5 a 20,5 micras), donde las más gruesas son con mayores valores [9].

Los productos industriales de fibras animales, como el cashmere y la lana, son altamente valiosos y a menudo se adulteran durante el marketing, por este motivo, la identificación de las fibras de cashmere y lana se realizan generalmente mediante la distinción de las características morfológicas de la superficie [12]. En la que, la producción de una oveja merina individual de lana está influenciada por las interacciones sinérgicas de la genética de las ovejas, el clima, el manejo de la granja y la nutrición disponible para todo el rebaño [21]. Para su aplicación la lana se mezcla con otras fibras para mejorar la comodidad, la protección, la durabilidad y las características de fácil cuidado, y para impartir una funcionalidad especial [13].

Con el aumento de la contaminación ambiental, ha aumentado la necesidad de explorar materiales compuestos amigables con el medio ambiente en previsión de un futuro sostenible [11], en el marco de la economía circular y del acuerdo verde, la valorización de la lana sucia para crear nuevos recursos con componentes aislantes en la construcción y diversidad de aplicaciones [17]. Como en esta investigación, donde el análisis térmico muestra la ganancia de conductividad del 40% al 52%, aumento la resistencia a la flexión del 30% al 74% y una disminución en la resistencia a la compresión del 48% al 71% [3]. Otra investigación con la inclusión de fibra de lana natural de oveja (SW) en la composición de un bloque de freno ferroviario y luego compararlo con un conjunto de tres fibras comúnmente utilizadas en la industria de materiales de fricción: fibra de aramida (AF), fibra de celulosa (CF) y fibra de poliacrilonitrilo (PAN), produjo mejores resultados que la celulosa [14]. Otra de las aplicaciones es de absorción de sonido, la lana de oveja se convierte en un material de aislamiento térmico satisfactorio con propiedades acústicas deseables en las propiedades acústicas y mecánicas del concreto del 0,5% al 2,5% de fibras de lana de oveja (WF) de desecho y WF modificadas (MWF) [2]. Además se elaboró un material compuesto utilizando papeles de desecho, cáscaras de avellanas, piñas y lana de oveja encontrando que la resistencia a la compresión es alta 32,8093 N/mm2, y la resistencia a la flexión más alta 6,352 N/mm2 completamente respetuoso con el ambiente, biodegradable y de bajo costo a partir de residuos de biomasa [8].

Se desarrolló fieltros técnicos con lanas gruesas y finas, evaluando el aislamiento térmico, resiliencia y resistencia a la abrasión. Los resultados muestran que la lana gruesa en mezclas con lana fina en la proporción de 60:40 se puede utilizar para la preparación de fieltros técnicos [19]. Las fibras proteicas, incluyendo lana fibras, absorben selectivamente iones de metales preciosos; por lo tanto, pueden usarse potencialmente en aplicaciones de tratamiento de aguas residuales, mostró un rendimiento de adsorción de Pd(II) superior en comparación del tejido sin tratar, con una recuperación de Pd del 81% [1]. Además, con la lana se realiza accesorios hospitalarios con una resistencia a la tracción similar a la del fieltro de poliéster, una elongación superior a la del 100% algodón y mezcla, tensión de desgarro inferior, menor resistencia al deslizamiento y buena resistencia al pilling [20].

También se elaboró laminados híbridos de fieltro de fibra de vidrio/lana y se han fabricado a mano utilizando una resina epoxi y se han sometido a cargas de impacto de tracción, flexión y caída de peso hasta la penetración [6]. Como otras condiciones de obtención y caracterización de un fieltro de carbón activado, utilizando como precursor lana de oveja, los resultados revelaron una alta influencia de la temperatura de carbonización en las propiedades fisicoquímicas y texturales de los productos [18].

Se crearon composites de epoxy rellenos de fibras animales y revelaron que los compositos de polímero con fibras animales no tejidas y punzonadas con agujas (N) muestran una buena adherencia interfacial entre la fibra y la matriz [11].

El proceso de resistencia al fieltrado o anti-fieltrado es un proceso de acabado para los productos de lana que garantiza la estabilidad dimensional del producto durante los procedimientos de lavado y limpieza, principalmente cubriendo o eliminando las escamas de la superficie de las fibras de lana [5]. Uno de los procesos iniciales para la formación del no tejido de lana de oveja es el proceso de carbonización de lana, que se utiliza tradicionalmente para depurar las fibras textiles de lana de residuos vegetales, desempeñando un papel clave en términos de calidad de los tejidos producidos [4]. Se toma en cuenta las características deseables del uso final de la lana, la propiedad de afieltrado se considera una propiedad

positiva y/o negativa de las fibras de lana, dado que la propiedad de fieltro se considera un indicador de calidad [24]. Con las aplicaciones industriales realizadas en diferentes campos, se pretende realizar un análisis de las propiedades de Resistencia a la tracción y elongación del no tejido de lana de oveja como una posible aplicación en la fabricación de sombreros, por ser un material maleable y muy fácil de otorgar formas en su aplicación.

Metodología

El método aplicado en este tema se realizó mediante la investigación bibliográfica de información de los procesos de elaboración a partir de lana de oveja (SW) y elaborar no tejido de lana (NWW) con el propósito de caracterizar mediante las normas ISO 3801:1977: textiles-no tejidos- determinación de masa por unidad de longitud y masa por unidad de área. ISO 9073-3_1989: parámetros de Resistencia a la tracción (TS) y elongación (E). ISO 13934-2 (2014): tiempo de rotura (BT) y energía a la rotura (EB).

Materiales y equipos

Al elaborar y obtener el NWW a partir de SW, se utilizó equipos, materiales que se encuentran en el medio, a más de maquinaria construida artesanalmente que se detalla a continuación:

- Fibra de lana de oveja SW longitud promedio 40mm
- Abridora (O): Cilindro de 60cm de diámetro, púas de 0,5cm de diámetro y 4cm de longitud, cilindros alimentadores, telera alimentadora
- Carda (C): Cilindros alimentadores, likerin, gran tambor, cilindros cardadores, cilindros desborradores, doffer, cilindro cónico de envoltura de molde.
- Plancha vibradora (VP): Excéntrica, planchas de bronce, soporte de presión.
- Caldero de vapor (SB): 15btu
- Troquel (DC): Equipo de corte muestras circulares
- Dinamómetro Titan 5 (D)

Proceso de obtención de no tejido de lana

El proceso para elaboración del NWW, inicia a partir de la selección de la SW adecuada para la producción del NWW con una longitud de 40mm, teniendo en cuenta la calidad y el tipo de fibra utilizada con una finura de 24 micras como se muestra en la figura 1:

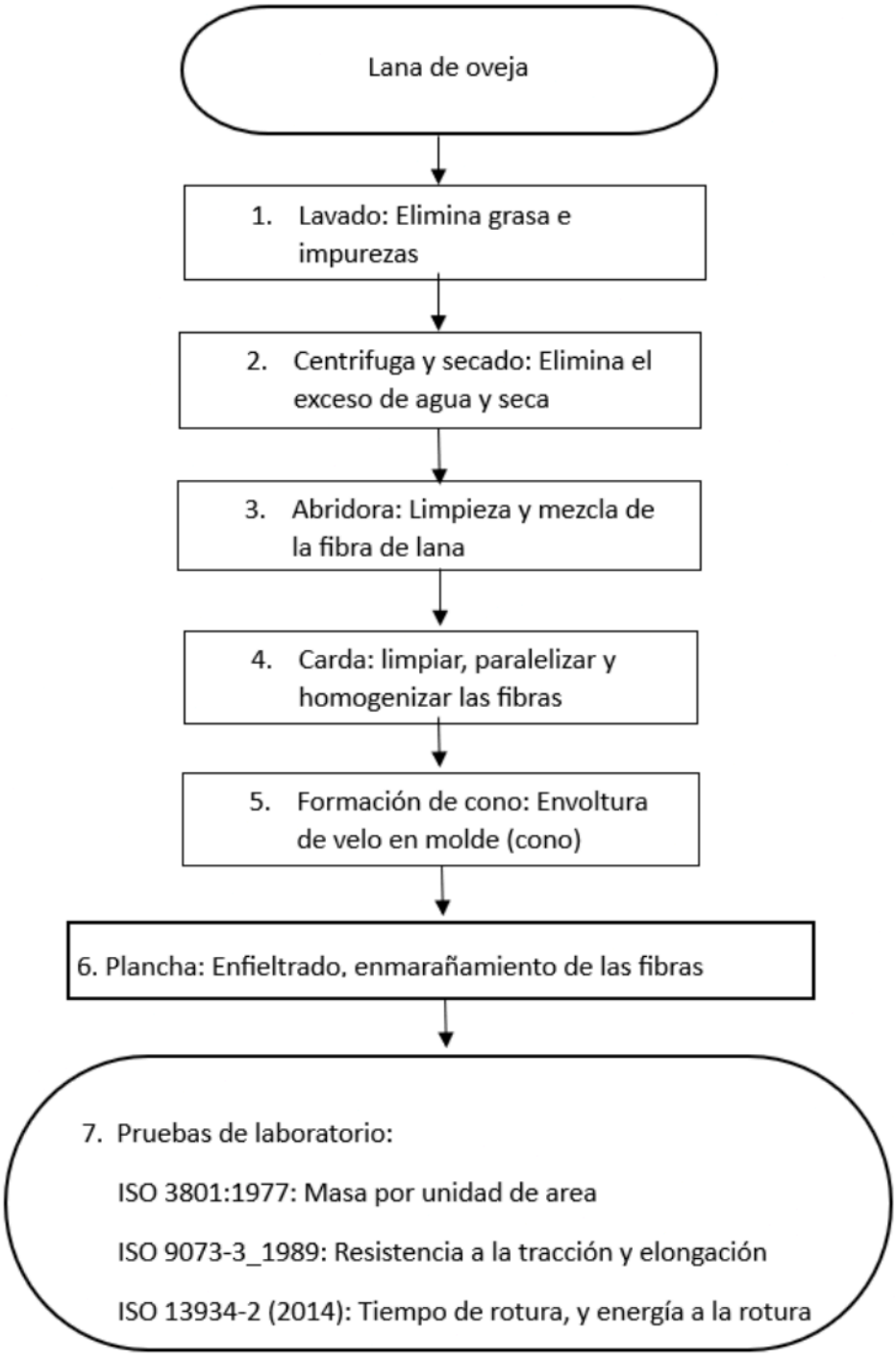


Fig. 1. Flujograma de proceso no tejido de lana.

Primeramente se lava la lana de oveja SW para eliminar las ceras, grasas e impurezas que contiene, se centrifuga y se seca al ambiente, una vez seco, se da tres pasos en la máquina O y mezcladora de fibras, donde se abre estas y elimina las impurezas para obtener una homogenización entre todas las longitudes de fibras de lana con un promedio de 40mm, a continuación pasa a la máquina C para homogenizar, paralelizar y eliminar las impurezas (hojas, espinas y material celulósico) consiguiendo alinear las fibras en la misma dirección en forma de velo y luego en forma de red muy similar a un colchón, enrollando capa sobre capa en un cono uniforme de fibras y con forma adecuada para el sombrero de un peso determinado de acuerdo a su grosor y tamaño. Posteriormente se coloca en la VP al

que se alimenta con vapor a 1200 °C desde un SB a la capa de fibras de lana con forma de un colchón para sombrero, se amasa y se frota con movimientos circulares de vaivén con la VP para unir y compactar las fibras y crear el no tejido por entrecruzamiento de las fibras. Este proceso se debe repetir varias veces para lograr el grado de compactación y entrelazamiento deseado. Una vez formado el NWW, se deja secar para la elaboración de sombreros de fieltro con diferentes formas y tamaños, según se requiera como se observa en la figura 2.



Fig. 2. (a) abridora y mezcla, (b) alimentación carda, (c) envoltura de velo en carda, (d) colchón formado con capas de velo de carda, (e) Planchado enfieltrado, (f) no tejido planchado (g) no tejido en forma de cono seco.

Obtenido el NWW de SW, se realiza un control de calidad en el laboratorio. Preparación de las muestras: Se cortan muestras del no tejido de lana de oveja NWW en forma de rectángulos 5x25cm, siguiendo la norma ISO 13934-2 (2014) de resistencia a tracción y elongación para el tamaño de las muestras. Con el equipo DC de corte muestras circulares, se corta con un diámetro de 10cm y con el equipo D para asegurarse que el NWW cumpla con los requisitos de TS, se sujetan al dispositivo de ensayo de tracción y se estiran gradualmente hasta que se rompan, se determina la fuerza necesaria para producir la rotura y se registra el valor de la TS, la E se define como el cambio en la longitud dividido por la longitud inicial, expresado en porcentaje, también se analiza el BT y EB, así como con otros requisitos de calidad necesarios para la fabricación de sombreros que se muestran en la figura 3.

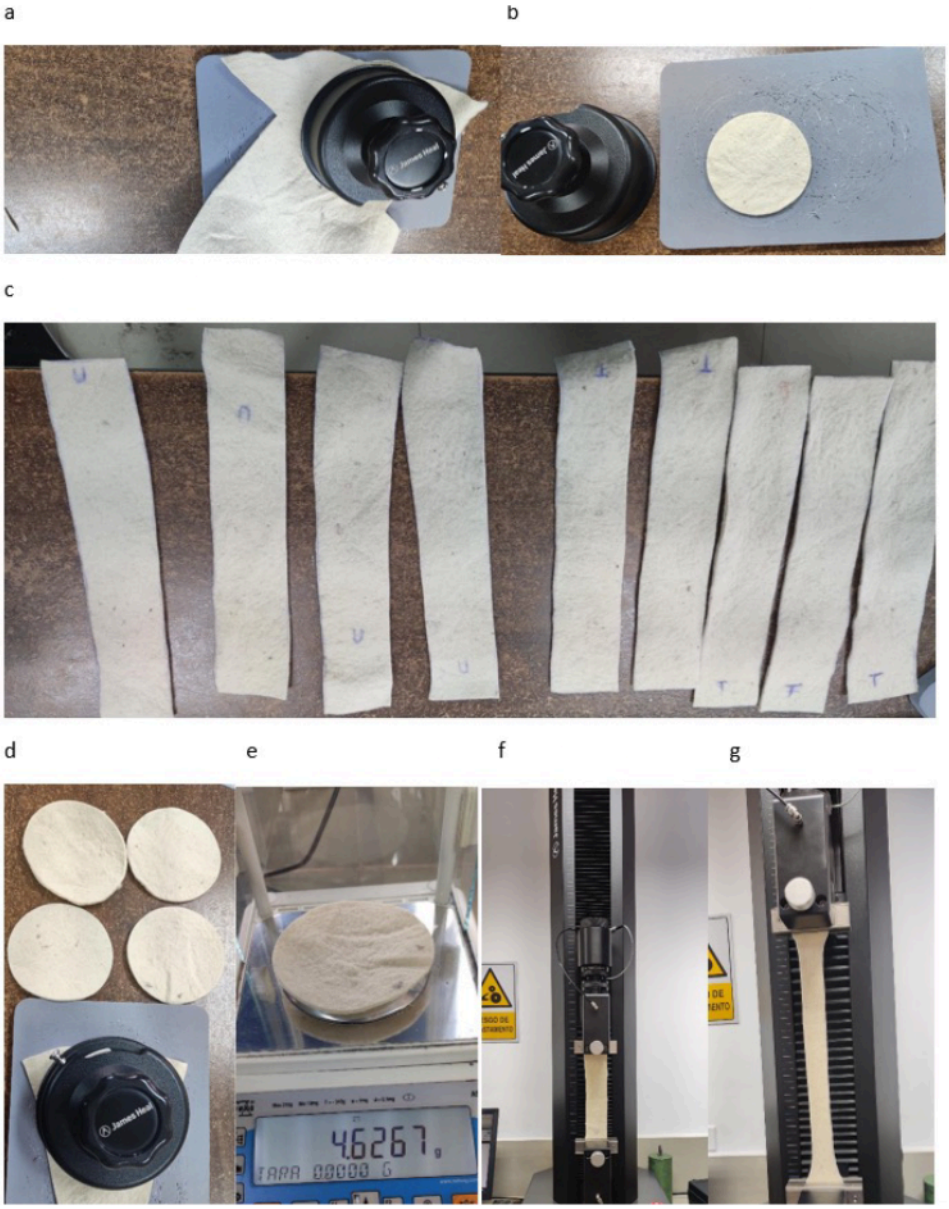


Fig. 3. Proceso de análisis en laboratorio. (a) corte circular de muestra sobre superficie plana eva por unidad de área. (b) forma de corte circular 10cm. (c) corte de muestras 5 x 25 cm de ancho y altura. (d) muestras cortadas. (e) peso de muestra en balanza. (f) dinamómetro colocado la muestra antes de realizar el análisis. (g) muestra realizando el análisis de Resistencia a la tracción, elongación, tiempo de rotura y energía a la rotura en el dinamómetro Titan 5.

Resultados

Realizado los análisis en el laboratorio utilizando el equipo D mediante las 5 muestras obtenidas para el proceso de análisis según la norma ISO 13934-2 (2014), se expresa en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultado de los datos encontrados en laboratorio de calidad.

SAMPLE	W (g)	WL (g/m²)	TS-MD (N)	E-MD (%)	BT-MD (min)	EB-MD (J)	TS-CD (N)	E-CD (%)	BT-CD (min)	EB-CD (J)
1	4,9885	498,85	353,18	57,15	75	21065,7	339,69	58,67	75	19762,84
2	6,201	620,1	336	63,11	82	20937,5	379,57	64,36	82	23514,06
3	5,2168	521,68	285,16	61,46	81	16933,5	389,64	60,17	75	22002,4
4	5,4305	543,05	323,4	55,72	72	18960,4	438,64	47,42	58	20657,82
5	4,6263	462,63	381,49	60,36	76	22364,7	413,55	60,74	75	23819,76

Peso (W), peso superficial (WL), resistencia a la tracción/dirección de máquina (TS-MD), elongación/dirección de máquina (E-MD), tiempo de rotura/dirección de máquina (BT-MD) y energía a la rotura/dirección de máquina (EB-MD). Resistencia a la tracción/dirección contraria (TS-CD), elongación/dirección contraria (E-CD), tiempo de rotura/dirección contraria (BT-CD) y energía a la rotura/dirección contraria (EB-CD).

Con los resultados encontrados se realizó la tabulación, aplicando un diseño experimental que incluya todas las variables a investigar mediante el análisis estadístico de datos utilizando el software Past 4, donde se observa que la normalidad de los datos determina que tiene una confiabilidad del 95% y se encuentran dentro de lo normal (P>0,05).

Análisis de resultados

En el eje X,Y mediante anova, Kruscal Wallis se puede observar que existe una diferencia significativa entre las medianas de las muestras (P<0,05) y la relación que existe entre BT-MD Y BT-CD con (CV=5,449 y CV=12,214) respectivamente (P>0,05), con una ligera dispersión en BT-CD, esto seguramente se debe a que en el proceso de cardado se alimenta manualmente y no tiene un peso en g/m alimentado uniforme, lo que ocasiona que, en la salida de carda una diferencia en su peso por unidad de longitud, esto determina que el tiempo de rotura en dirección de máquina y dirección contraria no existeN diferencias significativas muy grandes, siendo muy similares (P>0,05) a pesar que tiene una variación mínima en sus datos obtenidos.

Además en TS-MD y TS-CD con (CV=10,640 y CV= 9,484), respectivamente, no existen diferencias significativas (P>0,05), tienen una ligera estabilidad en sus muestras indicando que, a pesar de ser alimentación manual a la carda y el resto de procesos, mantiene una resistencia a la rotura uniforme tanto en dirección de máquina y dirección contraria MD y CD, además, la envoltura del velo para formar el colchón con la forma de cono es cruzada, lo que otorga uniformidad en el peso (W) y excelente resistencia en los dos sentidos de TS debido a que, según [25], entre la lana Australiana (SRS) y lana merino convencional (CM) no existe una diferencia estadísticamente significativa en la resistencia a la rotura.

Los W obtenidos del NWW tienen un promedio de 5,292 g y gramos por metros cuadrados WL 529,262 g/m2, siendo muy similar entre las muestras (CV=11,12), no se han encontrado diferencias significativas, (P>0,05), por la mezcla de fibras uniforme, en la apertura y la carda se realizaron con diferentes fibras, donde, las escamas lisas y aplanadas de la fibra de lana [23] otorgan una acumulación de fibras por unidad de área, como se muestra en la figura 4.

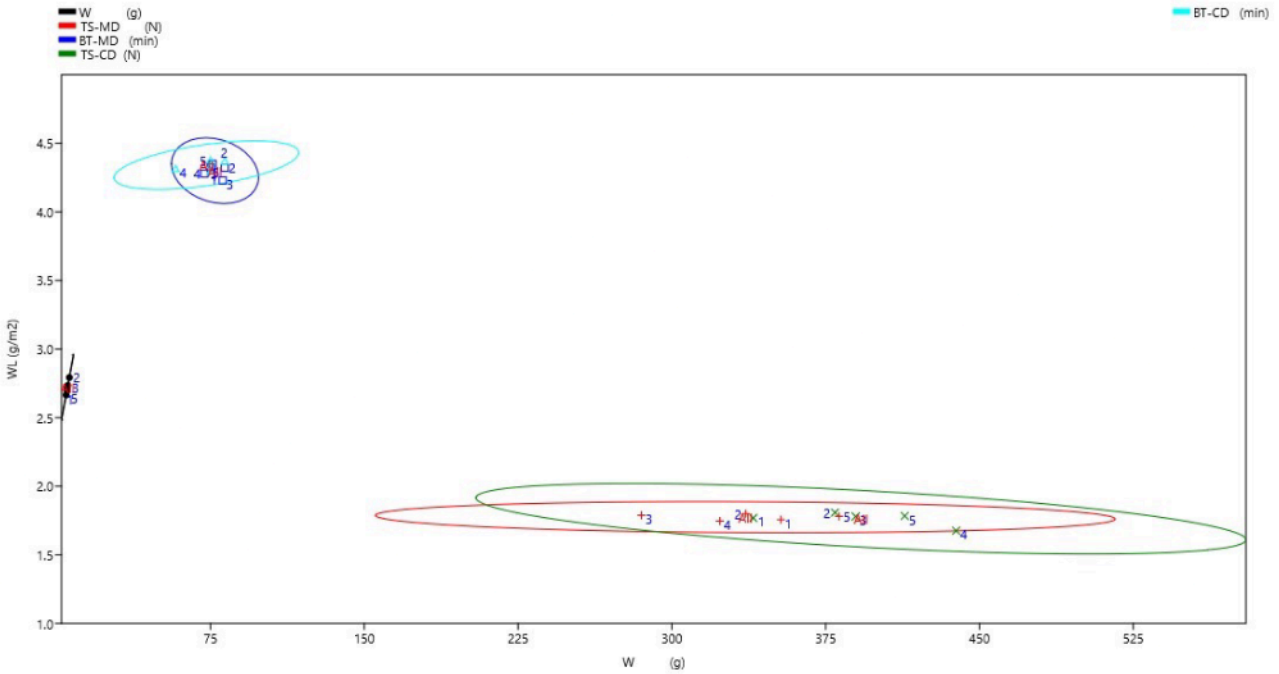


Fig. 4. Similitud entre peso (W), Resistencia a la tracción dirección de máquina (TS-MD), tiempo de rotura dirección de máquina (BT-MD) Resistencia a la tracción dirección contraria (TS-CD), tiempo de rotura dirección contraria (BT-CD).

En el gráfico radar chart se analiza todas las variables W, WL, TS-MD, E-MD, BT-MD y EB-MD, TS-CD, E-CD, BT-CD y EB-CD, donde se observa simultáneamente las coordenadas con cada una de las variables utilizadas, reflejando la magnitud de sus relaciones y contraste en los datos multivariables encontrados y describe la EB-MD y EB-CD (CV=10,601, CV=8,020) respectivamente, señala que no existe diferencias significativas (P>0,05) con un mínimo aumento en EB-CD, la alta incidencia de EB en los dos sentidos se debe a la SW por su longitud de fibra 40mm en promedio, lo que otorga muy buena Resistencia a más de su característica principal que es su rizo lo que mejora su cohesión interfibra y por su entrecruzamiento de las fibras para formar el NWW como lo señalan los resultados, donde revelaron que la finura, los rizos y la fuerza de las razas de ovejas autóctonas son significativamente diferentes entre sí [22], como se observa en la figura 5.

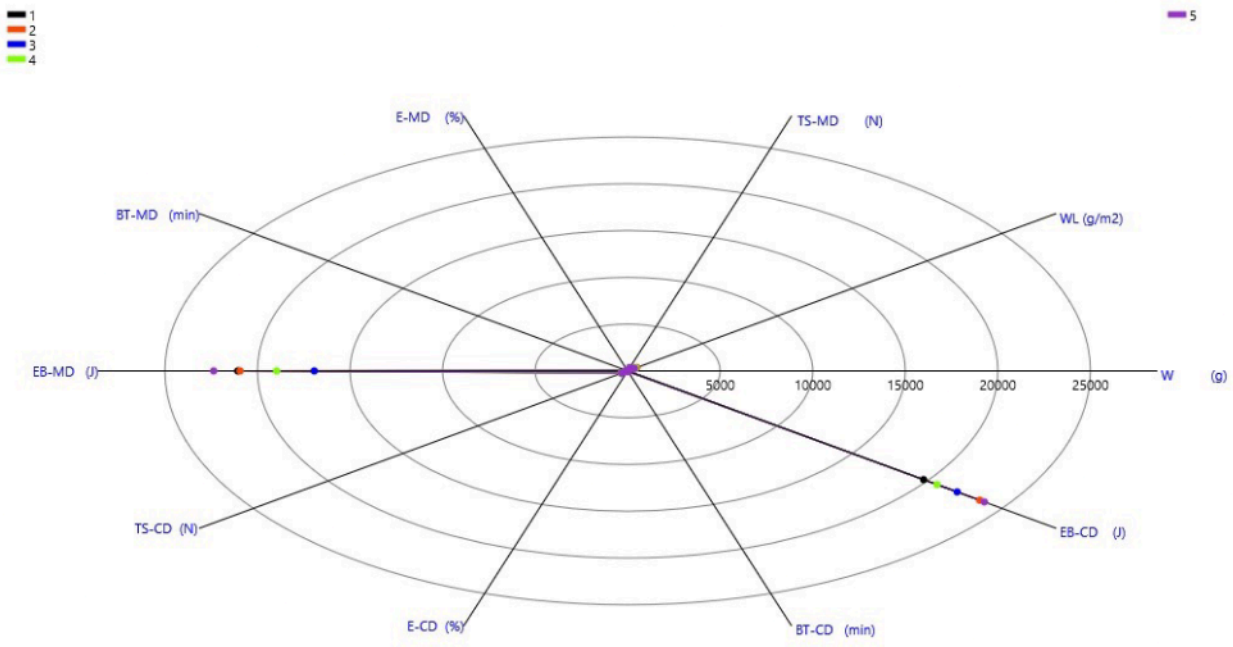


Fig. 5. Radar chart de las variables y sus magnitudes.

En el gráfico de barras se puede observar que en las muestras analizadas no existe diferencias significativas entre las medianas (P>0,05), con (CV= 5,134) mínimo y (CV=12,214) máximo, resaltando los parámetros de EB, donde la energía a la rotura necesaria para levantar un objeto a la altura de un metro aplicado en el NWW tiene gran resistencia a la rotura TS-MD y TS-CD, esta resistencia es provocada por las escamas en forma de sierra que contiene por la característica innata de SW como lo dice [10], las escamas de la superficie de la lana influye en su proceso, en EB-MD y EB-CD con la propiedad de enfieltramiento, mientras que, en E-MD y E-CD tiene un porcentaje de elongación aceptable 59,56 y 58,27% respectivamente, [25] mientras que el alargamiento de rotura promedio es ligeramente mayor para lanas Australianas (37%) que lana merino convencional (34%), la longitud de la fibra probablemente sea responsable de la mayor elongación de rotura, esta diferencia en elongación se da por que las SW al enfieltrase se encogen y su rizo se entrecruza unos con otros, produciendo el NWW que posteriormente pueden ser estirados en su máxima fuerza y regresar a su posición inicial, como se muestra en la figura 6.

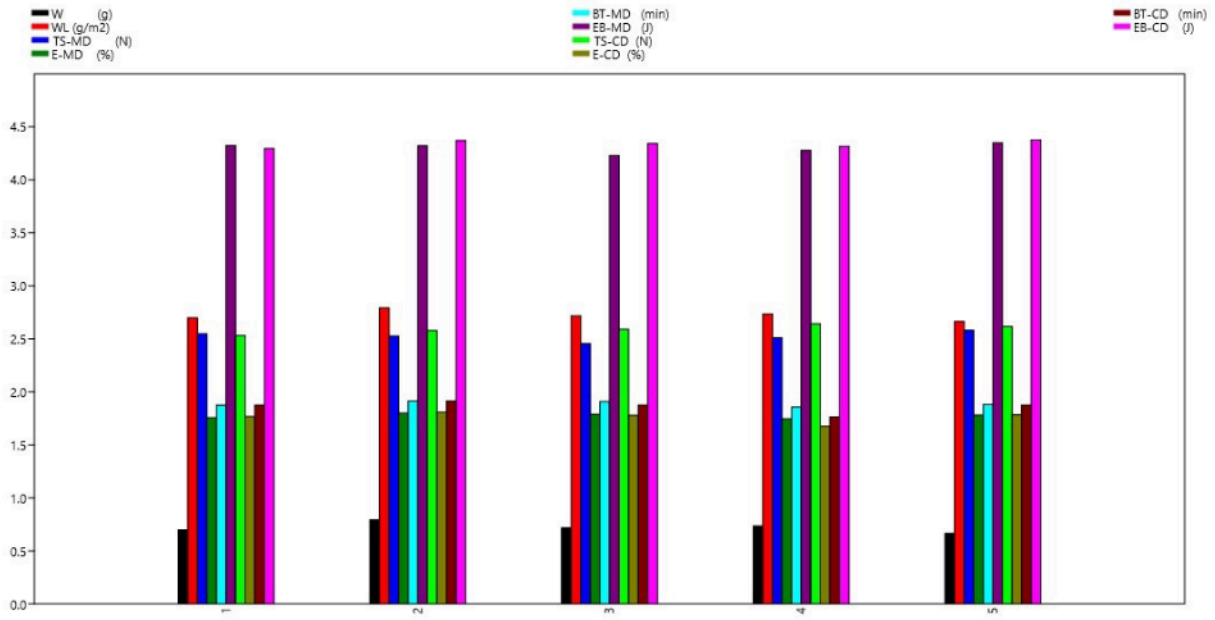


Fig. 6. Gráfico de barras de similitudes y tendencias.

Conclusiones

Para elaborar no tejido de lana (NWW) con el propósito de utilizar en la fabricación de sombreros, se utilizó fibra de lana (SW) con longitud promedio de 40mm, los resultados indican que las características obtenidas de elongación (E) en sentido dirección de máquina (MD) y dirección contraría (CD) tienen promedios de 59,56 % y 58,27 % respectivamente, en resistencia a la tracción dirección de máquina (TS-MD) 335,846 Newton y resistencia a la tracción dirección contraria (TS-CD) 392,218 Newton, resaltando mucho más al aplicarse una fuerza la energía a la rotura (EB) que obtuvo 20052,36 Joules en dirección de máquina (MD) y 21951,38 Joules en dirección contraria (CD).

Se llega a la conclusión de que, el no tejido de lana (NWW) si es factible para la aplicación en sombreros de fieltro por su excelente resistencia a la tracción (TS), Elongación (E) y Energía a la rotura (EB), por su facilidad para transformase, otorgar formas y tamaños al no tejido de lana (NWW).

Referencias

1. Akioka, S. et al.: Selective recovery of palladium by wool resin and woven wool fabric resinrbents. HYDROMETALLURGY. 203, (2021). https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2021.105629.

2. Alyousef, R.: Enhanced acoustic properties of concrete composites comprising modified waste sheep wool fibers. J. Build. Eng. 56, 104815 (2022). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104815.

3. Atbir, A. et al.: Improvement of thermomechanical properties of porous plaster reinforced with a network of Morocco sheep wool skeletons for Energy efficiency. Build. Environ. 234, 110171 (2023). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110171.

4. Berzi, L. et al.: Sustainable Revamping of Wool Carbonization Systems. In: 2021 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). pp. 1–6 (2021). https://doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEurope51590.2021.9584659.

5. Boostani, B. et al.: Using an eco-friendly deep eutectic solvent for waterless anti-felting of wool fibers. J. Clean. Prod. 386, 135732 (2023). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135732.

6. Boria, S. et al.: Potential of wool felts in combination with glass fibres: Mechanical and low velocity impact assessment. Compos. PART B-ENGINEERING. 118, 158–168 (2017). https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.088.

7. Cai, J. et al.: Developing ``Eco-wool{''} Compliant Supply Chains for Australian Wool. In: PROCEEDINGS OF THE 12TH INTERNATIONAL WOOL RESEARCH CONFERENCE, VOLS I AND II. pp. 10–13 (2010).

8. Erkmen, J., Sari, M.: Hydrophobic thermal insulation material designed from hazelnut shells, pinecone, paper and sheep wool. Constr. Build. Mater. 365, 130131 (2023). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130131.

9. Hatcher, S. et al.: Wool buyers do not adversely discount fine wool grown in `non-traditional' environments. WOOL Technol. SHEEP Breed. 51, 2, 163–175 (2003).

10. Kantouch, A. et al.: Improvement of the felting and shrinking resistance of wool using environmentally acceptable treatments. J. Text. Inst. 98, 1, 65–71 (2007). https://doi.org/10.1533/joti.2005.0249.

11. Kishor Sharma, Y. et al.: Experimental investigation on mechanical and thermal characteristics of waste sheep wool fiber-filled epoxy composites. Mater. Today Proc. (2023). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.157.

12. Liu, Y. et al.: Research on the edge detection of the cashmere and wool fibre images. In: 2009 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments. pp. 4–428 (2009). https://doi.org/10.1109/ICEMI.2009.5274040.

13. Miao, M.: 12 - High-performance wool blends. In: Johnson, N.A.G. and Russell, I.M. (eds.) Advances in Wool Technology. pp. 284–307 Woodhead Publishing (2009). https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9781845695460.2.284.

14. Monreal-Perez, P. et al.: Full-scale dynamometer tests of composite railway brake shoes including latxa sheep wool fibers. J. Clean. Prod. 379, 134533 (2022). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134533.

15. Moosanezhad Khabisi, M. et al.: Genome-wide DNA arrays profiling unravels the genetic structure of Iranian sheep and pattern of admixture with worldwide coarse-wool sheep breeds. Genomics. 113, 6, 3501–3511 (2021). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2021.07.019.

16. Nogueira, C.D.C. et al.: Boosting second-generation ethanol titers from green coconut fiber by using high-concentration polyethylene glycol. Ind. Crops Prod. 166, (2021). https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113494.

17. Parlato, M.C.M. et al.: Assessment of sheep wool waste as new resource for green building elements. Build. Environ. 225, 109596 (2022). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109596.

18. Pina, A.C. et al.: CO2 capture and biomethane obtention using activated carbon filter of animal origin. MRS Adv. 3, 61, 3589–3600 (2018). https://doi.org/10.1557/adv.2018.588.

19. Raja, A.S.M. et al.: Feltability of coarse wool and its application as technical felt. INDIAN J. FIBRE \& Text. Res. 38, 4, 395–399 (2013).

20. dos Santos, H.N. et al.: Wool felt: Characterization, comparison with other materials, and investigation of its use in hospital accessories. Text. Res. J. 92, 21–22, 3940–3955 (2022). https://doi.org/10.1177/0040517520915836.

21. Sawyer, G. et al.: Pre- and post-partum variation in wool cortisol and wool micron in Australian Merino ewe sheep (Ovis aries). PeerJ. 9, (2021). https://doi.org/10.7717/peerj.11288.

22. Sitotaw, D.B. et al.: Characterization of the wool fiber physical properties of Ethiopian indigenous sheep breeds. J. Text. Inst. 111, 8, 1198–1205 (2020). https://doi.org/10.1080/00405000.2019.1689774.

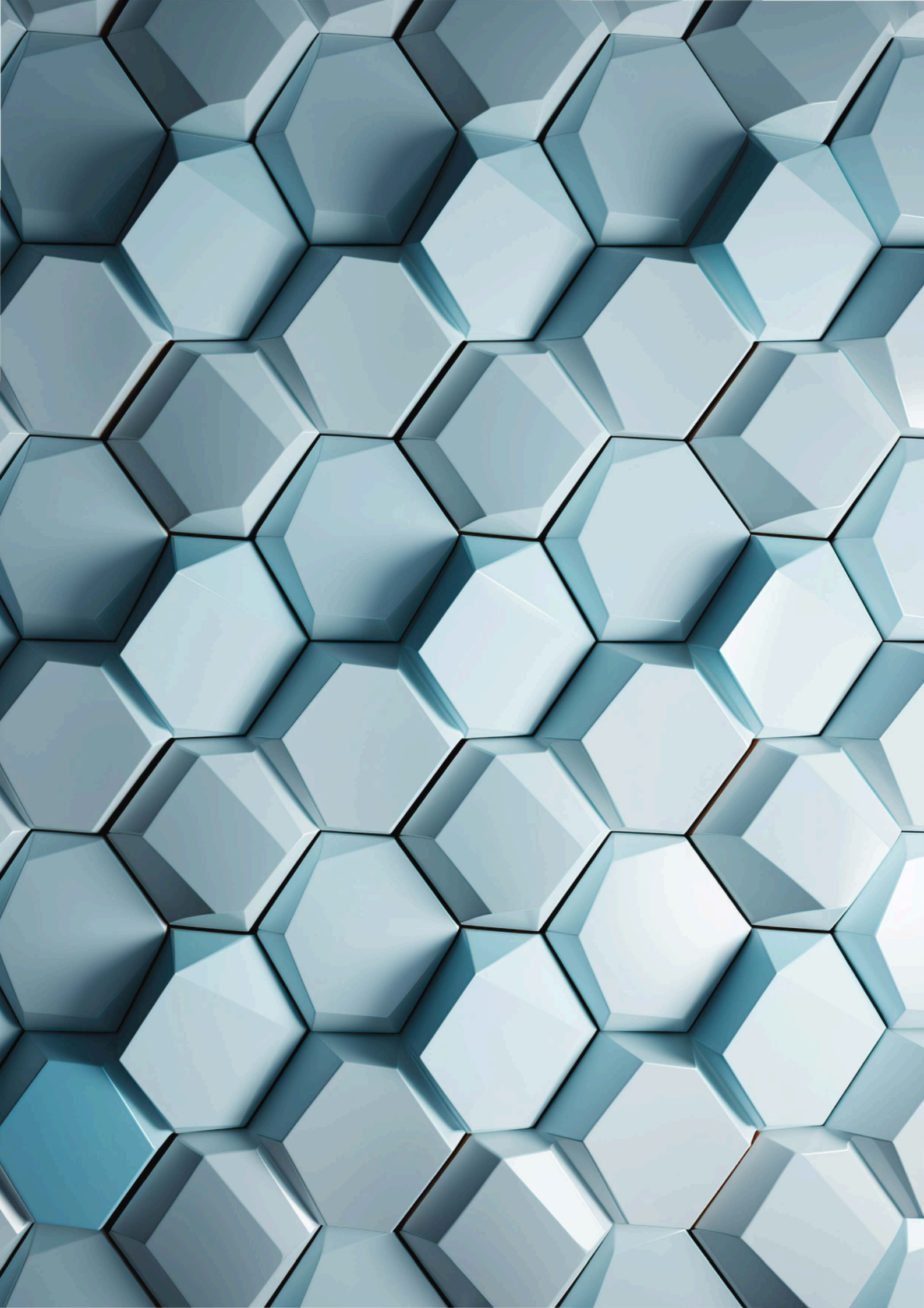
23. Soun, B. et al.: Effect of Transglutaminase Enzyme on Physico-mechanical Properties of Rambouillet Wool Fiber. J. Nat. Fibers. 17, 6, 793–801 (2020). https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1534187.

24. Vujasinovic, E., Andrassy, M.: The investigation of coarse wool felting property. TEKSTIL. 52, 6, 268–277 (2003).

25. Yu, H. et al.: Tensile Properties of Australian Soft Rolling Skin Wool and Conventional Merino Wool. J. Nat. FIBERS. 19, 16, 14620–14633 (2022). https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2068173.

26. Yu, H. et al.: Understanding the difference in softness of Australian Soft Rolling Skin wool and conventional Merino wool. Text. Res. J. 92, 17–18, 3130–3141 (2022). https://doi.org/10.1177/00405175211050524.

27. Zenda, M. et al.: An analysis of the contribution of wool characteristics on price determination of Merino Wool and White Wool all combined in South Africa. SMALL Rumin. Res. 219, (2023). https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106890.



VOL. 6 Nº2- 2024

IBARRA - ECUADOR

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

IDEAS

Ampliando horizontes tecnológicos desde la implementación de un ecosistema de recursos de aprendizaje virtual para estudiantes universitarios

http://doi.org/10.53358/ideas.v6i2.1003

Juan Diego Cerrón[1], Jair Jesús León Lucano[2], Olger Gutiérrez Aguilar[3]

1: Laboratorio de Fabricación Digital, Universidad Continental,

2: Publicidad y Multimedia, Universidad Católica de Santa María

3: Universidad Católica de Santa María

jcerrons@continental.edu.pe, jair.leon@ucsm.edu.pe, ogutierrez@ucsm.edu.pe

Fecha de envío, enero 19/2024 - Fecha de aceptación, junio 6/2024 - Fecha de publicación, julio 15/2024

Resumen: Durante la pandemia, las universidades tuvieron que cambiar la modalidad de enseñanza, pasando de presencial a virtual. Esto limitó la oportunidad de aprender acerca de las tecnologías de fabricación digital de forma experiencial. Ante esto, se adaptó el programa "Ruta Maker" incorporando ecosistemas de recursos de aprendizaje para fabricación digital. El objetivo de conocer en los estudiantes del programa "Ruta Maker" el alcance de un ecosistema integral de recursos de aprendizaje virtual en el fortalecimiento de habilidades tecnológicas, en la adopción de una cultura maker in house y DIY y en la construcción de máquinas de fabricación digital de código abierto. Es un estudio de tipo transversal, con muestreo intencionado, donde se aplicó cuatro instrumentos a 48 estudiantes universitarios del programa "Ruta Maker". Se logró un nivel adecuado de aprendizaje en el programa. En el eje 1 "Habilidades tecnológicas 4.0" destacó la dimensión "Diseño 2D y 3D" (83%). En el eje 2 "Espacios de experimentación", la dimensión "Layout CNC MASLOW" tuvo mejor resultado que las otras dimensiones (83%). En el eje 3 "Cultura DIY Máquinas de Fabricación Digital", las dos dimensiones tuvieron logros similares (73% y 71%). La satisfacción de los estudiantes valora más el equipo del Fabber Tech y el acompañamiento/prototipado. En conclusión, los ecosistemas de aprendizaje de fabricación digital en modalidad virtual, es una opción pedagógica que permite el diseño y fabricación digital en casa, fomentando la cultura Maker-DIY.

Palabras Clave: Cultura Maker; DIY; Ecosistemas de aprendizaje; Estudiantes universitarios.

Abstract: During the pandemic, universities had to shift from in-person to virtual teaching. This limited the opportunity to learn about digital manufacturing technologies experientially. In response, the "Ruta Maker" program was adapted by incorporating ecosystems of learning resources for digital manufacturing. The objective was to assess the impact of a comprehensive virtual learning resources ecosystem on strengthening technological skills, adopting an in-house maker and DIY culture, and constructing open-source digital manufacturing machines among students in the "Ruta Maker" program. This is a cross-sectional study with purposive sampling, where four instruments were applied to 48 university students in the "Ruta Maker" program. An adequate level of learning was achieved in the program. In Axis 1, "4.0 Technological Skills," the "2D and 3D Design" dimension stood out (83%). In Axis 2, "Experimentation Spaces," the "Layout CNC MASLOW" dimension performed better than the other dimensions (83%). In Axis 3, "DIY Digital Manufacturing Machines Culture," the two dimensions had similar achievements (73% and 71%). Student satisfaction valued the Fabber Tech team and the support/prototyping the most. In conclusion, digital manufacturing learning ecosystems in a virtual modality are a pedagogical option that enables digital design and manufacturing at home, fostering the Maker-DIY culture.

Keywords: Maker Culture; DIY; Learning Ecosystems; University Students.

Autor de correspondencia:

Jair León Lucano, jair.leon@ucsm.edu.pe

CC BY NC ND

Introducción

La pandemia ocasionada por el virus SARS-COV-2 trajo muchos cambios en las dinámicas de vida, en la educación el mayor cambio se enfocó en la pedagogía digital, debido a las limitantes de movilización y tránsito civil, los centros de estudios universitarios optaron por brindar sus servicios educativos bajo la modalidad de enseñanza virtual. Perú no fue ajeno a este cambio, evidenciándose brechas de acceso tecnológico y competencias tecnológicas en el binomio docente-alumno, siendo más crítico a nivel de instituciones educativas públicas (1). A su vez se convirtió en una oportunidad para modernizar la educación universitaria para que introduzca la digitalización, la tecnología y la virtualidad; siendo una transición derivada de la crisis sanitaria (Vázquez Cupeiro y García Arnau 2022).

Así mismo, esta situación conllevó a desafíos para las universidades y los mismos profesores en lograr recrear el nivel de enseñanza que se obtiene en clases presenciales, en sesiones virtuales. Para diversos profesores, ha sido un cambio radical en su forma de enseñanza, al mismo tiempo que fueron restringidos al uso de máquinas y equipamiento con fines pedagógicos; siendo entre tantas las carreras de ingeniería afectadas para acceder a los laboratorios remotos simulados. (3)

En el marco de la cuarta revolución tecnológica se requiere de profesionales con nuevas capacidades y que manejen tecnologías como inteligencia artificial, la impresión en 3D, la robótica, la biotecnología, fabricación digital, que modifiquen actividades y procesos en el sector productivo y social según los Objetivos de Desarrollo Sostenible al 2030 (4) (5). Por otro lado, desde el 2015 se promovía los Maker Space o espacios de experimentación, con tecnología basados en el aprender haciendo y en la exploración de diversos software y hardware a partir de la mentalidad DIY (del inglés Do It Yourself o Hazlo Tú Mismo) según el reporte Horizon (6), evidenciando que aún es limitada su abordaje desde las universidades y que se vio restringida durante la pandemia.

En el contexto de la pandemia, fue un reto para la Universidad Continental a pesar de que ya había implementado la modalidad virtual o hibrida para la enseñanza en sus carreras académicas; abordar en el marco de la virtualización de contenidos Fab Lab el desarrollo de habilidades en tecnologías 4.0, fabricación digital, diseño de producto; debido a la dependencia tecnológica, la centralización y falta de espacios de experimentación; que estaban generando limitaciones para el aprendizaje y logros de competencias formativas. A esto se sumó que en los estudiantes no era su preferencia la enseñanza remota, debido a diversos factores que el alumnado puede presentar, como la motivación del estudiante, problemas o limitaciones técnicas, manejo de tiempos y dificultad a establecer conexión de internet. (7)

Frente a esta situación, y buscando opciones, se activó el programa de la Ruta Maker dirigido a estudiantes universitarios de diferentes carreras profesionales para desarrollar la formación en habilidades tecnológicas, también involucrar a los estudiantes en la construcción de equipamiento de fabricación digital, para que puedan crear sus propios espacios de experimentación en casa; de esta manera adoptar las culturas maker y DIY, para poder aportar con proyectos innovadores multidisciplinarios.

Sin embargo, este programa generó nuevas incógnitas, como cuál sería la forma de enseñar estos temas sin el uso de las maquinarias físicas, o sin el procedimiento experiencial presencial de los laboratorios Fab Lab de las sedes de la universidad, o cómo se podría generar un espacio de aprendizaje similar en casa, estando con las limitaciones de movilización y variado acceso a tecnologías durante la pandemia.

En este sentido, la investigación se realizó por el interés de dar respuestas antes planteadas, con el objetivo de conocer en los estudiantes del programa "Ruta Maker" el alcance de un ecosistema integral de recursos de aprendizaje virtual en el fortalecimiento de habilidades tecnológicas, en la adopción de una cultura maker in house y DIY y en la construcción de máquinas de fabricación digital de código abierto.

Para lograr el objetivo del estudio se aplicó un método cuantitativo de tipo observacional-descriptivo, bajo un diseño transversal y un muestreo intencionado de 48 estudiantes de las carreras de ciencias e ingeniería, ciencias de la empresa, derecho y ciencias de la salud, que participaron en el programa durante el ciclo académico 2022-20. Se aplicó tres instrumentos con rúbricas de evaluación con escala Likert, recopilando dimensiones de aprendizaje logrado por cada uno de los tres ejes del programa "Ruta Maker". Además, se midió vía una encuesta la percepción de satisfacción de los estudiantes, que facilitó recomendaciones de mejora.

Metodología y materiales

Se aplicó un diseño cuantitativo de tipo observacional, descriptivo y transversal, con una muestra intencionada de 48 jóvenes estudiantes de la Universidad Continental, de carreras relacionadas a las Facultades de Ingenierías, Ciencias de la Empresa, Derecho y Ciencias de la Salud. Estos estudiantes participaron del programa de la "Ruta Maker" en un entorno virtual (a distancia) y con el soporte de un equipo Fab Lab de la Universidad en cuatro sedes: Huancayo, Lima, Arequipa y Cusco.

Los tres ejes del estudio estuvieron alineadas al programa "Ruta Maker", desde las cuales se buscó conocer el alcanza de la plataforma de aprendizaje para la formación de habilidades en fabricación digital, la capacidad para diseñar un espacio maker inhouse que permita la construcción de prototipos de corte tecnológico, y la vialidad de poder construir máquinas de fabricación digital open source accesible. Cada eje tiene sus propias dimensiones con sus atributos respectivos de cumplimiento que se espera alcance el estudiante (Ver tabla 1).

Tabla 1. Ejes, variables y dimensiones del estudio.

Ejes	Variables de estudio	Dimensiones
Relación de habilidades tecnológica 4.0 y aprendizaje experiencial	**Variable Independiente:** Habilidades tecnológicas 4.0	Diseño 2D y 3D Operación de Máquinas de Fabricación Digital Programación Electrónica Manufactura Electrónica
	Variable Dependiente: Aprendizaje experiencial	Diseño de Páginas Web (E Portafolio)
Ejes	**Variables de estudio**	**Dimensiones**
Relación de espacios de experimentación y Brechas tecnológicas	**Variable Independiente:** Espacios de experimentación	Diseño y/o Coworking Impresión 3D Corte láser CNC Corte de papel vinilo Isla electrónica Galería de Proyectos
	Variable Dependiente: Brechas tecnológicas	Diseño de espacio inhouse CNC MASLOW Diseño de espacio inhouse Cortadora Láser Diseño de espacio inhouse para Impresión 3D
Relación de cultura DIY máquinas de fabricación digital y proyectos de impacto positivo	**Variable Independiente:** Cultura DIY Máquinas de Fabricación Digital	CNC Impresión 3D Cortadora láser
	Variable Dependiente: Proyectos de impacto positivo	Laboratorios de innovación Lernybot Quipu

Se aplicaron tres instrumentos que midieron cada uno de los ejes descritos en la tabla 1. Se utilizaron rúbricas de evaluación que permitieron abordar los conceptos teóricos y el aprendizaje expresado en habilidades y capacidades tecnológicas. Cada instrumento tuvo una batería de criterios de evaluación con puntajes entre 0 a 20, en una Escala de Likert con cinco opciones de calificación.

El primer instrumento contiene 16 ítems, en esta se contempla atributos sobre las habilidades tecnológicas 4.0 y capacidad de aprendizaje experiencial, por consiguiente, se consideró propiedades que permiten medir el conocimiento adquirido de los módulos de la plataforma "Ruta Maker" para la formación de habilidades y tecnologías 4.0 y aprendizaje sobre portafolio digital.

El segundo instrumento tiene 8 ítems, en esta se contempla un conjunto de condiciones que subyacen la capacidad de los estudiantes para desarrollar espacios de experimentación y retos de brechas tecnológicas, orientadas a valorar la capacidad de los alumnos de poder conseguir las tecnologías de forma autónoma y evidenciar la habilidad de diseñar las maquinarias y espacios ideales para una recreación maker in house.

El tercer instrumento contiene 7 ítems, en esta se contempla un conjunto de condiciones que expresen las características de adquirir una cultura DIY, capacidad para fabricación digital de maquinarias y desarrollar proyectos de impacto positivo, que permita medir qué tanto los alumnos pueden generar y proponer proyectos con beneficio social, y su nivel de organizarse.

Adicionalmente, se aplicó un instrumento de satisfacción, que exploró la valoración de los estudiantes sobre el programa sobre acompañamiento y prototipado, materiales de enseñanza, metodología, Fabber Tech y aspectos generales.

La recolección de los datos se realizó en los estudiantes del programa "Ruta Maker" previa explicación del consentimiento informado, para luego aplicarles los cuatro instrumentos que miden los tres ejes del alcance del programa y la satisfacción de los alumnos. Para evaluar el primer eje se aplicó el instrumento sobre habilidades tecnológicas y aprendizaje experiencial durante las 5 sesiones; en el caso de la dimensión Diseño de Pagina Web se evidenció la documentación en las websites de cada estudiante. En el segundo eje se aplicó el instrumento sobre "Espacios de experimentación y brechas digitales" durante las dos sesiones, valorando los procedimientos que van logrando con sus diseños propuestos de layouts de experimentación. En el tercer eje se aplicó el instrumento sobre la "Cultura DIY máquinas de fabricación digital y proyectos de impacto positivo" durante cinco sesiones, utilizando actividades con criterios a valorar para cada procedimiento que ejecuto el estudiante.

Los datos de cada eje se analizaron de forma descriptiva, aplicando métodos estadísticos de frecuencias. Primero se obtuvieron los puntajes totales por ítem de todos los encuestados, se determinó los porcentajes por ítem y luego se calculó el promedio de los porcentajes por dimensión de cada variable en estudio, que expresa el logro esperado de aprendizaje y se clasificó en cuatro niveles EAMI: Excelente (E), representa un nivel de logro destacado en el aprendizaje si el promedio se ubica entre 90-100%, Adecuado (A) si se encuentra entre 70-89%, se considerara un nivel de aprendizaje aceptable, Mínimo (M) aprendizaje cuando se ubica entre 50 a 69% e Insatisfactorio (I) cuando está por debajo del 50%.

En el caso de los datos de satisfacción se analizó las frecuencias según las categorías determinadas para cada eje del programa.

Resultados y discusión

Los resultados muestran las evidencias empíricas del alcance del programa Ruta Maker que a través de un ecosistema de recursos de aprendizaje ha mejorado los aprendizajes y capacidades tecnológicas en estudiantes universitarios de diferentes carreras profesionales.

Para el primer eje, el análisis concluye que los estudiantes obtuvieron un mayor nivel de aprendizaje en la dimensión de Diseño 2D y 3D con un 83% en comparación a las otras cuatro dimensiones. Esto muestra que los alumnos, independiente de la carrera universitaria, tienen mayor posibilidad de desarrollar competencias para digitalizar iniciativas con algún programa vectorial, aumentando la oportunidad para generar futuros proyectos, con la implementación de este nuevo conocimiento. Mientras que la dimensión de manufactura electrónica que busco desarrollar competencias para diseñar y construir el hardware obtuvo el más bajo porcentaje (67%) conjuntamente con la variable dependiente "aprendizaje experiencial" (ver tabla 2). Los tres ítems con más bajo puntaje están relacionados con el manejo de instrumentos electrónicos, mediante el uso del software Thinkercad, y el uso

real de los aparatos electrónicos (ítem 11 y 14 respectivamente), mientras que el ítem 15 confirma la dificultad de documentar los aciertos y desaciertos de sus innovaciones mediante el desarrollo de una página web, el cual no permite visualizar las nuevas abstracciones y aplicaciones elaborados por los estudiantes.

Esto refleja que cuando los estudiantes son de carreras donde la programación no es un eje central, las dificultades de aprendizaje se amplían y tendrán un mayor reto en completar de forma exitosa estos desafíos.

Tabla 2. Resultados de aprendizaje del Eje 1: Habilidades tecnológicas y aprendizaje según dimensiones.

Dimensiones	Resultados de Aprendizaje Logrado por ítem				Resultados de Aprendizaje Promedio			
					E	A	M	I
Diseño 2D y 3D	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3			83%		
	83%	83%	83%					
Operación de Máquinas de Fabricación Digital	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6	Ítem 7		76%		
	83%	83%	69%	68%				
Programación Electrónica	Ítem 8	Ítem 9	Ítem 10	Ítem 11			66%	
	67%	67%	68%	61%				
Manufactura Electrónica	Ítem 12	Ítem 13	Ítem 14				67%	
	79%	78%	46%					
E-Portafolio	Ítem 15	Ítem 16					67%	
	55%	78%						

Para el segundo eje, se observa que las dimensiones de área de diseño y fabricación digital tuvieron un nivel de aprendizaje adecuado que oscila entre 72 y 73% respectivamente, en esa linea, para la primera dimensión hubo la limitante del acceso al software por los estudiantes durante las sesiones de trabajo; debido a problemas de conexión de internet o falta de equipamiento necesario (PC o Laptop), la adquisición de software se dificultó, ralentizando la posibilidad de avanzar de forma eficiente.

Mientras que la variable dependiente "Brechas tecnológicas" ha logrado un mayor nivel en el manejo de planificación para un Layout CNC MASLOW (83%). Este logro se explicaría porque una de las sesiones presenciales guiadas facilito el acercamiento con la máquina, evidenciando su funcionamiento, al igual que visualizaron los materiales y el espacio requerido para su manejo eficiente, que les permitió generar un espacio inhouse para un CNC MASLOW, teniendo menor éxito en el desarrollo del Layout cortadora láser y Layout impresora 3D; ambas tuvieron los puntajes más bajos (ver tabla 3). A pesar de los resultados, se debe destacar el intento de los estudiantes, ya que el nivel de organización que se debe tener para intentar implementar layouts para máquinas, demanda de cubrir los materiales tecnológicos necesarios, espacio suficiente y las medidas de seguridad, que habrían afectado en su planificación y desarrollo.

Tabla 3. Resultados de aprendizaje del Eje 2: Espacios de experimentación y brechas tecnológicas según dimensiones.

Dimensiones	Resultados de Aprendizaje Logrado por ítem				Resultados de Aprendizaje Promedio			
					E	A	M	I
Área de diseño	Ítem 1					72%		
	72%							
Áreas de fabricación digital	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5		73%		
	71%	77%	71%	72%				
Layout CNC MASLOW	Ítem 6					83%		
	83%							
Layout Cortadora Láser	Ítem 7						66%	
	66%							
Layout Impresora 3D	Ítem 8					71%		
	71%							

Para el tercer eje, los resultados muestran un nivel aceptable para todas las dos dimensiones del eje, con mejor alcance en la "Construcción de máquinas de fabricación digital" con un promedio de 73%. A nivel de ítems el de menor puntaje fue el ítem número cinco (ver tabla 4), esto debido a que existe mayor dificultad de poder relacionar ideas de proyectos entre diversas instituciones, demanda de mayor tiempo a lo que dura el programa ya sean públicas o privadas, y más cuando aún son estudiantes quienes tienen las propuestas. No obstante, al ser un eje enfocado en la generación de proyectos con impacto positivo en la sociedad, se destaca el esfuerzo de los estudiantes por demostrar sus conocimientos adquiridos en diseño digital, interés de aplicación a partir de la adaptación espacial y el uso de máquinas de fabricación digital con código abierto en áreas que pueden generar resultados beneficiosos en la sociedad, siguiendo los lineamientos de la ODS y de los Fab Labs.

Tabla 4. Resultados de aprendizaje del Eje 3: Cultura DIY máquinas de fabricación digital y proyectos de impacto positivo según dimensiones.

Dimensiones	Resultados de Aprendizaje Logrado por ítem	Resultados de Aprendizaje Promedio
Construcción de Máquinas de Fabricación Digital	Ítem 1 – 76% Ítem 2 – 73% Ítem 3 – 72% Ítem 4 – 72%	E A – 73% M I
Proyectos de Impacto Positivo	Ítem 5 – 63% Ítem 6 – 78% Ítem 7 – 71% -	E A – 71% M I

Respecto a la valoración de satisfacción de los estudiantes con los tres ejes del programa Ruta Maker, se encontró que la valoración de satisfacción de los estudiantes en el primer eje alcanzo los porcentajes más bajos en comparación al eje 2 y 3 respectivamente. A nivel de sus dimensiones, se encontró que a nivel de Fabber Tech tuvo mejor calificación de satisfacción (90%) seguido de acompañamiento y prototipado (85%) al término del programa (ver gráfico 1).

Las dimensiones con los más bajos porcentajes de satisfacción en el primer eje fueron metodología y material de enseñanza, que al término del tercer eje se incrementaron, lo cual, refleja la importancia de su medición para insertar procesos de mejora en el desarrollo de las sesiones educativas del programa como el incremento de horas de acompañamiento vía recorridos virtuales en cada FabLab y desarrollo de guías e instructivos y acceso a material de enseñanza vía consultas online.

En los tres momentos destacaron la apertura, compromiso y capacidad técnica del equipo facilitador de los FabLab. Consideran que es un espacio para fortalecer redes de trabajo consolidando un espacio de intercambio de conocimientos.

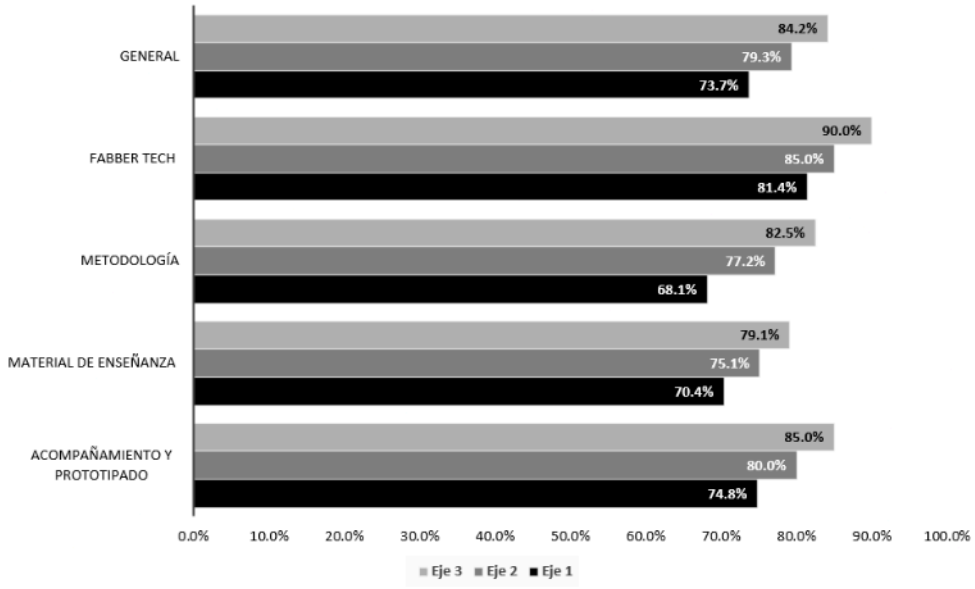


Fig. 1. Resultados de satisfacción de estudiantes al Programa Ruta Maker según ejes.

Conclusiones y trabajos futuros

En este estudio se evidenció que el desarrollo de un ecosistema integral de recursos de aprendizaje virtualizados bajo un programa educativo para estudiantes universitarios de diversas carreras profesionales aporta en el fortalecimiento de habilidades tecnológicas, fomenta la cultura maker in house y facilita la construcción de máquinas de código abierto en fabricación digital por parte de los estudiantes.

El primer eje del programa educativo que se estudió muestra la viabilidad que tiene una plataforma de aprendizaje virtual para la formación de habilidades de fabricación digital como evidencian los resultados de este estudio. En esta línea, existen investigaciones que mediante la fusión de tecnologías digitales y electrónicas se pueden integrar sistemas complejos. (8) demuestra esta importancia, al utilizar recursos digitales como almacenamiento digital y sistemas de control virtuales, para capturar la información de instrumentos electrónicos como el Arduino, pudiendo conseguir la fabricación de una turbina. Los estudiantes, mediante las enseñanzas del programa, tienen el conocimiento para poder recrear estos sistemas híbridos o de forma independiente.

Otro aspecto relevante en este eje fue la metodología mixta de sesiones sincrónicas donde accedieron a orientaciones técnicas claves y vía la modalidad asincrónica del programa el autoaprendizaje, generando interés esta forma mixta de aprendizaje, este modelo se alinea con el modelo de trabajo de Mahmood et al. 2021) quien llegó a plasmar el uso de Virtual Learning Factory Toolkit (VLFT), que es una manera innovadora de aprendizaje de fabricación digital.

Al haber definido en el estudio la vinculación entre las habilidades tecnológicas 4.0 y aprendizaje experiencial, se halló que aún es un reto. Dewey señala que lograr nuevas competencias es aprender haciendo, que se logra a partir de la experiencia (10); explica que las personas aprenderán y crecerán como resultado de sus experiencias vividas y su interacción con el mundo. La forma en la que se debe integrar las habilidades tecnológicas 4.0 a la enseñanza es mediante proyectos de investigación y basados en resolver problemas, las cuales tienen mayor probabilidad de obtener mejores resultados; bajo esta premisa se estructuro el programa educativo, por ello se promovió el uso de las nuevas tecnologías a lo largo del curso, e incentivando su constante uso.

Basado en las hallazgos del estudio y de otros como el de Kashif, es importante reenfocar espacios de aprendizaje, orientados a un mayor acompañamiento en vivir la experiencia aplicada, por ende, las plataformas utilizadas en programas como el "Ruta Maker" deberían considerar ajustes y aumentar el nivel pedagógico, como la mejora del aprendizaje activo, la adaptación a las necesidades individuales de los estudiantes y la preparación para situaciones reales en el campo de la ingeniería de producción. Así mismo, se debe explorar ciertas mejoras para el futuro, como evaluar el nivel de habilidades tecnológicas para estudiantes de diferentes carreras, y así poder realizar actualizaciones al programa, de acuerdo al nivel y disciplina del estudiante.

En el caso del segundo eje del programa en estudio, que tenía como propósito diseñar un espacio funcional maker in house se observa un nivel adecuado en las habilidades de los estudiantes para la construcción de máquinas prototipo a través de la manufacturación digital. Los resultados alcanzados resaltan la importancia de realizar visitas guiadas y la experiencia vivencial de los estudiantes con respecto al acceso a las máquinas de un laboratorio Fablab/Maker, esto habría facilitado su aprendizaje en la adaptación y recreación del layout para una máquina CNC MASLOW en sus domicilios, esto se explicaría porque en las sesiones sincrónicas del programa educativo accedieron a la demostración en su diseño y funcionamiento a diferencia de los otros dos layouts que tuvieron limitaciones de espacio y mobiliario suficiente en los domicilios de los estudiantes.

Investigaciones sobre este tema muestran que la educación de manufactura digital es un reto, pero mediante la digitalización, es posible idealizar nuevos conceptos y nuevas formas de conceptualizar espacios físicos para la creación de laboratorios de manufactura . El SmartLab, propuesto por Tihinen et al. (2021), es uno de diversos acercamientos que instituciones educativas realizan para demostrar nuevas formas de organización de laboratorios, que pueden ser implementadas en universidades, institutos, e incluso en los hogares de los estudiantes, con las debidas precauciones. Este laboratorio simplifica secciones de un laboratorio más grande, como un FabLab o un Maker Space, al separar en dos fases/grupos el proceso de manufactura: idealización y producción, generando ecosistemas híbridos físico-virtuales, especializados en diseño o manufactura más eficientes al agilizar los procesos de creación.

Por otro lado, cada Fablab y laboratorio similar requiere de espacios de experimentación para poder realizar la comprobación de los prototipos a prueba y error. Estos espacios de experimentación usualmente están en los mismos laboratorios. No obstante, debido a las restricciones de la pandemia, dificultaron el acceso. Este evento trajo consigo barreras que vía el conocimiento de la cultura maker inhouse buscó superarla; este programa se enfocó en poder minimizar las brechas digitales para poder establecer ecosistemas de aprendizaje virtual. Es así que, los diseños propuestos en el programa para el diseño y uso de ciertas máquinas de fabricación digital dan la posibilidad de integrar una enseñanza de tipo practica material-discursiva; que se alinea con lo que señala (12) quien enfatiza la importancia de poder aprender mediante la concentración en las herramientas en tiempo real, demostrando que el rol de las tecnologías experimentales en el aprendizaje de estudiantes en laboratorios es fundamental. En este sentido, las brechas de acceso, de uso y de competencias deben ser abordadas oportunamente.

El tercer eje del programa se enfocó en desarrollar capacidades en estudiantes para la construcción de máquinas de fabricación digital open source accesible, alcanzando un nivel adecuado. El proceso de poder diseñar desde cero el prototipo de las máquinas, y el poder identificar el material y código open source requerido para elaborar dicha máquina fue un importante logro que alcanzaron los estudiantes, transmitiéndoles autonomía y control sobre máquinas de fabricación digital que no conocían antes, para poder llevar a cabo nuevos proyectos que involucre el diseño digital e impresión 3D; a esto se suma la capacidad de adaptabilidad cuando los estudiantes provenían de diversas carreras. El estudio muestra vinculación con otras experiencias como el desarrollo de un programa educativo sobre la mentalidad de crecimiento en el maker space que genera mentalidades más creativas. (13)

Al finalizar el programa, los estudiantes adquirieron un nivel adecuado de conocimientos necesarios para poder replicar máquinas de diseño digital como una impresora 3D o un CNC MASLOW. Esto como parte de la cultura DIY, y como comenta Azhar et al:"Las cosas deben ser simples; deben ser robustas; y ser reproducibles". La capacidad de poder replicar modelos gracias a código y diseños open source abre una puerta de oportunidades para el área de investigación y de manufactura capitalizando la tecnología digital.

Otro aporte importante fue el alcance de los beneficios percibidos por los estudiantes de diversas disciplinas universitarias que participaron en el programa; se evidenció el conocimiento adquirido y el interés posterior al programa, con intenciones de incorporarse a nuevos talleres especializados en máquinas de fabricación digital, a la vez que ven la importancia en futuros proyectos internos y externos a la universidad. Así mismo, la formación multidisciplinaria aporta al desarrollo de innovaciones sociales, así una investigación realizada por (15) comprobó que la colaboración multidisciplinaria en proyectos sociales es más efectiva, ya que este enfoque logra superar problemas de habilidades individuales, que en una creación colectiva se reducen, generando confianza y mejores opciones de respuesta a necesidades sociales.

En el desarrollo de la cultura DIY se observó barreras en conseguir los materiales necesarios para la re-creación de las maquinarias y espacios de aprendizaje. A pesar de las dificultades, los estudiantes tienen la capacidad de adaptarse a las situaciones, utilizando los materiales disponibles y pudiendo explorar nuevas formas de acoplamiento para la creación de productos. (16) asegura que la cultura DIY trae beneficios para los laboratorios, al reducir la dependencia de logística y de una enseñanza obligatoria en el ecosistema de trabajo.

Sin embargo, sigue siendo un reto cuando se trata de contextos socioculturales donde la producción local aún no es adecuada, que requiere de mejorar en la calidad y seguridad del producto. (17)

En relación con el diseño de proyectos de impacto positivo, se entiende como innovaciones utilizando máquinas de fabricación digital que ayuden a enfrentar la crisis económica, en salud, el cambio climático, la desigualdad, la erradicación de la pobreza como una contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible al 2030. De ahí que el programa educativo busco la vinculación de aplicar la cultura DIY en proyectos de impacto positivo, donde los estudiantes ampliaron el alcance de sus creaciones hacia el campo social, optimizando las ventajas que trae consigo el poder adaptar la documentación y el código abierto de diversos equipos para poder construir sus propias máquinas de fabricación digital en un espacio maker en beneficio de futuros proyectos sociales de amplio alcance (18), donde se tendrá que tener en cuenta la organización del proyecto, relacionando los objetivos con las necesidades sociales. El reto aún es investigar el alcance de la fabricación digital vía proyectos de impacto social en entornos de bajos recursos.

La valoración de los estudiantes al programa es otro aspecto relevante, que da cuenta de la opinión de los estudiantes respecto a la pertinencia de las sesiones impartidas en el programa, reconociendo una alta satisfacción por el equipo de docentes Fabber, quienes impartieron las clases, prepararon las guías de laboratorio, y acompañaron en la demostración de las máquinas del Fab Lab de la universidad Continental. Este proceso educativo, da cuenta de un alto nivel da apertura a nuevas oportunidades, ya sea de enseñanza como de investigación. En esta línea, (19) considera que los docentes deberían aprender a implementar fabricación digital en actividades educativas, así responder a las nuevas demandas pedagógicas para desarrollar prácticas de andamiaje que apoyen el aprendizaje de los estudiantes novatos en actividades de fabricación digital, que deben reconocerse como educadores facilitadores. Un factor que ha favorecido el desarrollo del programa y de aportar en la satisfacción de los estudiantes fue contar con los FabLabs de la universidad, reconocidos por ser espacios donde se promueve la colaboración, trabajo en equipo y el compartimiento de herramientas, para lograr un fin – un producto o proyecto. Estas evidencias sugieren que se debe difundir más e involucrar a estudiantes de diferentes disciplinas universitarias con orientación ajena a las ingenierías, para mayor número de colaboraciones multidisciplinarias y desarrollar proyectos innovadores de mayor impacto social. (20)

Finalmente, el alcance del programa "Ruta Maker" y similares, aportan al desarrollo de la digitalización de procesos de fabricación, desarrollando nuevos desafíos en la educación universitaria multidisciplinaria que implica desarrollar nuevas competencias vinculadas con la tecnología. Romero Gázquez et al. (2021), aclara que los estudiantes que actualmente cursan la universidad, no logran tener las mismas competencias y habilidades en el campo profesional vinculado con la tecnología y fabricación digital, debiéndose cubrir y solventar la problemática en un futuro cercano a través de nuevas iniciativas de formación para los estudiantes, el cual ha sido un aspecto que buscó aportar el programa desde sus tres ejes temáticos del presente estudio.

Una de las conclusiones corresponde a la coherencia de los resultados obtenidos en los tres ejes del programa; que se reflejó en la aceptabilidad por los estudiantes de diferentes carreras de la universidad sobre el alcance de un ecosistema integral de recursos de aprendizaje virtualizado, que fortaleció las habilidades tecnológicas, el fomento de la cultura maker in house y la construcción de máquinas de código abierto en fabricación digital.

Los resultados del primer eje comprueban la mejora de habilidades tecnológicas 4.0 de los estudiantes, evidenciando de forma indirecta la posibilidad de utilizar un espacio maker, independiente del ámbito académico. En el segundo eje, se evidencia que existen condiciones para que los estudiantes puedan implementar espacios dedicados a la experimentación y uso de máquinas de diseño digital, mediante ecosistemas caseros fomentando la cultura maker.

Finalmente, el tercer eje demuestra la capacidad de poder recrear maquinaria casera en espacios físicos fuera de laboratorios especializados, y se puede concluir que hay una valoración y aceptación del aprendizaje obtenido con la cultura DIY, con la cual los alumnos pueden lograr converger sus ideas y proyectos sin necesidad de herramientas sofisticadas o de alto costo. Además, el aprendizaje experiencial es un medio que fomenta la cultura maker, debido a que muestra en tiempo real las ventajas de utilizar diseño y fabricación digital en proyectos de impacto positivo en la sociedad, cautivando el interés de los estudiantes universitarios y ampliando sus capacidades para futuras propuestas de proyectos creativos e innovadores desde la fabricación digital.

Por tanto, los resultados generados, en esta investigación, presentan un panorama hacia la importancia de complementar el estudio con futuras investigaciones donde se aplique a un mayor número de estudiantes, caracterizando el perfil etario, sexo, formación profesional, para poder llegar a un esquema más amplio con respecto a las múltiples disciplinas que puedan acceder al programa "Ruta Maker", adaptar contenidos introductorios cuando no son de ingeniería y que se aplique previamente un análisis de nivel de cada alumno previo a la inicialización del programa, para poder contrastar el nivel de aprendizaje conseguido a lo largo del programa educativo.

Referencias

1. Rojas V. Educación superior en tiempos de pandemia. Una aproximación cualitativa a las trayectorias educativas de las y los jóvenes de NdM en el Perú. Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE); 2021.

2. Vázquez Cupeiro S, García Arnau A. La educación digital en los tiempos del COVID-19: La digitalización forzosa y el ensanchamiento de las brechas educativas. Teknokultura Revista de Cultura Digital y Movimientos Sociales. 2022 May 9;19(2):1–3.

3. Díaz-Garay BH, Noriega-Araníbar MT, Ruiz-Ruiz MF. Experiencias y desafíos en la formación de ingenieros durante la pandemia del Covid-19. Desde el Sur. 2021 Sep 20;13(2):e0019.

4. Weller J. La pandemia del COVID-19 y su efecto en las tendencias de los mercados laborales. 2020;

5. Arsanjani A, Bharade N, Borgenstrand M, Schume P, Wood JK, Zheltonogov V. Business process management design guide: using IBM business process manager. IBM Redbooks; 2015.

6. Johnson A. L., Adams Becker, S., Estrada, V., and Freeman. Horizon Report: 2015 Higher Education Edition. 2015;

7. Grodotzki J, Upadhya S, Tekkaya AE. Engineering education amid a global pandemic. Advances in Industrial and Manufacturing Engineering [Internet]. 2021;3:100058. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666912921000283

8. Keaveney S, Athanasopoulou L, Siatras V, Stavropoulos P, Mourtzis D, Dowling DP. Development and Implementation of a Digital Manufacturing Demonstrator for Engineering Education. Procedia CIRP [Internet]. 2021;104:1674–9. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221282712101180X

9. Mahmood K, Otto T, Kuts V, Terkaj W, Urgo M, Haidegger G. Development of Virtual Learning Factory Toolkit for Production Engineering Education. IOP Conf Ser Mater Sci Eng [Internet]. 2021;1140(1):012039. Available from: https://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/1140/1/012039

10. Ruiz G. La teoría de la experiencia de John Dewey: significación histórica y vigencia en el debate teórico contemporáneo. Foro de Educación [Internet]. 2013;11(15):103–24. Available from: http://www.forodeeducacion.com/ojs/index.php/fde/article/view/260/pdf_10

11. Tihinen M, Pikkarainen A, Joutsenvaara J. Digital manufacturing challenges education—smartlab concept as a concrete example in tackling these challenges. Future Internet. 2021 Aug 1;13(8).

12. Valle Bernard M Del, Taverna ME. ¿ Virtualidad e inclusión? Consideraciones acerca del entorno socio-educativo de los estudiantes de Ingeniería en tiempos de COVID-19. Revista de la educación superior. 2023;52(205):21–39.

13. Vongkulluksn VW, Matewos AM, Sinatra GM. Growth mindset development in design-based makerspace: a longitudinal study. J Educ Res [Internet]. 2021 May 13;114(2):139–54. Available from: https://doi.org/10.1080/00220671.2021.1872473

14. Azhar Mohd, Phutela R, Ansari AH, Sinha D, Sharma N, Kumar M, et al. Rapid, field-deployable nucleobase detection and identification using FnCas9. bioRxiv [Internet]. 2020 Jan 1;2020.04.07.028167. Available from: http://biorxiv.org/content/early/2020/04/21/2020.04.07.028167.abstract

15. Phan MH, Ngo HQT. A multidisciplinary mechatronics program: From project-based learning to a community-based approach on an open platform. Electronics (Switzerland). 2020 Jun 1;9(6):1–46.

16. Wenzel T. Open hardware: From DIY trend to global transformation in access to laboratory equipment. PLoS Biol [Internet]. 2023 Jan 17;21(1):e3001931-. Available from: https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001931

17. Corsini L, Aranda-Jan CB, Moultrie J. Using digital fabrication tools to provide humanitarian and development aid in low-resource settings. Technol Soc [Internet]. 2019;58:101117. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X18302264

18. Silva DAL, Giusti G, Rampasso IS, Junior ACF, Marins MAS, Anholon R. The environmental impacts of face-to-face and remote university classes during the COVID-19 pandemic. Sustain Prod Consum. 2021;27:1975–88.

19. Pitkänen K, Iwata M, Laru J. Exploring technology-oriented Fab Lab facilitators' role as educators in K-12 education: Focus on scaffolding novice students' learning in digital fabrication activities. Int J Child Comput Interact [Internet]. 2020;26:100207. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212868920300313

20. Colorado HA, Mendoza DE, Valencia FL. A combined strategy of additive manufacturing to support multidisciplinary education in arts, biology, and engineering. J Sci Educ Technol. 2021;30:58–73.

21. Romero Gázquez JL, Bueno Delgado MV, Ortega Gras JJ, Garrido Lova J, Gómez Gómez MV, Zbiec M. Falta de habilidades, conocimiento y competencias en la Educación Superior sobre la Industria 4.0 en el sector manufacturero. RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia [Internet]. 2021 Jan 2;24(1):285–313. Available from: https://revistas.uned.es/index.php/ried/article/view/27548.

VOL. 6 Nº2- 2024

IBARRA - ECUADOR

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

IDEAS

Predicción de la precipitación pluvial para prevención aplicando modelos ARIMA, Optimización Bayesiana y Modelo XGBoost

http://doi.org/10.53358/ideas.v6i2.1004

Andrés Tapia Arévalo, Andrés Galvis Correa
Universidad Politécnica Estatal del Carchi
andres.tapia@upec.edu.ec

Fecha de envío, enero 20/2024 - Fecha de aceptación, septiembre abril 1/2024 - Fecha de publicación, julio 15/2024

Resumen: Tradicionalmente, las series temporales han sido estudiadas a través de modelos auto-regresivos debido a su naturaleza de asociación temporal, no obstante, la compleja periodicidad de las lluvias reduce la efectividad de estos métodos. Este estudio se enfoca en proporcionar un modelo estadístico para las precipitaciones en la Estación Meteorológica de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, cantón Tulcán, con el propósito de perfeccionar la capacidad de pronóstico y la resiliencia del sector agrícola regional. Se analiza las vulnerabilidades causadas por las variaciones meteorológicas en distintas regiones del Ecuador y resalta la importancia de la agricultura en este contexto. Para ello se propone un modelo estadístico que combina método ARIMA, optimización bayesiana y modelos XGBoost para predecir el comportamiento de la lluvia. Sobre la base de los resultados obtenidos en el estudio podemos prever el comportamiento adyacente de las precipitaciones en un margen temporal que colinda hasta el mes de diciembre del año 2024. En el modelo XGboost se optimizaron los parámetros del modelo eta, max_depth, sub_sample y colsambple_bytree por medio de optimización bayesiana minimizando la raíz del error cuadrático medio. Se concluyó que, a pesar de no cumplir con el criterio de normalidad en los residuos del modelo de precipitaciones, se pudo verificar que estos se centran en cero y su comportamiento no varía en el tiempo lo cual garantiza validez del enfoque utilizado. Esto constituye un recurso imprescindible para la elección de decisiones más favorables y así beneficiar al área agrícola en la capacidad de adaptarse a eventos climáticos desfavorables.

Palabras clave: Precipitación, ARIMA, XGBoost, Agricultura, Cambio climático.

Abstract: Traditionally, time series have been studied through autoregressive models due to their nature of temporal association; however, the complex periodicity of rainfall reduces the effectiveness of these methods. This study focuses on providing a statistical model for precipitation at the Meteorological Station of the State Polytechnic University of Carchi, Tulcán canton, with the purpose of improving the forecasting capacity and resilience of the regional agricultural sector. The vulnerabilities caused by meteorological variations in different regions of Ecuador are analyzed and the importance of agriculture in this context is highlighted. For this, a statistical model is proposed that combines the ARIMA method, Bayesian optimization and XGBoost models to predict the behavior of rain. Based on the results obtained in the study, we can predict the adjacent behavior of precipitation in a time frame that extends until December 2024. In the XGboost model, the model parameters eta, max_depth, sub_sample and colsambple_bytree were optimized. through Bayesian optimization minimizing the root mean square error. It was concluded that, despite not meeting the normality criterion in the residuals of the precipitation model, it was possible to verify that they are centered on zero and their behavior does not vary over time, which guarantees validity of the approach used. This constitutes an essential resource for choosing more favorable decisions and thus benefiting the agricultural area in the ability to adapt to unfavorable climatic events.

Keywords: Precipitation, ARIMA, XGBoost, Agriculture, Climate change.

Autor de correspondencia:
Andrés Tapia Arévalo, andres.tapia@upec.edu.ec

CC BY NC ND

Introduccion

La precisión en el pronóstico de las precipitaciones es sustancial en múltiples áreas, incluyendo la agricultura, la hidrología y la gestión de desastres. El cambio climático es el punto de inflexión de la producción agrícola y la economía de un país, siendo que representa un grave problema medioambiental con importantes consecuencias para el desarrollo futuro de la humanidad. El fenómeno climático ha captado la atención de gobiernos, organizaciones no gubernamentales y académicos de todo el mundo. La capacidad de predecir con precisión y celeridad las precipitaciones no solo facilita la planificación efectiva en sectores estratégicos, sino que también desempeña un papel fundamental en la prevención y mitigación de los efectos adversos de fenómenos meteorológicos exógenos, como inundaciones y deslizamientos de tierra.

La precipitación pluvial, que consiste en la caída de agua en forma de lluvia, es un fenómeno climático fundamental cuya definición resulta esencial para comprender los patrones climáticos y los riesgos asociados, como las inundaciones urbanas y los cambios en los ecosistemas lacustres. Estudios recientes, en la península de Yucatán, resaltan su variabilidad espacial y temporal, demostrando disminuciones anuales significativas. [1]

La influencia de la precipitación pluvial en las sequías de la región, se estudió por medio de modelos de aprendizaje automático para predecir inundaciones pluviales en Shenzhen, destacando la efectividad de enfoques como las redes neuronales. Además, se exploraron soluciones basadas en la naturaleza para gestionar el riesgo de inundaciones pluviales urbanas con notables avances en la predicción en tiempo real, resaltando la precisión proporcionada por modelos combinados con datos de radar y estaciones meteorológicas, lo que representa un avance clave en la gestión y prevención de inundaciones pluviales. [2]

La humedad, es un factor climático que influye en diversos procesos ecológicos y prácticas agrícolas, es esencial para la gestión y la toma de decisiones efectivas. Diversos estudios han destacado la importancia de la humedad y su complejo comportamiento, las influencias de especies invasoras en la dinámica del agua, [3] la relación entre la humedad y el rendimiento de los cultivos, los impactos en las lesiones cutáneas, [4] las interacciones en la contaminación del suelo y las respuestas fisiológicas de las plantas a la restricción de humedad. Estos estudios revelan la variabilidad y complejidad de la humedad en diferentes contextos, subrayando su importancia en la comprensión de fenómenos climáticos, prácticas agrícolas y procesos ecológicos. [5]

La temperatura desempeña un papel crucial en la predicción del clima, ya que tiene una influencia directa en una amplia variedad de fenómenos climáticos y conlleva importantes implicaciones para los ecosistemas, la agricultura y las actividades humanas. La comprensión de los patrones y variaciones de la temperatura es fundamental para el desarrollo de modelos y pronósticos climáticos precisos. Investigaciones del estado de Goiás y el Distrito Federal en Brasil [6] en São Paulo, han contribuido a la clasificación climática de Köppen-Geiger, revelando variaciones regionales importantes en los regímenes de temperatura. Además, análisis climáticos regionales, como los realizados en Rio Grande do Sul y en Minas Gerais han destacado las variaciones de temperatura y proyectados cambios futuros, proporcionando una visión integral de los patrones climáticos en estas áreas específicas. [7]

El estudio de la presión barométrica en el contexto de la predicción climática es crucial para comprender la relación entre esta variable y los patrones climáticos. Aunque la investigación directa es limitada, hay indicios que sugieren su importancia potencial. Por ejemplo, la presión barométrica disminuye con la baja presión atmosférica, lo que podría estar relacionado con la predicción climática. [8] Similarmente, se destacan el uso de la presión barométrica para evaluar propiedades hidrogeológicas, lo que demuestra su utilidad en la comprensión y predicción de patrones climáticos. [9] Asimismo, se enfatizan la relevancia de considerar la presión barométrica en la observación del agua subterránea para mejorar los modelos climatológicos. [10]

Tradicionalmente, las series temporales han sido estudiadas a través de modelos auto-regresivos debido a su naturaleza de asociación temporal. Muchas aplicaciones han demostrado su eficacia en el modelado de variables relacionadas con el clima. Por ejemplo, se utilizaron estos modelos para analizar la lluvia y la temperatura mensual, [11] mientras que también se aplicaron al estudio de la lluvia mensual. Estos modelos siguen formando parte del toolkit en el contexto de interés [12]. Se llegó a la conclusión de que el modelo de pronóstico basado en ARIMA es un método altamente eficiente, interpretable y confiable para obtener pronósticos regionales de temperatura y precipitación a corto plazo (2-20 años). Estos pronósticos son de gran utilidad en una amplia gama de aplicaciones de ingeniería. [13] Un estudio desarrollado con el modelo SARIMA basado en los datos de la cantidad mensual de lluvia en West Lampung Regenc utilizó la métrica del criterio de información de Akaike (AIC) y logró obtener pronósticos confiables para los próximos 12 meses revelando que estos estarán caracterizados por precipitaciones elevadas y muy elevadas. [14] El modelo ARIMA brinda una predicción precisa de las precipitaciones mensuales para un período de 5 años en el futuro. La predicción final se basó en un modelo ARIMA con el valor AIC más bajo. [15] Se propuso una combinación del modelo ARIMA con el modelo de red neuronal de función de base radial (RBF) para la predicción de precipitaciones mensuales. El enfoque consistió en utilizar el modelo ARIMA para predecir la precipitación mensual y calcular los residuos correspondientes. Posteriormente, se empleó el modelo de red neuronal RBF para aproximar y compensar los resultados de predicción obtenidos del modelo ARIMA, y así corregir los resultados finales de predicción. [16]

A partir de los descrito, es necesario aclaras que los modelos ARIMA especialmente propuestos para el estudio de series temporales combinan información de observaciones pasadas y autocorrelación de datos para generar predicciones en diversos campos. Este modelo se basa en tres componentes principales: autorregresión (AR), integración (I) y media móvil (MA). El componente de autorregresión (AR) se refiere a la dependencia lineal de una observación actual de sus valores pasados, donde el orden de la autorregresión especifica cuántos períodos anteriores se consideran. La integración (I) se refiere a diferenciar la serie temporal para hacerla estacionaria, es decir, eliminar tendencias y hacer que la media y la varianza sean constantes a lo largo del tiempo. La media móvil (MA) se refiere a la dependencia lineal entre una observación actual y un término de error residual de un modelo de media móvil aplicado a valores pasados de la serie temporal. [17]

Estos modelos han demostrado ser efectivos en la predicción de precipitaciones, capturando patrones temporales y tendencias, como lo demuestran estudios, [18], donde obtuvieron resultados satisfactorios con bajos errores de predicción. Asimismo, la precisión de los modelos ARIMA al predecir variaciones estacionales y tendencias a largo plazo en datos de precipitaciones. No obstante, aunque los modelos ARIMA han sido una herramienta útil para modelar y predecir series temporales, tiene limitaciones frente a los modelos de

aprendizaje automático. Su incapacidad para manejar relaciones no lineales y complejas, así como su falta de flexibilidad en la inclusión de múltiples variables predictoras, lo hace menos efectivo en comparación con modelos de aprendizaje automático como el modelo XGboost, que permite capturar patrones más complejos y no lineales en los datos.

El modelo XGBoost (Extreme Gradient Boosting) es un algoritmo de aprendizaje automático utilizado para realizar tareas de clasificación y regresión. Se basa en una técnica que utiliza árboles de decisión y ha demostrado ser altamente efectiva en diversas aplicaciones. La formulación matemática del modelo XGBoost es de naturaleza compleja. Se basa en la combinación de árboles de decisión débiles, generalmente de profundidad limitada, para construir un modelo más robusto. El algoritmo utiliza la técnica de "boosting" para mejorar de manera iterativa la precisión del modelo. En el ámbito de la predicción de precipitaciones, se ha reconocido en diversos estudios que el uso del modelo XGBoost es una herramienta adecuada y efectiva para el modelado de las precipitaciones. Mediante un modelo multivariado de predicción de lluvias utilizando la técnica de XGBoost. Para ello, utilizaron datos meteorológicos históricos de 7 años. Los resultados obtenidos mostraron que el modelo es capaz de generar predicciones precisas para estimaciones diarias de lluvia. [19] Se llevó a cabo una investigación sobre la idoneidad de los modelos de machine-learning para predecir el volumen de lluvia en un período de 8 horas. Para ello, utilizaron datos de series temporales de cinco ciudades importantes del Reino Unido. Compararon diferentes modelos de pronóstico, incluyendo redes LSTM-Networks, el algoritmo de árbol de decisión XGBoost y un algoritmo resultante del uso de AutoML. [20] El modelo XGBoost es altamente adecuado para pronosticar las precipitaciones en un período de 3 a 5 años, con una precisión del 95%. Esta conclusión se basa en el análisis de datos de los últimos 30 años (1987-2017) en la región de Vishakapattanam, India. [21] Se analizaron varios algoritmos de aprendizaje automático para la predicción de lluvias, incluyendo MLR, FR y XGBoost. Utilizaron datos recopilados de la estación meteorológica de la ciudad de Bahir Dar, Etiopía. Los resultados revelaron que XGBoost demostró ser el algoritmo de aprendizaje automático más adecuado para predecir la cantidad de lluvia diaria, utilizando características ambientales seleccionadas. [22]

El modelo XGBoost, se beneficia enormemente de la optimización bayesiana para ajustar sus hiperparámetros de manera eficiente y efectiva. La optimización bayesiana, es una técnica destacable para ajustar parámetros de modelos de aprendizaje automático que ha contribuido significativamente a mejorar la precisión en la predicción de precipitaciones, de hecho, se ha demostrado mejoras significativas al aplicar la optimización bayesiana en el ajuste de hiperparámetros de un modelo ARIMA [23]. Del mismo modo, el impacto positivo de la optimización bayesiana al encontrar los mejores parámetros de un modelo XGBoost para predecir lluvias. [24] Los principales parámetros del modelo XGBoost incluyen la cantidad de árboles (nrounds), la profundidad máxima del árbol (max_depth), la tasa de aprendizaje (eta), la proporción de características (colsample) y la proporción de individuos (subsample). Estos parámetros son importantes a la hora de controlar la complejidad del modelo, la capacidad de generalización y la velocidad de entrenamiento. El enfoque usado para encontrar los mejores parámetros fue la optimización bayesiana y los algoritmos fueron desarrollados en R con ayuda principal de los paquetes xgboost y RBayessianOptimization.

La estrategia de integrar modelos ARIMA, optimización bayesiana y el modelo XGBoost ha demostrado ser efectiva, la combinación de este enfoque superó a los modelos individuales, logrando una mayor precisión en las predicciones, esta se convierte en esencia en la principal contribución del presente trabajo pues plantea una metodología factible que combina modelos paramétricos y no paramétricos a la hora de pronosticar

precipitaciones diarias. No obstante, existen áreas de conocimiento que aún no han sido exploradas, como la necesidad de investigar la aplicación a largo plazo de estos modelos, la influencia de diferentes variables de entrada y técnicas de preprocesamiento, así como la eficiencia computacional para la predicción en tiempo real. Estos temas requieren atención en futuras investigaciones. [25]

Considerando lo expuesto anteriormente, es importante destacar que la zona de la provincia del Carchi, donde se llevó a cabo el estudio, está fuertemente afectada por los cambios climáticos, como el aumento de las temperaturas promedio, las olas de calor y la excesiva evaporación durante las temporadas de verano. Estos cambios climáticos provocan una producción excesiva de lluvias, lo que afecta la economía del sector agropecuario. Por lo tanto, es crucial conocer las previsiones de precipitaciones para poder implementar acciones y estrategias que mitiguen esta problemática en toda la zona.

Debido a los cambios climáticos actuales, la zona de producción, en particular los cantones de Tulcán, Mira y Huaca, se ve afectada por condiciones climáticas adversas debido a su ubicación geográfica a más de 3200 m.s.n.m. Esto ha resultado en rendimientos de producción cada vez más bajos, asociados con la disminución de nutrientes en el suelo y una disminución en los tiempos de rotación de los cultivos. Como resultado, la productividad de la tierra se ha visto restringida.

Las estaciones meteorológicas de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi cuentan con datos de más de 4 años antigüedad, los cuales recopilan más de 9 variables climáticas necesarias para realizar la predicción de precipitaciones. La universidad tiene interés en llevar a cabo predicciones climatológicas particularmente sobre las precipitaciones en los cantones de Mira, Tulcán y Huaca. Sin embargo, debido a la gran cantidad de datos existentes, la universidad no cuenta con la capacidad para liderar un proyecto que pueda predecir las precipitaciones en los 3 cantones, lo que ha ocasionado los problemas mencionados anteriormente.

Esto deja en claro que el principal objetivo de esta investigación es proponer un modelo estadístico para predecir las precipitaciones en una estación meteorológica de la UPEC. Para lograrlo, es necesario cumplir con los siguientes objetivos específicos: Diagnosticar el modelo inicial de los datos meteorológicos a utilizar; Aplicar el modelo estadístico a los datos meteorológicos; y Analizar los resultados obtenidos del modelo estadístico de predicción.

Las variables inicialmente disponibles para este propósito son: WS(ave) con un rango de 0 a 32, WD(ave) con un rango de 0 a 360, WS(max) con un rango de 0 a 5, WS(inst_m) con un rango de 0 a 66.1, WD(inst_m) con un rango de 0 a 354, Max_time con un rando de 0 a 1, Radiacion_solar con un rando de 0 a 4.98, Temperatura con un rango de -1.7 °C a 21.4 °C, Humedad de 21.1 a 99.53, Rainfall de 0 a 17.5 y Bar_press de 713.7 a 722.6. Estas variables fueron delimitadas en un período de tiempo de 01-01-2019 y 28-03-2023 y fue necesario realizar algunas operaciones de preprocesamiento como: 1) agrupar los datos por fecha y suma los valores de cada columna para cada fecha; 2) completar el conjunto de datos con fechas faltantes, asegurando una observación para cada día; 3) interpolar linealmente los valores faltantes en las columnas de datos y 4) actualiza la columna de fecha para que tenga una secuencia de fechas diarias desde la fecha mínima hasta la fecha máxima del conjunto de datos original. Esto con la finalidad de garantizar una secuencia de fechas continua y completa.

Materiales y Métodos

La naturaleza de los datos y los objetivos planteados orientan la investigación hacia un enfoque cuantitativo correlacional. Se emplea la correlación entre las covariables y la variable objetivo para desarrollar un modelo que contribuya a predecir el patrón temporal de las precipitaciones pluviales

Datos, Área de Estudio y Variables

El área de estudio se ubica en Ecuador, en la ciudad de Tulcán, provincia del Carchi. La diversidad climática de Ecuador se manifiesta a través de una vasta variedad de climas, influenciados por diversos factores ambientales que le confieren características peculiares a la climatología del país. Se cuenta con datos diarios de precipitaciones, temperatura, humedad y presión desde enero de 2019 hasta febrero de 2023, lo cual se expone en la Fig 1.

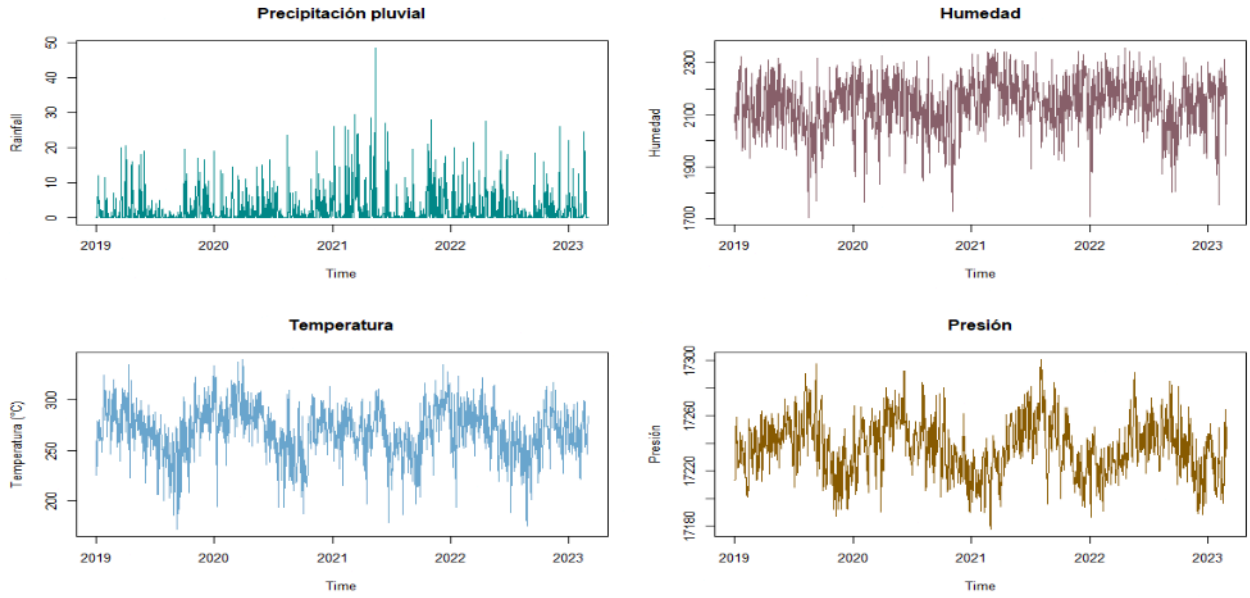


Fig. 1. Disposición temporal de las variables de estudio.

Modelos estadísticos

Modelos ARIMA

El modelo ARIMA, conocido como método de Box-Jenkins y desarrollado por Box y Jenkins (1970), es ampliamente utilizado para el ajuste y pronóstico de series temporales que presentan correlación temporal. [26] Se trata de una clase de modelos en el dominio del tiempo que ha demostrado ser efectiva en este tipo de análisis. Este modelo constituye una técnica estadística ampliamente utilizada para predecir variables aleatorias en series de tiempo. [13]

Se fundamenta en la premisa de que los valores futuros de la serie temporal son influenciados tanto por su propio historial como por las observaciones pasadas Su formulación básica se representa de la siguiente manera:

$$ARIMA(p, d, q) \tag{1}$$

Donde:

p : representa el orden del componente autorregresivo (AR).

d: representa el número de diferenciaciones necesarias para hacer que la serie sea estacionaria.

q: representa el orden del componente de media móvil (MA).

La representación matemática de un modelo ARIMA general es:

$$Y_t = c + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \cdots + \alpha_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \beta_1 \varepsilon_{t-1} - \beta_2 \varepsilon_{t-2} - \cdots - \beta_q \varepsilon_{t-q}, \quad (2)$$

Donde:

Y_t : es el valor de la variable en el tiempo t.

c : es una constante.

$\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_p$: son los coeficientes autorregresivos.

ε_t : es el término de error en el tiempo t.

$\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_q$: son los coeficientes de media móvil.

Modelo XGBoost

La formulación general de XGBoost se puede representar de la siguiente manera:

$$F(x) = \sum h_t(x) \quad (3)$$

Donde:

$F(x)$: es la predicción final del modelo para una instancia x.

$h_t(x)$: representa la predicción del árbol de decisión débil t para la instancia x.

El objetivo principal de XGBoost es minimizar una función de costo regularizada que combina dos componentes; *Función de costo de pérdida*: Esta función mide cuán bien el modelo se ajusta a los datos observados. Puede ser una función de pérdida como la regresión logística para problemas de clasificación o la regresión cuadrática para problemas de regresión; *Término de regularización*: Para evitar el sobreajuste del modelo, se agrega un término de regularización que penaliza la complejidad del modelo (número de nodos terminales en los árboles).

El objetivo es encontrar los árboles de decisión débiles $h_t(x)$ que minimizan esta función de costo. XGBoost también utiliza técnicas como el "Gradient Boosting" y el "Regularization" para mejorar la calidad del modelo y evitar el sobreajuste. En resumen, XGBoost es un poderoso algoritmo de aprendizaje automático que combina múltiples árboles de decisión para realizar predicciones precisas en una variedad de problemas de aprendizaje supervisado.

Optimización Bayesiana

La optimización desempeña un papel crucial en varios campos, incluida la ciencia de datos, donde estamos familiarizados con el ajuste de modelos para mejorar su rendimiento. Los algoritmos de optimización nos permiten obtener una mejor eficiencia de nuestros modelos. Una ventaja particular de la optimización bayesiana radica en su capacidad para lidiar con evaluaciones costosas de la función de aptitud, como ocurre al entrenar algoritmos de aprendizaje automático. En estos casos, resulta justificable invertir recursos adicionales en cálculos más precisos para tomar decisiones más acertadas.

El procedimiento general cuando se trabaja con Optimización Bayesiana se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Procedimiento general de optimización bayesiana

Algoritmo 1 Pseudocódigo básico para Optimización Bayesiana

Coloque un proceso gaussiano antes en f

Observe f en n_0 puntos de acuerdo con un diseño experimental inicial de relleno de espacio. Establecer $n = n_0$.

Mientras $n \leq N$ **hacer**

Actualice la distribución de probabilidad posterior en f utilizando los datos disponibles

Sea x_n un maximizador de la función de adquisición sobre x. donde la función de adquisición se calcula utilizando la distribución posterior actual

Observar $y_n = f(x_n)$

Incrementar n

Fin mientras

Devuelve una solución: ya sea el punto evaluado con la f(x) más grande, o el punto con la media posterior más grande

La optimización bayesiana se compone de dos elementos principales: un modelo estadístico bayesiano utilizado para modelar la función objetivo y una función de adquisición encargada de determinar dónde se debe tomar la siguiente muestra. El proceso gaussiano es frecuentemente empleado como modelo estadístico debido a su flexibilidad y facilidad de manejo.

Proceso gaussiano

El proceso gaussiano es un modelo utilizado para aproximar la función objetivo, también denominado modelo sustituto. En la estadística bayesiana, cuando nos encontramos con un valor desconocido, suponemos que fue extraído al azar de una distribución de probabilidad previa. En el caso del proceso gaussiano, esta distribución previa se asume como una distribución normal multivariada con un vector medio determinado y una matriz de covarianza.

La distribución priori en $[f(x_1), f(x_2), \ldots, f(x_k)]$ es

$$f(x_{1:k}) \sim \mathcal{N}\left(\mu_0(x_{1:k}), \Sigma_0(x_{1:k}, x_{1:k})\right) \quad (4)$$

Donde:

$\mathcal{N}(x, y)$: es la distribución normal

$\mu_0(x_{1:k})$: es la función media de cada x_i. Es común usar $m(x) = 0$ ya que el proceso gaussiano es lo suficientemente flexible como para modelar la media arbitrariamente bien.

$\Sigma_0(x_{1:k}, x_{1:k})$: es la función Kernel o función de covarianza en cada par de x_i .

El proceso gaussiano también proporciona una distribución de probabilidad posterior bayesiana que describe valores potenciales para $f(x)$ en el punto candidato x. Cada vez que observamos f en un nuevo punto, esta distribución posterior se actualiza.

La función de adquisición se emplea para elegir en qué punto de x tomaremos la muestra a continuación. El punto elegido es aquel con el valor óptimo de la función de adquisición. La función de adquisición calcula el valor que se generaría mediante la evaluación de la función de aptitud en un nuevo punto x, en función de la distribución posterior actual sobre f .

Existen diversas opciones para la función de adquisición, como la mejora esperada, el límite de confianza superior del proceso gaussiano, la búsqueda de entropía, entre otros. En este caso, nos centraremos en ilustrar la función de mejora esperada.

$$EI(x) = \begin{cases} (\mu(x) - f(x^+) - \xi)\Phi(z) + \sigma(x)\phi(z), & si\ \sigma(x) > 0 \\ 0, & si\ \sigma(x) = 0, \end{cases} \quad (5)$$

Donde:

$f(x^+)$: Mejor valor de $f(x)$ de la muestra.

$\mu(x)$: Media del predictivo posterior del proceso gaussiano en x.

$\sigma(x)$: Desviación estándar del predictivo posterior del proceso gaussiano en x.

ξ: determina la cantidad de exploración durante la optimización y los valores de ξ más altos conducen a una mayor exploración.

Φ: Función de densidad acumulada (CDF) de la distribución normal estándar.

ϕ: Función de densidad de probabilidad (PDF) de la distribución normal estándar.

Resultados y Discusión

Modelos ARIMA

Modelo ARIMA para la Humedad

El modelo ARIMA (2,1,1) que se muestra en la Figura 2, ofrece varias ventajas para la predicción diaria de la humedad. En primer lugar, al incorporar la información de las dos observaciones anteriores y aplicar una diferencia de orden 1, el modelo puede capturar efectivamente la tendencia y la estacionalidad presentes en los datos, lo que mejora su capacidad para adaptarse a los patrones subyacentes en la serie temporal de humedad. Además, al incluir un componente autorregresivo (AR) de orden 2 y un componente de media móvil (MA) de orden 1, el modelo considera tanto las relaciones lineales entre las observaciones pasadas como la influencia de los errores previos en la predicción actual, lo que proporciona una representación más completa del comportamiento de la humedad. Además, lo que sugiere que el modelo logra capturar la variabilidad no sistemática de los datos. Esta característica es esencial para validar el supuesto de normalidad, ya que los residuos normalmente distribuidos indican que el modelo no deja patrones significativos sin explicar.

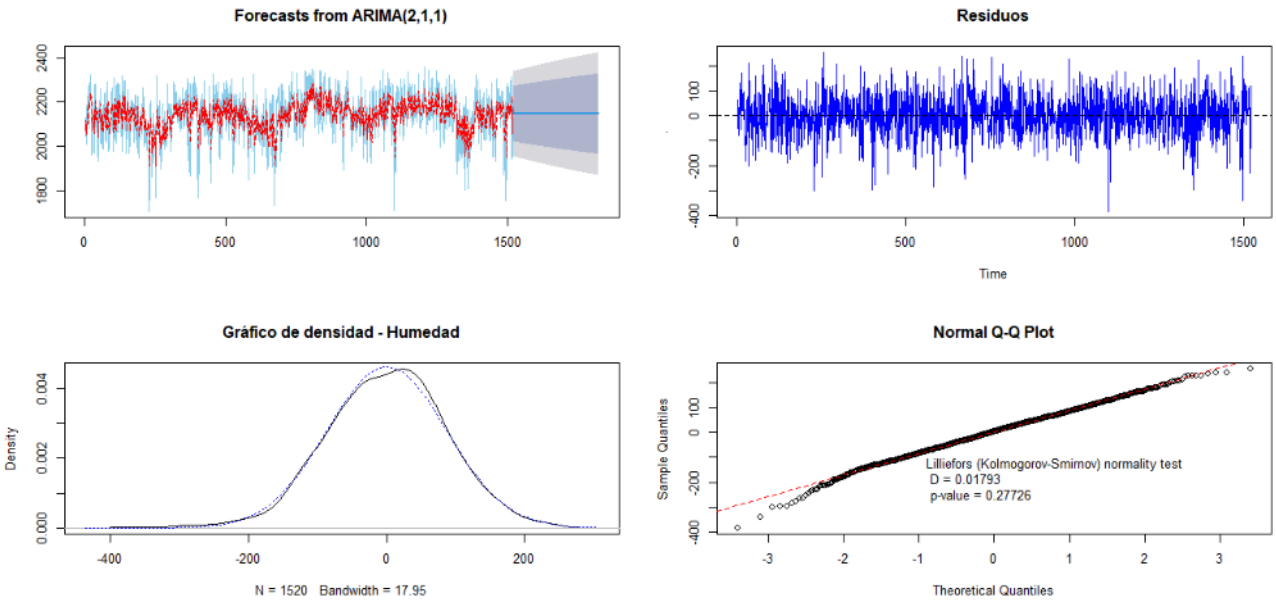


Fig. 2. Modelo ARIMA para la Humedad.

Modelo ARIMA para la Temperatura

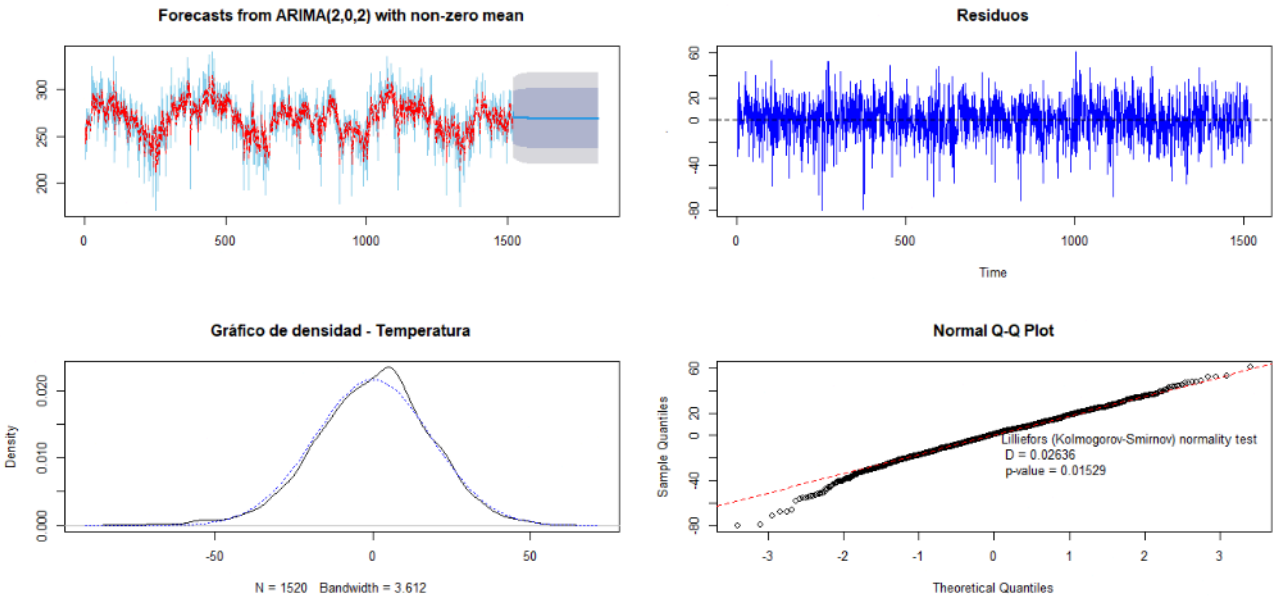


Fig.3. Modelo ARIMA para la Temperatura.

La Figura 3 muestra el comportamiento temporal de la temperatura el cual es modelado cumpliendo con los supuestos de normalidad de los residuos, con un nivel de significancia del 0,01. En este caso, el modelo ARIMA (2,0,2) sirve como una herramienta sólida para la predicción de la temperatura. La capacidad del modelo para generar predicciones coherentes se evidencia en el adecuado comportamiento de los residuos, indicando que logra capturar de manera efectiva la variabilidad no sistemática de los datos. Esta propiedad resulta crucial para validar el supuesto de normalidad, ya que los residuos normalmente distribuidos sugieren que el modelo no deja patrones significativos sin explicar.

Modelo ARIMA para la Presión Barométrica

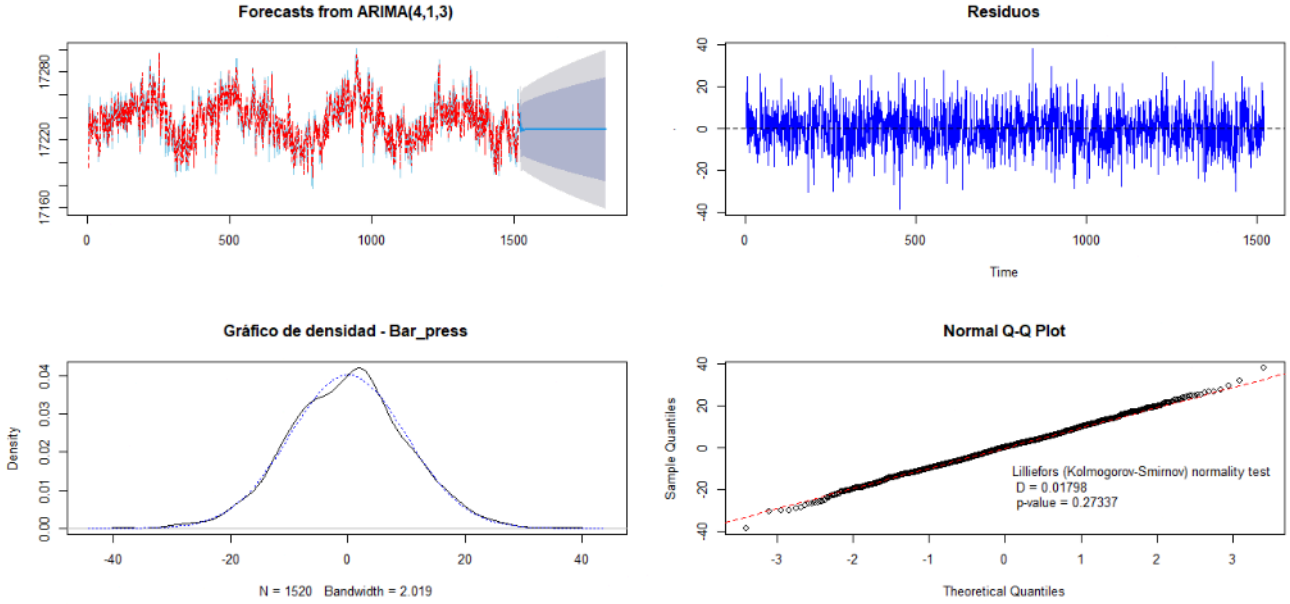


Fig.4. Modelo ARIMA para la Presión Barométrica.

El comportamiento de la presión barométrica permite obtener un modelo con un comportamiento adecuado de los residuos, ya que estos cumplen con el supuesto de normalidad (ver Figura 4). El modelo ARIMA (4,1,3) para la predicción de la presión barométrica exhibe una eficacia notable al capturar patrones complejos en la serie temporal. La inclusión de componentes autorregresivos y de media móvil con órdenes específicos (AR=4, I=1, MA=3) permite al modelo adaptarse de manera dinámica a las fluctuaciones observadas en la presión atmosférica. El análisis de los residuos permite validar el modelo mediante un comportamiento adecuado lo cual sugiere que se logra una representación precisa de la variabilidad no sistemática en los datos.

Optimización Bayesiana – Modelo XGBoost

Predicciones precipitación pluvial

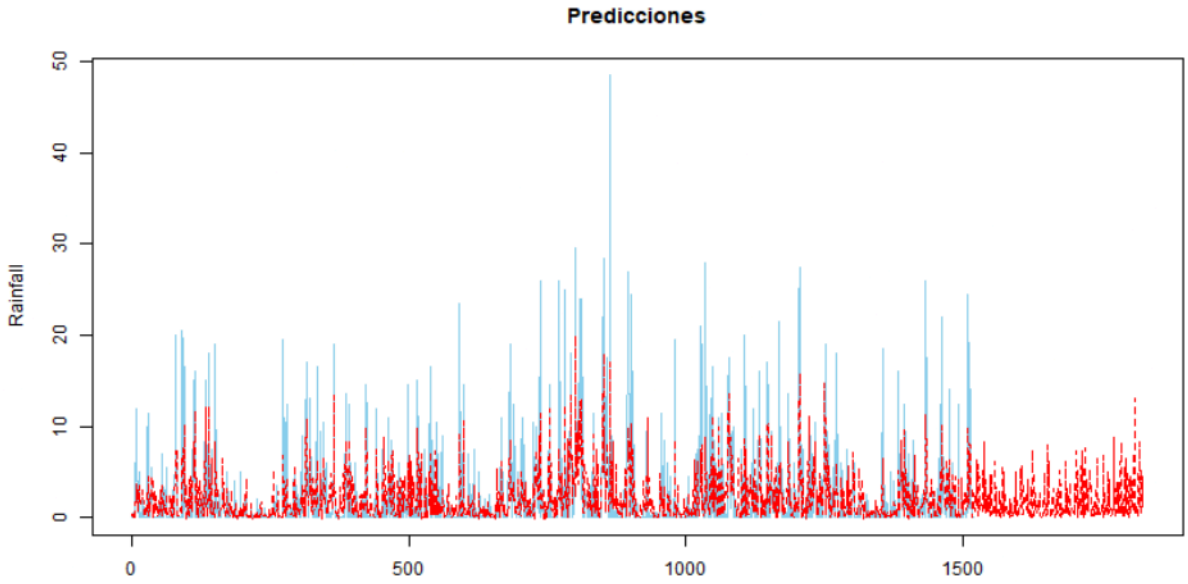


Fig. 5. Predicciones precipitación pluvial

De acuerdo con la Figura 5, el comportamiento temporal de las precipitaciones disponible no admitió un modelo paramétrico para predecir un escenario prospectivo, es por ello que se recurre a modelos no paramétricos de aprendizaje automático que no requieren supuestos de normalidad sobre los residuos. No obstante, es necesario comprobar que estos residuos se encuentren centrados en cero y sea estacionarios, lo cual se confirma con la prueba de Dickey-Fuller el cual arroja p-valor = 0,01.

Dada la naturaleza del comportamiento temporal de las precipitaciones caracterizado por su complejidad y falta de ajuste a modelos paramétricos, el enfoque no paramétrico del modelo XGBoost se presenta como una elección apropiada para la predicción de este fenómeno climático. A diferencia de los modelos paramétricos, XGBoost no depende de supuestos de normalidad sobre los residuos, lo que es particularmente relevante dada la variabilidad inherente y no linealidad de las precipitaciones. Este enfoque no solo permite flexibilidad en la modelización, sino que también proporciona resultados más precisos y adaptativos a la complejidad consustancial de las series temporales de precipitaciones. En el presente estudio, se optimizaron los parámetros del modelo XGBoost por medio de optimización bayesiana y se obtuvo que la combinación óptima de parámetros fue: eta =

0.05, max_depth = 6, sub_sample = 0.43 y colsambple_bytree = 0.3, combinación que permitió minimizar la raíz del error cuadrático medio.

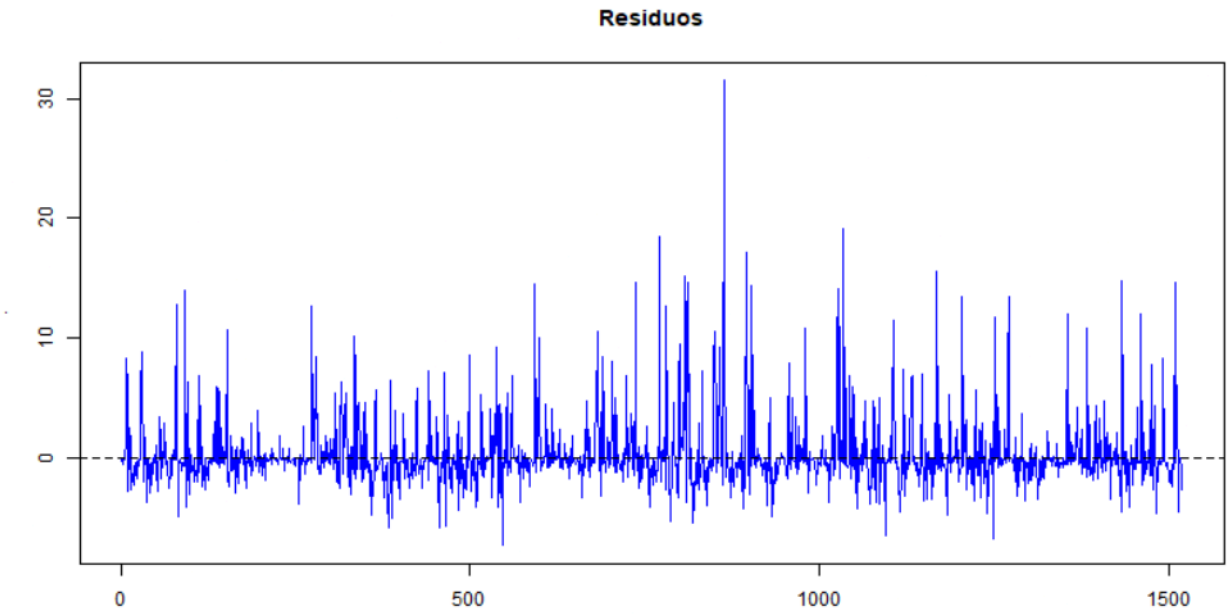


Fig. 6. Predicciones precipitación pluvial.

La Figura 6, muestra el comportamiento de los residuos del modelo XGBoost lo cual es crucial para validar su calidad y precisión. Los residuos son las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo, y un buen comportamiento de los residuos implica que no muestran patrones sistemáticos y se distribuyen aleatoriamente alrededor de cero. Cuando los residuos exhiben este comportamiento, indican que el modelo ha capturado adecuadamente la estructura subyacente de los datos y ha modelado eficazmente las relaciones entre las variables predictoras y la variable objetivo. No obstante, dada los patrones particulares de las precipitaciones se tiene una mayor concentración de los errores por encima del cero. Sin embargo, este comportamiento sugiere que el modelo no está cometiendo errores sistemáticos y no está dejando información relevante sin explicar, lo que aumenta la confianza en las predicciones del modelo. Por lo tanto, el buen comportamiento de los residuos en un modelo XGBoost es un indicador importante de su fiabilidad y validez.

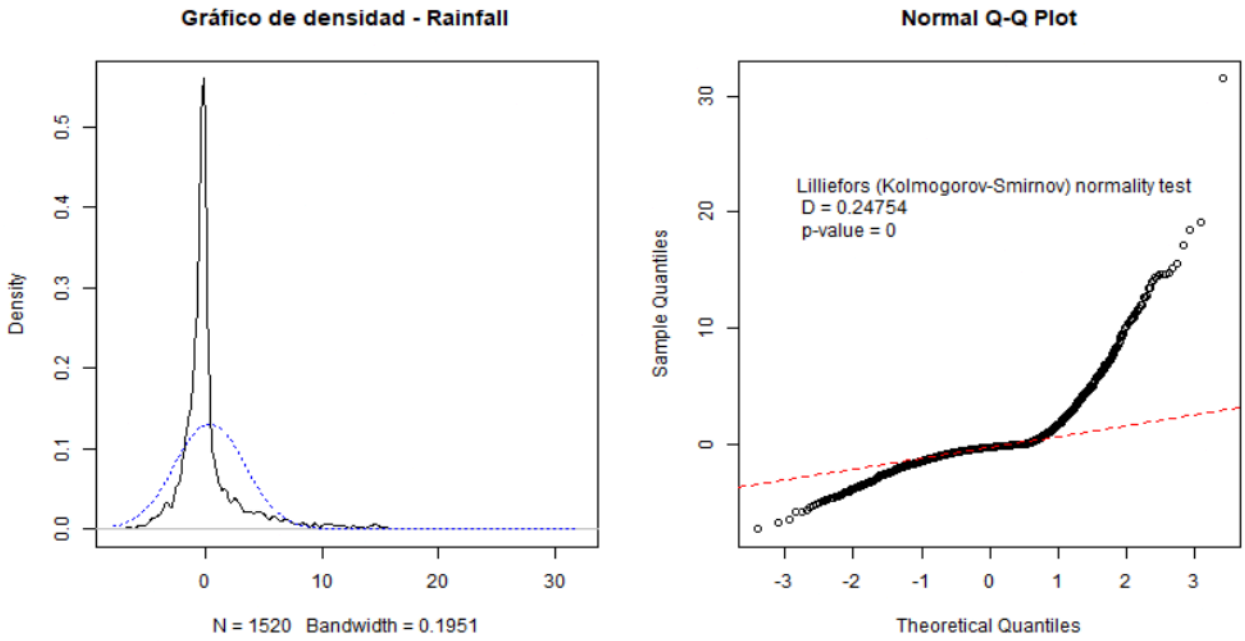


Fig. 7. Predicciones precipitación pluvial.

De acuerdo a la Figura 7, el buen comportamiento de los errores en un modelo XGBoost, incluso si no siguen una distribución normal, radica en su tendencia a acumularse alrededor de cero; es decir, aunque los errores pueden no tener una distribución simétrica típica, si mantienen esta propiedad de centrarse alrededor de cero, indican que el modelo está capturando adecuadamente la tendencia central de los datos y está realizando predicciones consistentes en promedio. Este comportamiento es fundamental para validar la calidad del modelo, ya que sugiere que, a pesar de las desviaciones individuales, el modelo generaliza bien y no comete errores sistemáticos. Por lo tanto, la acumulación de errores en torno al cero en un modelo XGBoost es un indicador crucial de su capacidad para hacer predicciones precisas y confiables.

Discusión de resultados

Las precipitaciones son un fenómeno estacional que ocurre a lo largo de un período de doce meses que muy probablemente dependen de las corrientes de aire. [26] Tradicionalmente, los investigadores han utilizado métodos ARIMA para modelar las precipitaciones en diferentes periodicidades. Sin embargo, este estudio concluye que el modelado y pronóstico de lluvias utilizando algoritmos tradicionales como ARMA, ARIMA, SARIMA, entre otros, no logra ajustarse adecuadamente, especialmente en el comportamiento de los residuos, los cuales no cumplen con los supuestos de normalidad requeridos. Estos hallazgos coinciden con lo mencionado quienes, tras una exhaustiva investigación, optaron por técnicas de machine learning, como el gradiente extremo, para el pronóstico, tal como se ha presentado en el desarrollo del presente trabajo. [21]

Los modelos autorregresivos ARIMA presentan ciertas desviaciones en la precisión de la predicción de las precipitaciones. Sugieren que es necesario combinar un modelo ARIMA con un modelo de red neuronal RBF para mejorar la precisión de las predicciones. En este sentido, proponen la combinación de modelos ARIMA para predecir las variables que influyen en el comportamiento de las precipitaciones, seguido por el uso del modelo XGBoost para generar un escenario predictivo más preciso. [16]

Es importante señalar que, en los distintos estudios citados, se hace referencia al uso de modelos ARIMA para realizar predicciones en una temporalidad de carácter mensual, sin embargo, este modelo no cumple con los requisitos necesarios para una temporalidad diaria. En este sentido, aplicaron varias técnicas de aprendizaje automático y llegaron a la conclusión de que el modelo XGBoost es capaz de predecir de manera consistente las precipitaciones diarias, lo cual se alinea con el objetivo del estudio actual. [22]

Adicionalmente, el modelo GARCH se utiliza comúnmente en el análisis de series de tiempo financieras con la finalidad de captar la volatilidad de los rendimientos, a pesar de que su aplicación se extiende a otras áreas no resultó ser útil para predecir precipitaciones debido a que estas se encuentran influenciadas por una variedad de factores meteorológicos complejos. Además, la relación entre estas variables no siempre es lineal, lo que hace que el enfoque de modelado GARCH no sea adecuado para capturar la complejidad de los procesos meteorológicos lo cual sucedió en el presente estudio al evidenciar propiedades no plausibles para el uso de este modelo en los datos disponibles.

El modelo XGBoost presenta ventajas sustanciales sobre los modelos ARIMA, como se ha demostrado en diversos estudios. Por ejemplo, el análisis de [19] resalta la capacidad del XGBoost para generar predicciones precisas de las lluvias diarias, superando las limitaciones de ARIMA en la captura de patrones no lineales y complejos. Además, [20] encontró que XGBoost fue altamente adecuado para predecir el volumen de lluvia, lo que sugiere una mayor flexibilidad y adaptabilidad del modelo XGBoost en comparación con ARIMA. Este hallazgo es respaldado por [21], donde se concluyó que XGBoost es altamente adecuado para pronosticar precipitaciones en un período de 3 a 5 años con una precisión del 95%. Del mismo modo, el estudio [22] reveló que XGBoost demostró ser el algoritmo de aprendizaje automático más adecuado para predecir la cantidad de lluvia diaria, utilizando características ambientales seleccionadas. Estas investigaciones sugieren que XGBoost, con su capacidad para capturar relaciones no lineales de manera efectiva, es una opción superior a ARIMA para la modelización y predicción de fenómenos climáticos como las precipitaciones.

En resumen, la aplicación de modelos ARIMA en estudios previos se ha centrado principalmente en temporalidades mensuales, lo cual puede limitar su capacidad para capturar patrones más finos en datos diarios de precipitación. En contraste, el modelo XGBoost, al ser especialmente robusto para manejar series temporales con frecuencias diarias, destaca por su capacidad de adaptación a la variabilidad inherente en datos climáticos diarios. Este enfoque más granular no solo se alinea mejor con la naturaleza dinámica de las precipitaciones, sino que también subraya la importancia de seleccionar modelos que se ajusten a la escala temporal específica del fenómeno estudiado. La capacidad del XGBoost para predecir consistentemente precipitaciones diarias, como respaldan estudios previos, resalta su relevancia y ventaja sobre enfoques tradicionales en escenarios donde se requiere una mayor resolución temporal para comprender y prever fenómenos meteorológicos.

Finalmente, resulta importante señalar que una de las limitaciones del enfoque utilizado es que, aunque el modelo XGBoost se utiliza para predecir las precipitaciones diarias utilizando datos de temperatura, presión y humedad obtenidos a través de modelos ARIMA, puede haber una complejidad subestimada en la relación entre estas variables y las precipitaciones. Los modelos ARIMA pueden capturar algunas relaciones lineales entre las variables meteorológicas, pero pueden no ser suficientes para reflejar las interacciones

no lineales y complejas que existen en el clima. Esto podría resultar en un sub-ajuste del modelo XGBoost en ciertos períodos de tiempo y, por lo tanto, en predicciones menos precisas de las precipitaciones.

Conclusiones

El comportamiento caótico de las precipitaciones en el tiempo de recolección de datos desde enero del 2019 hasta marzo del 2023 no permite el uso de modelos paramétricos como el ARIMA o GARCH, es por esto que se recurre a técnicas de aprendizaje automático como el XGBoost para encontrar una predicción más cercana al comportamiento de la serie temporal y logrando un rmse de 3,48; cuando en el caso de los modelos ARIMA el error siempre se mantuvo por encima de 4,00. A pesar de no cumplir con el criterio de normalidad en los residuos del modelo de precipitaciones, supuesto que no es necesario en modelos de aprendizaje automático, se pudo verificar que estos se centran en cero y su comportamiento no varía en el tiempo.

El uso del modelo XGBoost, especialmente cuando se ha ajustado mediante optimización bayesiana, demuestra ser una estrategia altamente efectiva para la predicción de variables climáticas, como las precipitaciones. La optimización bayesiana permite encontrar de manera eficiente los hiperparámetros óptimos del modelo, maximizando su rendimiento predictivo. La capacidad constitutiva de XGBoost para manejar la complejidad no lineal de las series temporales se ve potenciada por este enfoque, ya que se ajusta de manera precisa a las características específicas de los datos meteorológicos. La combinación de XGBoost y optimización bayesiana se presenta como una estrategia avanzada y significativa para abordar la complejidad de las series temporales climáticas. Esta combinación ofrece resultados robustos y mejora significativamente la capacidad predictiva del modelo, lo que la convierte en una opción muy efectiva para este tipo de análisis.

Agradecimientos:

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a todos los que contribuyeron al desarrollo y éxito de este artículo científico. Agradezco profundamente a mis colegas y colaboradores por su dedicación y valiosos aportes. También agradezco a las instituciones y recursos que hicieron posible este trabajo. Este logro no hubiera sido posible sin el apoyo constante de mis mentores y la inspiración de la comunidad científica. Cada aporte fue esencial y agradezco sinceramente el apoyo que enriqueció este trabajo. Este trabajo demuestra nuestro compromiso compartido con la investigación y el avance del conocimiento.

Referencias:

1. Bulti, E.; Abebe, T.: A review of flood modeling methods for urban pluvial flood application. Modeling Earth Systems and Environment, vol. 14, No. 6, pp. 1293-1302 (2020)

2. Huang, Y.: Nature□based solutions for urban pluvial flood risk management. Wiley Interdisciplinary Reviews Water, vol. 6, No. 4, pp. 121-146 (2020)

3. Poveda, G.: La hidroclimatología de colombia una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, vol. 28, No. 107, pp. 255-272 (2023)

4. Nasca, L.: Efectos de la invasión del ligustrum, Ligustrum lucidum, sobre la dinámica hidráulica de los Yungas del noroeste argentino. Silvicultura, vol. 35, No 5, pp. 195-215 (2014)

5. Zahermand, S.; Vafaeian, M.; Bazyar, M.: Análisis de las propiedades físicas y químicas de suelos contaminados con hidrocarburos oleosos, Revista de investigación de ciencias de la tierra, vol. 24, No 5, pp. 163-168 (2020)

6. Cardoso, M.; Marcuzzo, M.; Barros, J.: Clasificación Climática de Köppen-Geiger para el Estado de Goiás y el Distrito Federal. Minutas geográficas, vol. 5, No. 6, pp. 122-151 (2015)

7. Cunha, A.; Martins, D.: Clasificación climática para los municipios de botucatu y são manuel, Revista Cientifica Sinopsis, vol. 14, No. 3, pp. 75-92 (2018)

8. Acworth, R.: Comprensión de los sistemas conectados de aguas superficiales y subterráneas mediante el análisis de Fourier de las fluctuaciones diarias y subdiarias de la carga, Revista de hidrogeología, vol. 23, No. 6, pp. 143-159 (2015)

9. Fileccia, A.: Utilizar las fluctuaciones del nivel del agua en respuesta a los cambios de la marea terrestre y la presión barométrica para medir las propiedades hidrogeológicas in situ de un acuífero sobrecargado en un yacimiento de carbón, Revista de Hidrogeología, vol. 26, No. 14, pp. 1465-1479 (2020)

10. Kamp, G.; Schmidt, R.:Revisión: Carga de humedad: la información oculta en los registros de pozos de observación de aguas subterráneas, Revista de Hidrogeología, vol. 32, No. 25, pp. 2225-2233 (2017)

11. Kaushik, I.; Singh, S.: Seasonal ARIMA Model for Forecasting of Monthly Rainfall and Temperature, J. Environ. Res. Dev., pp. 506-514 (2008)

12. Mashin, M.; Begum, M.: Modeling Rainfall in Dhaka Division of Bangladesh Using Time Series, ResearchGate, Vol. 1, No.5, pp. 67-73 (2012)

13. Lai, Y.; Dzombak, D.: Use of the Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Model to Forecast Near-term Regional Temperature and Precipitation, Weather and Forecasting (2020)

14. Nusyirwan, L.; Afriani, F.: Forecasting Monthly Rainfall Using Arima Seasonal Method: Case Study: Rainfall in West Lampung Regency, International Journal of Statistics and Applications, vol. 12, No. 4, pp. 83-86 (2022)

15. Bora, S.; Hazarika, A.: Rainfall Time Series Forecasting using ARIMA Model, 2023 International Conference on Artificial Intelligence and Applications (ICAIA) Alliance Technology Conference (ATCON-1) (2023)

16. Zhao, J.; Chen, R.; Xin, H.: Rainfall study based on ARIMA-RBF combined model, in 5th International Symposium on Big Data and Applied Statistics (ISBDAS 2022), Journal of Physics: Conference Series (2022)

17. Shumway,H.; Stoffer, S.: Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples, 4th ed. Davis, CA: Springer Nature (2017)

18. Smith, J.: Predicción de precipitaciones mensuales mediante modelos ARIMA, Revista de Meteorología y Climatología Aplicadas, vol. 5, No. 6, pp. 55-73 (2018)

19. Anwar, M.; Winarno, E.; Hadikurniawati, W.: Rainfall prediction using Extreme Gradient Boosting," Journal of Physics: Conference Series. Annual Conference on Science and Technology (ANCOSET 2020), (2021)

20. Barrera, L.; Oyedele, M.; Akinosho, T.; Davila, L.: Rainfall prediction: A comparative analysis of modern machine learning algorithms for time-series forecasting, Machile Learning with Applications, (2022)

21. Poola, K.; Sekhar, H. Prediction of rainfall by using estreme gradient boost (XG boost) in Vishakapattanam area, Andhra Pradesh, International Journal of Statistics and Applied Mathematics, vol. 6, No. 3, pp. 83-86 (2021)

22. Liyew, M.; Melese, A.: Machine learning techniques to predict daily rainfall amount, Journal of Big Data, vol. 8, No. 153, p. 11 (2021)

23. Wang, Q.: Optimización bayesiana para el ajuste de parámetros del modelo XGBoost en la predicción de lluvias, Investigación de recursos hídricos, vol. 6, No. 2, pp. 91-112 (2017)

24. Li, C.; Shang, H.: Optimización bayesiana para el ajuste de parámetros del modelo XGBoost en la predicción de lluvias, Investigación de recursos hídricos, vol. 5, No. 6, pp. 67-82 (2020)

25. Chen, L.; Zhang, Y.: Predicción de lluvia integrada utilizando ARIMA, optimización bayesiana y modelo XGBoost, Revista de Hidrología, vol. 7, No. 4, pp. 145-176, (2019)

26. Rahman, A.; Mahmudul, H.:Modeling and Forecasting of Carbon Dioxide Emissions in Bangladesh Using Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Models, Technology Sylhet, Vol.7 No.4, pp. 12-22 (2017)

27. Paredes, F.; Guevara, E.; Barbosa, H.; Uzcátegui, C. et al.: Tendencia de la precipitación estacional e influencia de El Niño-Oscilación Austral sobre la ocurrencia de extremos pluviométricos en la cuenca del lago de Valencia, Venezuela, Tecnología y Ciencias del Agua, vol. 6, No. 6, pp. 33-48 (2015)

28. INAMHI.: Boletín Agrometereológico Mensual, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito, (2017)

29. Santillán, K. y Zamora, B.: Análisis Climático y de Dambio Climático en el Distrito Metropolitano de Quito, Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito, (2021)

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

Advanced Optimization and Numerical Simulation of a Pump as a Turbine System

http://doi.org/10.53358/ideas.v6i2.1009

Ignacio Benavides[1], Paúl Hernández[1], Víctor Hidalgo[2], Carlos Mafla[1], Jorge Melo[1]
1: Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
2: Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
ibbenavides@utn.edu.ec, ephernandez@utn.edu.ec, victor.hidalgo@epn.edu.ec, cnmafla@utn.edu.ec, jlmelo@utn.edu.ec

Fecha de envío, febrero 7/2024 - Fecha de aceptación, marzo 9/2024 - Fecha de publicación, julio 15/2024

Abstract: This work aims to enhance the parametric analysis and numerical simulation of a centrifugal pump used in turbine applications. The primary objective is to optimize the pump's performance when used as a turbine, focusing on various design parameters. Key characteristics of the pump, such as power rating, head, and flow rate, are thoroughly examined. The specific type of turbine application and the critical design parameters considered for optimization are also highlighted. Advanced numerical simulations, including Computational Fluid Dynamics (CFD) and Multiphysics simulations, have been employed to provide a comprehensive view of the efficiency and operational characteristics of the pump-turbine system. The study adopts improved methodologies for a more extensive parametric analysis, thus enhancing the parametric analysis and numerical simulation of the pump in turbine applications. This provides valuable insights into the system's efficiency and operational characteristics. By incorporating advanced methodologies, the study enables a deeper understanding and potential performance improvements in turbomachinery.

Keywords: Simulation, efficiency, pump, turbine.

Resumen: Este trabajo tiene como objetivo mejorar el análisis paramétrico y la simulación numérica de una bomba centrífuga utilizada en aplicaciones de turbinas. El objetivo principal es optimizar el rendimiento de la bomba cuando se utiliza como turbina, centrándose en varios parámetros de diseño. Las características clave de la bomba, como la potencia nominal, la cabeza y el caudal, se examinan minuciosamente y se destacan el tipo específico de aplicación de la turbina y los parámetros de diseño críticos considerados para la optimización. Se han empleado simulaciones numéricas avanzadas, incluidas las simulaciones de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) y las simulaciones multifísicas, para proporcionar una visión integral de la eficiencia y las características operativas del sistema bomba-turbina. El estudio adopta metodologías mejoradas para un análisis paramétrico más extenso, de este modo mejora el análisis paramétrico y la simulación numérica de la bomba en aplicaciones de turbina, lo que aporta información valiosa sobre la eficiencia y las características operativas del sistema. Al incorporar metodologías avanzadas, el estudio permite una comprensión más profunda y mejoras potenciales en el rendimiento de la turbomaquinaria.

Palabras clave: Simulación, eficiencia, bomba, turbina.

Autor de correspondencia:
Ignacio Benavides, ibbenavides@utn.edu.ec

CC BY NC ND

Introduction

In 2022, a staggering 20 million people still lacked access to electricity, as reported by the "International Electrification Agency" [1]. Addressing this disparity aligns with the central goal of the "United Nations 2030 Agenda," which emphasizes universal access to electricity through the adoption of clean and cost-effective technologies [2]. The increasing use of renewable sources, particularly hydropower, has gained importance due to its economic viability, minimal environmental footprint, and increased efficiency.

While large-scale hydro plants pose potential hydrological challenges and environmental impacts, micro and pico-hydro plants emerge as promising solutions for decentralized community electrification with negligible environmental consequences [3] [4] [5]. The conventional design process of micro and peak hydropower plants involves reducing the size of turbines and electromechanical components, which inevitably raises project costs. Pump-as-turbine (PAT) systems present an alternative in such scenarios, taking advantage of the abundance of affordable centrifugal pumps, high component reliability, and reduced maintenance costs [6] [7]. The main obstacle in the implementation of PAT is the absence of characteristic curves and the optimal point of efficiency when operating in turbine mode.

Numerous authors have proposed theoretical and experimental models for the prediction of PAT performance. Williams [8], in a comparative study of eight prediction models, identified Sharma's model [9] as the most accurate. Fontanella et al. [7] developed a highly reliable prediction model based on experimental results from 32 pumps operating as turbines under various conditions. Singh et al. [10] presented an optimized PAT routine, derived from the research of Derakshan and Nourbakhsh [11], achieving a maximum error of 2.6% at low specific speeds, but finding higher errors above 10% for higher specific speeds.

Computational fluid dynamics (CFD), an instrumental computer-based approach to the analysis of thermal physics, has proven invaluable in turbomachinery research and design [12]. Several authors [13],[14] have successfully simulated axial, mixed, and radial pumps that function as turbines, aligning well with experimental findings. Ferracotta et al. [15] concluded in their research that CFD simulations of PAT under specific operating conditions exhibit high accuracy in replicating fluid behavior, proving to be a cost-effective alternative to experimentation. However, each simulation requires validation through mathematical models or experimental data to ensure that the chosen parameters (turbulence models, boundary, and initial conditions, etc.) faithfully reproduce the behavior of the device.

This work aims to pioneer a novel methodology to characterize a commercial pump when operating as a turbine. Leveraging reverse engineering techniques, parameterization tools, and CFD simulations, the studio employs open-source tools such as FreeCAD and OpenFOAM. The aim is to develop a comprehensive understanding of pump performance under turbine conditions, contributing to the wider field of sustainable energy solutions.

Materials and methods

Pump and operating conditions

For the present study, a commercial centrifugal pump "SAER NCB-65/200N-A" has been purchased, in which the main operating conditions of the pump and the characteristics provided by the manufacturer are detailed in Table 1.

Table 1. Pump operating conditions given by the manufacturer

Pump Data Sheet			
Model	BCN -65/200N-A		
Dimensions	80/65/200		
Speed [rpm]	1800		
Flow	Nominal (Qd)	**[l/min]**	1050
	Maximum (Qmax)	**[l/min]**	1870
	Minimum (Qmin)	**[l/min]**	583
Preponderance	Nominal	**[m]**	21.8
	Maximum	**[m]**	23.9
	Minimal	**[m]**	14.1
Preponderance H(Q=0)		**[m]**	24.5
NPSH 3%		**[m]**	4.71
Maximum Working Pressure		**[bar]**	2.49
Power transmitted to the shaft		**[HP]**	6.37
Efficiency		**%**	80.8
Maximum power consumed		**[HP]**	7.4421

Initial conditions

Barbarelli et al. [16] introduced an approach to determine the initial operating parameters of a pump repurposed as a turbine. This method is based on empirical correlations derived from pump operating specifications, in particular the specific speed of turbomachinery in pump mode. Calculated as the flow, the specific velocity (η_{sp}) is determined by equation (1).

$$\eta_{sp} = \eta_P \cdot \frac{\sqrt{Q_P}}{H_P^{3/4}} \quad (1)$$

This specific velocity value is then used in equations (2) and (3) to determine the rotational speed of the impeller and establish the specific velocity of the pump operating as a turbine:

$$\eta_{sp} = 0.9867 \cdot \eta_{st} + 5.2818 \quad (2)$$

$$\eta_{st} = \eta_t \cdot \frac{\sqrt{Q_T}}{H_T^{3/4}} \quad (3)$$

The flow rate (Q_T) and head (H_T) of the pump operating as a turbine are determined through the c_H and c_Q conversion factors, calculated by equations (4) and (5).

$$c_H = -0.00003\eta_{sp}^3 + 0.00440\eta_{sp}^2 - 0.20882\eta_{sp} + 4.64293 \quad (4)$$

$$c_Q = 0.00029\eta_{sp}^2 - 0.02771\eta_{sp} + 2.01648 \quad (5)$$

The H_T and Q_T expressions are obtained by multiplying the conversion factors by the original values of the pump as shown in equations (6) and (7).

$$H_T = c_H \cdot H_P \quad (6)$$

$$Q_T = c_Q \cdot Q_P \quad (7)$$

Table 2 presents the calculated initial operating conditions for the SAER NCB-65/200N-A centrifugal pump. These values are derived from the equations, which provides a basis for understanding the pump's performance when operating as a turbine.

Table 2. PAT Operating Conditions

Variable	Value	Units
H_T	38.368	$[m]$
Q_T	$[m^3/s]$	$[m^3/s]$
η_{st}	18.19	$[rpm]$
c_H	1.76	----------
c_Q	1.52	----------
η_T	1 819	$[rpm]$

Where:

- η_{st} = Specific rotation speed of the pump operating as a turbine
- c_H = Turbine mode head conversion factor.
- c_Q = A flow conversion factor that works like a turbine.
- η_T = Rotation speed of the pump in turbine mode.
- H_T = Pump head that functions as a turbine.

Q_T = Pump operating flow rate in turbine mode.

Geometry extraction

To facilitate an accurate numerical simulation of the pump running like a turbine, advanced reverse engineering techniques, specifically 3D scanning, have been employed for geometry extraction. Considering the intricate nature of the pump design (Fig. 1), the silicone molds of the inner scroll and blades were meticulously crafted. The application of silicon to the surfaces is carried out uniformly to prevent the formation of air cavities, ensuring an accurate reproduction of the intricate geometry.

The HANDYSCAN3D-370 3D scanner was instrumental in capturing a point cloud of the molds, and the acquired data underwent meticulous post-processing to mitigate the noise and reflection points inherent in the 3D scanning process. This meticulous approach to geometry extraction lays the foundation for a reliable and detailed numerical simulation of the pump's operation as a turbine.

Computer-aided design (CAD)

After post-processing of the geometry extraction, the surfaces presented a suboptimal surface quality, attributed to the characteristics of the mold and the 3D scanning technique. To rectify this, the open-source parametric 3D modeler FreeCAD was employed to create a high-quality, cohesive pump model. The volute-casing dimensions provided by the manufacturer were integrated with those obtained from the scanned data, resulting in a realistic and accurate representation of the pump.

Blade characteristics, including discharge angle (β_2), inlet angle (β_1), height (b), and blade thickness (t), extracted from the scanned model, were critical to generating a complete 3D model of the impeller, as illustrated in Fig. 1. This meticulous CAD process ensures a reliable representation of the pump's complexities, laying the foundation for a robust numerical simulation of the turbine's operation.

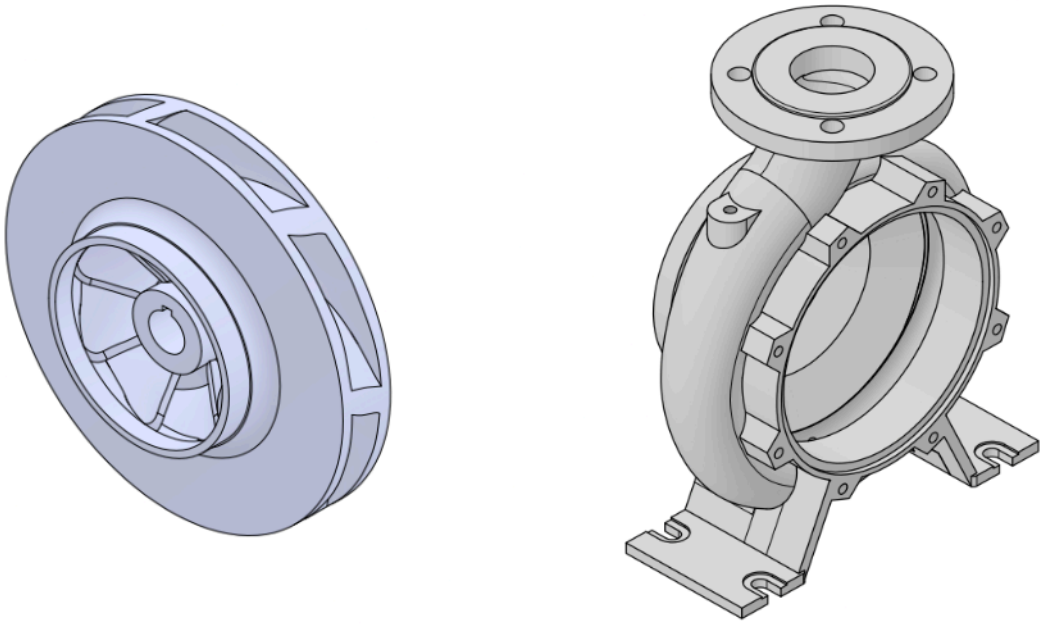


Fig. 1 Pump impeller obtained by reverse engineering technology.

Numerical simulation

The numerical simulations were carried out using OpenFOAM 7, a robust, open-source, open-source computational fluid dynamics (CFD) software available for free. The simulation process has been systematically divided into three stages: pre-processing, solver execution, and post-processing.

In the context of numerical simulations, it is crucial to thoroughly discuss the validation of the model utilized. This validation process serves to confirm the accuracy and reliability of the simulation results. Validation can be achieved through various means, including comparison with experimental data from previous studies, conducting new experiments specifically for validation purposes, or comparing results with similar simulations conducted by other researchers. By ensuring that the numerical model accurately represents the physical phenomenon under investigation, researchers can have confidence in the credibility of the simulation results and their applicability to real-world scenarios.

The computational domains for both volute and impeller were derived from the 3D CAD model, encompassing only the volume occupied by the working fluid during pump-as-turbine (PAT) operation. Given the complexities of the domain, the OpenFOAM cfMesh library was used to generate an unstructured hybrid mesh, incorporating hexahedral and tetrahedral elements. Figure 2 illustrates the application of mesh refinements near the blades and walls, which improves the accuracy of the solution. A meticulous mesh independence study was carried out to determine the optimal number of mesh elements, optimizing the computational resources required for the simulation process. This careful approach ensures the reliability and efficiency of the numerical simulation of the pump operating like a turbine.

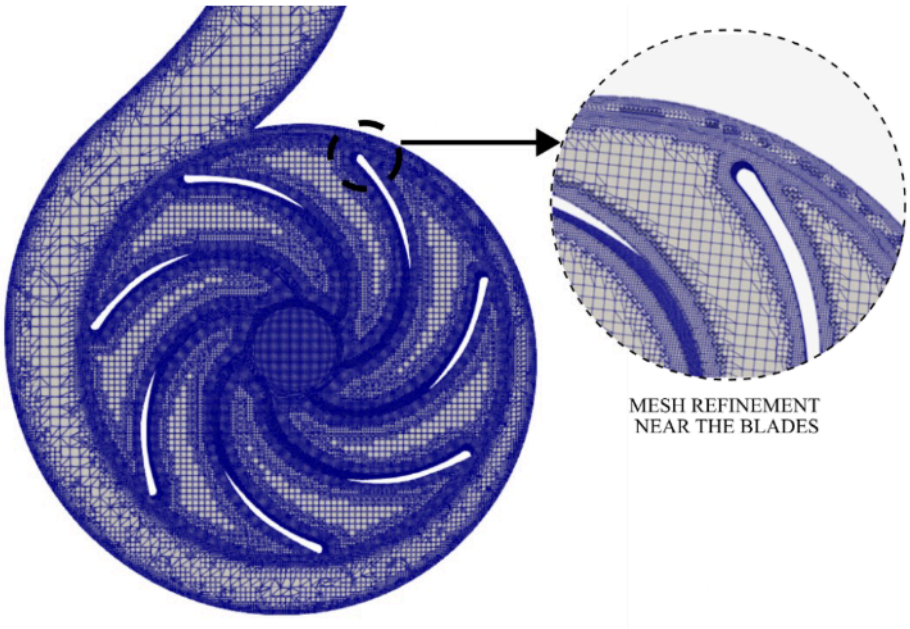


Fig. 2 Refining of the pump impeller blade wall made of cfMesh.

The process of refining the blade wall was carried out using cfMesh, improving the quality of the mesh near the impeller blades to improve the accuracy of the solution.

Computational Proficiency

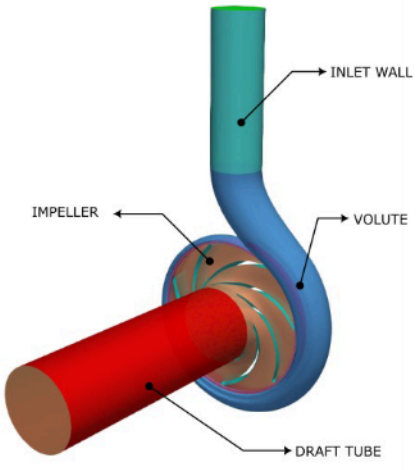


Fig. 3 Computational domain

The computational domain (Figure 3), established for the SAER NCB-65/200N-A centrifugal pump comprised four distinct components: the volute, the impeller, the draft tube and the inlet. To ensure a fully developed flow at the inlet and improve the accuracy of the simulation, the inlet tube was enlarged, following the recommendations of [17], [18], [19].

To faithfully replicate the phenomena, it is crucial to select the right turbulence solvers and models. For this study, the steady-state solver for incompressible flow, "simpleFoam", and the k-ω SST turbulence model were chosen. These selections were made due to their proven high accuracy in capturing flow dynamics near the impeller blades. In addition, a multiple frame of reference (MRF) approach was employed to simulate the rotational motion of the impeller within the volute. This was combined with AMI's cyclic boundary conditions, making it easier to exchange data between the two interconnected domains.

Processing

To determine the suitability of the SAER NCB-65/200N-A centrifugal pump for turbine operation, it is essential to determine its efficiency in turbine mode. For most turbomachinery, efficiency can be calculated as the ratio of the power generated to the power available. In the case of rotating turbomachinery such as PATs, the power generated can be calculated by multiplying the simulated torque by the rotational speed [19]:

$$\eta = \frac{T_T \cdot \eta_T}{\rho \cdot g \cdot H_T \cdot Q_T} \quad (8)$$

Where:

T_T = Simulated pair.

η = Efficiency of the pump working as a turbine.

ρ = Fluid density.

g = Acceleration by gravity.

H_T = Operational Head of the PAT.

Q_T = Operation flow of the PAT.

This efficiency calculation is critical to evaluating the pump's performance as a turbine and its energy conversion potential.

A comprehensive study of mesh independence was carried out, using five different mesh configurations, as summarized in the Table 3. In particular, the "very fine" mesh, comprising 4,969,665 elements, yielded a simulated torque of 41.73 [Nm], showing a minimum error of 0.5% compared to the theoretical torque. The convergence behavior of this mesh, as shown in Figure 5, shows residual values that fall below 10E-04 after 1500 iterations, ensuring accurate replication of the phenomenon (Figure 4). In addition, the maximum y+ value observed in this CFD analysis stands at 275, aligning well within the recommended range for the k-ω SST turbulence model (Table 4).

Table 3. Mesh Independence Study

	Number of Items	Torque [Nm]	%error
Thick mesh	1.317.699	39,77	5%
Medium Mesh	2.020.451	39,24	6%
Fine mesh	3.164.361	39,52	6%
Very fine mesh	4.969.665	41,73	0,5%

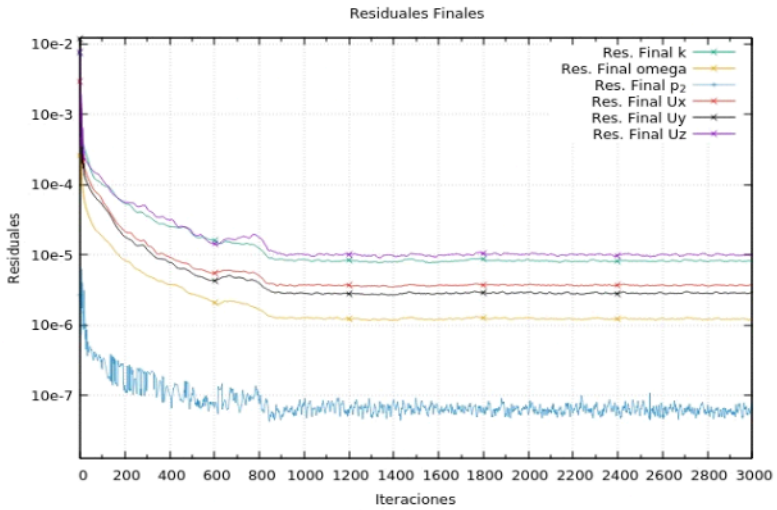


Fig. 4 Final residuals of the simulation

Table 4. Convergence mesh behavior

Zone	$\overline{y^+_{max}}$
Impeller	275
Volute	150
Entrance wall	150
Outlet wall	100

An efficiency of 79.53% was achieved for the centrifugal pump "SAER NCB-65/200N-A" operating as a turbine, under the operational parameters outlined in Table 2. In particular, the Best Efficiency Point (BEP) specified by the manufacturer for the pump mode stands at 80.08%. This result corroborates the findings of the study by Nautiyal et al. [20], which postulates that the efficiency of a pump operating as a turbine cannot exceed its efficiency in pump mode. It is essential to bear in mind that the efficiency of LAPs does not depend solely on operating conditions; Rather, impeller geometry also plays a critical role in determining performance [21].

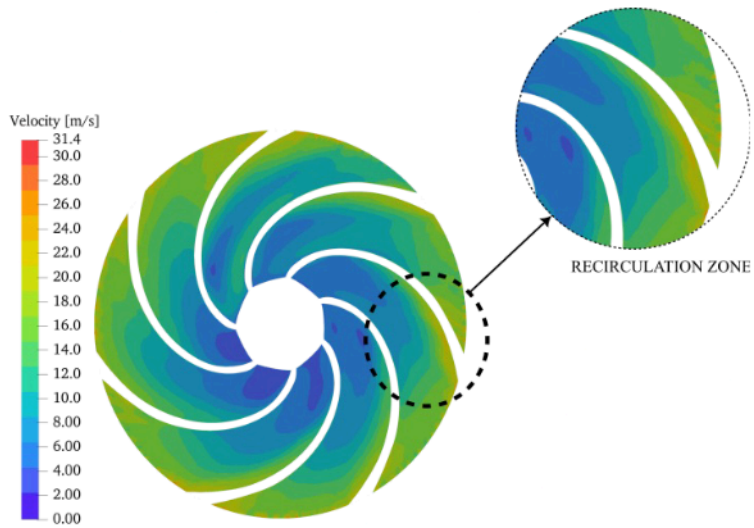


Fig. 5 Velocity contours on the impeller.

Figure 5 and 6 illustrates, respectively, the velocity and pressure contours in the impeller. These observations reveal a non-uniform distribution of velocity and eddy formation within the flow. This phenomenon is attributed to Coriolis acceleration in the impeller, which induces secondary flows and discrepancies in velocities across the blade surface. The maximum flow velocity is concentrated in the regions near the trailing edge, although less than the inlet velocity, due to the interaction between the flow and the impeller. This observation underscores the intricate fluid dynamics at play within the pump-turbine system, shedding light on the complex phenomena that influence its performance.

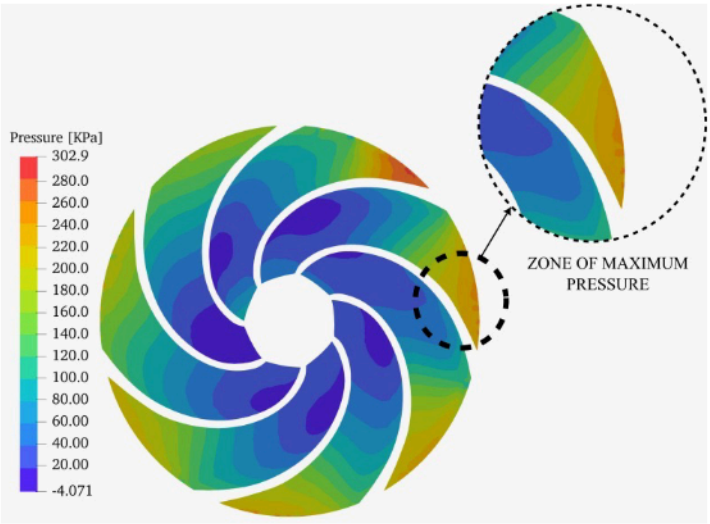


Fig. 6 Pressure contours

Results and Discussion

The discussion encompassed various aspects of the parametric analysis and numerical simulation of a centrifugal pump employed as a turbine. Notably, the utilization of reverse engineering techniques facilitated the accurate virtualization of the pump's geometry, essential for subsequent numerical simulations. This enabled a detailed examination of the pump's performance when operating as a turbine, considering specific design parameters such as impeller geometry and blade profile.

Advanced numerical simulations, conducted using OpenFOAM and incorporating Multiphysics analyses, provided valuable insights into the efficiency and operational characteristics of the pump-turbine system. Mesh independence studies revealed that a mesh comprising 4,969,665 elements offered a balance between computational efficiency and solution accuracy, exhibiting minimal error compared to theoretical results.

The simulations yielded an efficiency of 79.53% for the pump in turbine mode, indicating its suitability for turbine applications without necessitating geometric modifications. Additionally, the observation of non-uniform velocity distribution and pressure contours, along with the identification of high cavitation susceptibility zones, underscored the complexity of the fluid dynamics within the pump-turbine system.

Furthermore, discussions emphasized the importance of validating the numerical model, either through comparison with previous experiments or simulations, to ensure the reliability of the findings. This validation process enhances the credibility of the simulation results and their applicability to real-world scenarios.

Overall, the results obtained from the parametric analysis and numerical simulations provide valuable insights into the performance and operational characteristics of the pump-turbine system. These findings lay the groundwork for further research aimed at optimizing pump-as-turbine efficiency and exploring potential geometric optimizations to enhance performance in turbine applications.

Based on the information obtained in the research process, the results from the parametric analysis and numerical simulations of the pump operating as a turbine offer valuable insights into its performance and operational characteristics. The achievement of an efficiency of 79.53% in turbine mode, albeit slightly lower than the BEP efficiency in pump mode, underscores the pump's viability for turbine applications without requiring geometric modifications. Furthermore, the observation of non-uniform velocity distribution and pressure contours, as well as the identification of high cavitation susceptibility zones, highlights the intricate fluid dynamics and challenges associated with optimizing the pump's performance. The validation of the numerical model, through comparison with previous experiments or simulations, enhances the credibility of the findings and underscores the reliability of the simulation approach. These results pave the way for further exploration, including the potential effects of blade trimming and other geometric optimizations on pump-as-turbine efficiency, offering promising avenues for future research and development in this field.

Conclusions

The use of reverse engineering techniques facilitated the precise virtualization of the geometry of the SAER NCB-65/200N-A centrifugal pump. Leveraging reverse engineering tools along with computational fluid dynamics significantly improved the accuracy of the simulation.

The CFD-simulated flow behavior of the SAER NCB-65/200N-A centrifugal pump operating as a turbine aligns closely with the findings of analogous pump-as-turbine (PAT) studies. The observed pressure distribution and velocity contours closely resemble the operating principles expected of such systems.

The mesh independence analysis, using five different Cartesian meshes, determined that a mesh composed of 4,969,665 elements sufficiently replicates the phenomenon, exhibiting a negligible error of 0.5% compared to the theoretical results.

The efficiency achieved through numerical simulation in turbine mode stands at 79.53%, slightly lower than the efficiency at the Best Efficiency Point (BEP) when operated as a pump. This suggests that the SAER NCB-65/200N-A centrifugal pump can effectively operate as a turbine without the need for geometric alterations.

Further research is warranted to explore the effects of blade trimming and other geometric impeller optimizations on PAT efficiency. These studies hold promise for improving the performance and applicability of pump-turbine systems in various engineering applications.

References

1. Cozzi, L.; "IEA," 03 November 2022. [Online]. Available: https://www.iea.org/commentaries/for-the-first-time-in-decades-the-number-of-people-without-access-to-electricity-is-set-to-increase-in-2022.

2. "Universal Access to Electrification." https://unite.un.org/sites/unite.un.org/files/app-desa-electrification/index.html (accessed March 08, 2023).

3. Frey, G. W. and Linke, D. M. "Hydropower as a Renewable and Sustainable Energy Resource Responding to Global Energy Challenges in a Reasonable Manner", 2002.

4. Moran, E. F.; Lopez, M. C.; Moore, N.; Müller, N. and Hyndman, D. W. "Sustainable hydropower in the 21st century", Proc Natl Acad Sci U S A, vol. 115, no. 47, pp. 11891–11898, noviembre de 2018, doi: 10.1073/pnas.1809426115.

5. "Global Scale Environmental Effects of Hydrological Alterations: Introduction", 2000.

6. Carravetta, A.; Derakhshan, S.; Helena, H. and Ramos, M. "Springer Tracts in Mechanical Engineering Pumps as Turbines Fundamentals and Applications." [Online]. Available: http://www.springer.com/series/11693

7. Fontanella, S.; Fecarotta, O.; Molino, B.; Cozzolino, L. and Della Morte, R. "A Performance Prediction Model for Pumps as Turbines (PAT)", Water (Switzerland), Vol. 12, No. 4, April 2020, doi: 10.3390/W12041175.

8. Williams, A. A. "The Turbine Performance of Centrifugal Pumps: A Comparison of Prediction Methods," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, vol. 208, no. 1. pp. 59-66, 1994. doi: 10.1243/PIME_PROC_1994_208_009_02.

9. Sharma and K. R., "Small Hydropower Projects - Using Centrifugal Pumps as Turbines," Kirloskur Electric Co, 1985.

10. Singh, P. and Nestmann, F. "An Optimization Routine in a Prediction and Selection Model for Centrifugal Pump Turbine Operation," Exp Therm Fluid Sci, 2010.

11. Derakhshan, S. and Nourbakhsh, A. "Experimental Study of Characteristic Curves of Centrifugal Pumps Operating as Turbines at Different Specific Speeds," ElsevierJournal of Experimental Thermal and Fluid Science, 2008.

12. Plua, F.; Hidalgo, V.; Cando, E.; Pérez-Sánchez, M. and Amparo López-Jiménez, P. "Pumps as Turbines (PATs) by Analysis with CFD Models", vol. 12, núm. 3, 2022.

13. Rawal, S.; and Kshirsagar, J.T. "Numerical simulation in a pump operating in turbine mode," in Proceedings of the twenty-third international symposium of pump users, 2007.

14. Nautiyal, H.; Kumar, A. and Yadav, S. "Experimental Research of the Centrifugal Pump Operating as a Turbine for Small Hydropower Systems," ENERGY SCIENCE AND TECHNOLOGY, vol. 1, no. 1, pp. 79-86, 2011, [online]. Available: www.cscanada.net

15. Carravetta, A.; Fecarotta, O. and Ramos, H. "Numerical Simulation in Pump as Turbine: Mesh Reliability and Performance Issues", 2011.

16. Barbarelli, S.; Amelio, M.; Florio G. and Scornaienchi, N. M. "Selection Procedure for Pumps Operating as Turbines in Micro Hydropower Plants," in Energy Procedia, September 2017, vol. 126, pp. 549-556. doi: 10.1016/j.egypro.2017.08.282.

17. Tian, P.; Huang, J.; Shi, W. and Zhou, L. "Optimization of a Centrifugal Pump Used as a Turbine Impeller Using an Orthogonal Test Approach," Fluid Dynamics and Materials Processing, vol. 15, no. 2, pp. 139-151, 2019, doi: 10.32604/fdmp.2019.05216.

18. Jain, S. V. and Patel, R. N. "Investigations into Turbine Mode Pump Operation: A State-of-the-Art Review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 30. Elsevier Ltd, pp. 841-868, 2014. doi: 10.1016/j.rser.2013.11.030.

19. Yang, H.; Zhu, L.; Xue, H.; Duan, J. and Deng, F. "A Numerical Analysis of the Effect of Impeller Rounding on the Centrifugal Pump as a Turbine," Processes, Vol. 9, No. 9, September 2021, doi: 10.3390/pr9091673.

20. Nautiyal, H.; Varun, G. and Kumar, A. "Analytical, Experimental, and Computational Study of Reverse Operation Pumps: A Review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14, no. 7, pp. 2059-2067, 2010, doi: 10.1016/j.rser.2010.04.006.

21. Plua, F.; Hidalgo, V.; E. Cando, M. Pérez-Sánchez and Amparo López-Jiménez, P. "Pumps as Turbines (PATs) by Analysis with CFD Models", vol. 12, núm. 3, 2022.

22. Zhang, J.; Appiah, D.; Zhang, F.; Yuan, S.; Gu, Y. and Asomani, S. N. "Experimental and Numerical Investigations on Pressure Pulsation in a Pump-Mode Operation of a Pump-Like Turbine," Energy Sci Eng, vol. 7, no. 4, pp. 1264-1279, 2019, doi: 10.1002/ese3.344.

VOL. 6 Nº2 - 2024

IBARRA - ECUADOR | Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

Educación Inmersiva en la Transferencia e Innovación de Resultados de Investigación Científica

http://doi.org/10.53358/ideas.v6i2.995

Ismenia Araujo, Nuria J. Galárraga, Cristina N. Cadena-Palacios, Rocío Duque, Andrés F. Benítez, Wendy A. Franco

Dpto. de Investigación, Instituto Superior Tecnológico ITCA,
C/ El Oro y 13 de Abril, s/n. 100150 Ibarra, Ecuador

idaraujo@itca.edu.ec, njgalarraga@itca.edu.ec, cncadena@itca.edu.ec, raduque@itca.edu.ec, afbenitez@itca.edu.ec, wafranco@itca.edu.ec

Fecha de envío, enero 6/2024 - Fecha de aceptación, febrero 14/2024 - Fecha de publicación, julio 15/2024

Resumen: Resumen. En este trabajo, se aplica la realidad aumentada para ofrecer experiencias de aprendizaje envolventes y participativas a través de entornos virtuales o elementos que complementan el mundo real con un contenido digital. Ha sido una investigación tipo documental, exploratoria, descriptiva y, en la etapa piloto, con un enfoque cualitativo. Se recopiló información técnica sobre los diversos temas digitalizados y accesibles a través de la aplicación ITCA Academy, donde el usuario recibe la información predeterminada a través de dispositivos electrónicos. Los participantes mostraron satisfacción ante lo observado y afirmaron que procesaron mejor la información recibida mediante la educación inmersiva. El entendimiento de los participantes fue superior comparado con la enseñanza tradicional minimizando los inconvenientes del proceso de enseñanza-aprendizaje a través del uso de la aplicación. La implementación práctica de la educación inmersiva, con sus recursos interactivos, cubrieron las fallas de la educación tradicional originando resultados novedosos en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Palabras Clave: Realidad Aumentada; Educación Inmersiva; Transferencia Tecnológica; Innovación.

Abstract: In this work, augmented reality is applied to offer immersive and participatory learning experiences through virtual environments or elements that complement the real world with digital content. This research has been documentary, exploratory, descriptive, and, in the pilot stage, with a qualitative approach. Technical information was collected on the various digitized topics accessible through the ITCA Academy application, where the user receives the predetermined information via electronic devices. Participants showed satisfaction with what they observed and stated that they processed the information better through immersive education. The participants' understanding was superior compared to traditional teaching, minimizing the inconveniences of the teaching-learning process through the use of the application. The practical implementation of immersive education, with its interactive resources, covered the shortcomings of traditional education, resulting in novel outcomes in the teaching-learning process.

Keywords: Augmented Reality; Immersive Education; Technology Transfer; Innovation.

Autor de correspondencia:
Samantha Puente Bosquez, samantha.puente4299@utc.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción

La educación técnica y tecnológica se encuentra en constante cambio en su afán por alcanzar la actualización para garantizar la adaptación a los retos y condiciones que constantemente se presentan. La investigación científica es la fuerza del conocimiento y éste dirige el progreso de la sociedad. Los científicos tratan de llevar a cabo investigaciones que cada día sean de mayor calidad y los resultados generados brindan, cada vez, más garantías a las mejoras de la vida humana y al desarrollo de nuevas tecnologías; sin embargo, la transferencia efectiva de estos resultados a la sociedad y su aplicación en contextos prácticos todavía representan un desafío [1].

La investigación científica impulsa el avance del conocimiento, contribuye a la resolución de problemas complejos en diversos campos, fomenta la innovación y el desarrollo tecnológico, y facilita la toma de decisiones informadas, desempeña un papel crucial en la mejora de la promoción del desarrollo sostenible, el crecimiento económico e incluso la calidad en la educación [2]. Es esencial la contribución de la investigación en la educación superior ya que contribuye a formar a la próxima generación de científicos y profesionales y es un pilar fundamental para el progreso y la mejora de la sociedad en su conjunto [3].

Los escenarios donde actualmente se realiza Investigación Científica en Ecuador son las Instituciones de Educación Superior (IES) [4]. Esta actividad ha sido asumida por las IES como parte fundamental de su accionar debido a que la primera finalidad de la educación es el aporte al desarrollo del pensamiento universal, al despliegue de la producción científica, de las artes y de la cultura y a la promoción de las transferencias e innovaciones tecnológicas. [5]. Además de que la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) convoca a las IES a trabajar para el aporte al despliegue de la producción científica, y a la promoción de las transferencias e innovaciones tecnológicas y el impulso de la generación de programas, proyectos y mecanismos para fortalecer la innovación, producción y transferencia científica y tecnológica en todos los ámbitos del conocimiento [6].

Según el Consejo de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CACES), el principio de calidad en Educación Superior establece que la búsqueda continua y auto reflexiva del mejoramiento, aseguramiento y construcción colectiva de la cultura de la calidad educativa deben estar basadas en el equilibrio de la docencia, la investigación e innovación y la vinculación con la sociedad; donde la investigación y el desarrollo experimental (I+D) comprenden el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos; incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones [5].

La normativa legal vigente en Ecuador, referente a los proyectos de investigación realizados por las IES y sus resultados, describe que los mismos deben aparecen en uno o más documentos de salida que pueden ser informes institucionales oficiales, publicaciones técnicas y científicas, trabajos presentados en eventos científicos o técnicos o tesis académicas y además se debe promover a partir de los mismo, los procesos de transferencia, innovación y absorción. [5], [7].

La transferencia, innovación y absorción de los resultados de investigación son imprescindibles debido a que permiten la aplicación práctica de los conocimientos científicos, que, a su vez, generan impactos económicos positivos, impulsan el avance tecnológico, mejoran la calidad de vida, abordan problemas globales, y fomentan la colaboración y el aprovechamiento eficaz de los recursos de investigación. Es por esto que la conexión entre la academia y la sociedad promueve el desarrollo económico, resuelve problemas complejos y asegura que los beneficios de la investigación lleguen a quienes más los necesitan, contribuyendo así al progreso y al bienestar general. [4], [5].

La transferencia e innovación de resultados de investigación se concibe como el proceso de comunicación y adaptación de los nuevos conocimientos derivados de investigaciones científicas para abordar los desafíos y necesidades específicas de la sociedad. Este proceso se materializa mediante la transmisión efectiva de dichos resultados, lograda a través de la capacitación y formación de los usuarios para la implementación y utilización práctica y pertinente del nuevo conocimiento (absorción) en las respectivas realidades. Esta sinergia entre la generación de conocimiento y su posterior difusión y adaptación desempeña un papel esencial en la resolución de problemas en diversos ámbitos de la sociedad. [8].

Actualmente, se aplican, a nivel global, tecnologías innovadoras como mediadoras en los diversos procesos de capacitación y educación [9] siendo éstas altamente eficaces al momento de transmitir conocimientos ya que combina información virtual con el entorno físico, lo que facilita la comprensión y la asimilación de conceptos complejos [10]. Al integrar resultados de investigación en aplicaciones virtuales se crea un entorno educativo interactivo en el que los usuarios pueden explorar y experimentar de manera práctica los conocimientos científicos. Esto no solo mejora la retención de información, sino que también abre nuevas posibilidades para adaptar y personalizar la capacitación de acuerdo con las necesidades y las realidades específicas de los destinatarios, brindando así un enfoque más dinámico y efectivo para la transferencia de conocimientos científicos.

La educación inmersiva, como una modalidad de enseñanza que utiliza como mediador a la tecnología, se caracteriza por el uso de la realidad virtual (RV), realidad aumentada (RA) y vídeos en 360 grados. Estas tecnologías que eran destinadas originalmente al entretenimiento, actualmente son ampliamente utilizadas en la educación y la formación [11] ya que permiten ofrecer experiencias de aprendizaje envolventes y participativas a través de entornos virtuales o elementos que complementan el mundo real con contenido digital interactivo [12] que integran las nuevas tecnologías a los conceptos, ideas, teorías, procesos, lenguajes e instrumentos [13].

La educación inmersiva captura la atención de los usuarios de manera efectiva y mantiene a los usuarios mucho más interesados y motivados en el contenido presentado, lo que a menudo resulta en una participación más activa, mayor retención de la información, aprendizaje profundo, significativo y experiencial a través de la personalización en el aprendizaje, interactividad y colaboración, visualización de conceptos abstractos, acceso a recursos globales, preparación para el mundo real, inclusión y accesibilidad [13], [14].

La RA combina simulaciones de computadora, con detección de imágenes y acciones, para proporcionar al usuario una experiencia interactiva en tiempo real superponiendo información digital como gráficos, imágenes o datos en elementos del entorno físico real [14]. La utilización de esta tecnología intensifica la respuesta sensorial de uno o más sentidos del usuario de manera que se genera la sensación de estar inmerso en una realidad diferente y se basa en proporcionar estímulos artificiales en tiempo real [15]. De esta manera, se enriquece el poder semántico de contenidos y la experiencia del usuario en términos de impacto estético, el compromiso y la retención de información funcional. [13], [14].

La utilización de este tipo de tecnologías ofrece una serie de ventajas que pueden transformar la manera en que se aprende, asimilan nuevos conocimientos y utilizan los mismos en la satisfacción de las necesidades del entorno. La RA facilita, favorece y motiva el aprendizaje, además permite el desarrollo de una serie de competencias digitales relacionadas con la gestión de la información, capacidad para elaborar textos académicos, argumentación verbal, análisis y síntesis de la información digital, promoviendo el trabajo colaborativo en la modalidad virtual, el aprendizaje autónomo y la comunicación [16].

La interactividad adicional y la representación visual ofrecida por la RA puede ser más eficaz en la enseñanza de temas con un fuerte componente espacial, convirtiendo esta opción en una alternativa tecnológica conveniente al visualizar conceptos difíciles de relacionar con experiencias del mundo real, permitiendo el correcto entendimiento de conceptos abstractos [17] como lo son en muchas ocasiones los resultados obtenidos mediante la investigación científica. La RA es ampliamente utilizada debido a la facilidad en su uso y el bajo costo de implementación con respecto al de otras tecnologías y amplio alcance dada la masificación de dispositivos móviles [17].

A pesar de que los beneficios de la educación inmersiva en procesos educativos y de transferencia de conocimientos son ampliamente conocidas [18], para diseminar el aprendizaje inmersivo es necesario la inversión de tiempo, dinero, recursos y voluntad de colaboración entre los actores educativos y el Estado [12] ya que el desarrollo y diseño de esta práctica requiere estudio, recursos en la adquisición de softwares, licencias y numerosas horas de trabajo [19].

En Ecuador, Aguirre-Herráez et al. (2020) [20] han reportado que 57.1% de los instructores y docentes encuestados evitan el uso de la RA por desconocimiento, el 32.1% por ausencia de equipos tecnológicos para aplicarlos en la práctica, el 10.7% indica que no utilizan esta herramienta debido a que el acceso a internet es limitado en sus instituciones. Por lo que es imprescindible impulsar la continua adecuación y preparación de los docentes en el uso de las nuevas tecnologías buscando un mejor desarrollo tecnológico se encuentran en constante evolución.

De aquí la importancia de contribuir en la calidad de la educación, la accesibilidad a la información y la divulgación amplia de contenidos que, de otra manera, serían inaccesibles para los usuarios. El campo de la educación inmersiva puede transformarse en una prometedora herramienta para disminuir la brecha existente entre la investigación científica y su aplicación práctica, al facilitar la comprensión y aplicación de resultados de investigación científica de manera más efectiva que la realizada a través de métodos tradicionales de enseñanza.

La aplicación adecuada de RA en los procesos de transferencia e innovación dependen de la correcta integración de tecnología con los aspectos pedagógicos que deben ser considerados en el diseño de las aplicaciones a través de la cual se pretenda ofrecer la interacción de aprendizaje [17]; debiendo ser creadas teniendo en cuenta los intereses y las capacidades de los potenciales usuarios y los objetivos pedagógicos específicos que se desean conseguir. Esto implica tener en cuenta las teorías del aprendizaje, los métodos pedagógicos y los contenidos disciplinares al crear entornos virtuales que integren, cuidadosamente, las dimensiones pedagógicas; solamente de esta manera, las aplicaciones pueden mejorar la adquisición de conocimientos, la retención de información, la resolución de problemas y el desarrollo de habilidades prácticas entre sus usuarios [11].

El objetivo de esta investigación ha sido diseñar un grupo de programas de educación inmersiva teniendo en cuenta la integración de la dimensión pedagógica y el contenido de la aplicación de RA para la optimización de los procesos de transferencia e innovación de resultados de investigación científica.

Metodología y materiales

La presente investigación se enmarca en una investigación documental, a través del proceso sistematizado de recolección, selección, evaluación y análisis de la información obtenida mediante medios electrónicos en diferentes repositorios y buscadores. Ha sido una investigación de tipo exploratoria, ya que este estudio ha servido para lograr la familiarización de la RA y su aplicación en la transferencia innovación y absorción de los productos, bienes y servicios generados por la investigación. También ha sido una investigación descriptiva, que ayudó a explicar la construcción de estrategias educativas con RA, en el proceso de enseñanza con un enfoque cualitativo, en la etapa piloto del estudio donde se determinó la retroalimentación de los beneficiarios y usuarios de los productos obtenidos, no hubo manipulación de variable. El enfoque cualitativo se adoptó con el fin de comprender en profundidad las características, experiencias y percepciones de los participantes implicados en la aplicación de tecnologías inmersivas, específicamente la realidad aumentada. Se realizaron evaluaciones a 253 personas participantes sin la utilización de herramientas de muestreo.

Aplicación ITCA Academy

El desarrollo de la aplicación de RA para la transferencia tecnológica de los proyectos de investigación, denominada ITCA Academy, incluyó las siguientes etapas: conceptualización y diseño, creación de contenido y modelado, desarrollo del software, calibración y pruebas beta, optimización, lanzamiento y distribución.

La etapa de conceptualización y diseño incluyó el desarrollo de un personaje principal, que posteriormente se modeliza en 3D, y que está encargado de instrumentar el proceso de educación inmersiva para la innovación y transferencia tecnológica de los principales resultados de 9 proyectos de investigación. El personaje se definió a través de entrevistas con estudiantes del ITCA. El objetivo fue identificar un perfil estudiantil dentro de la institución que trabaje junto con los docentes y el departamento de investigación, aprendiendo a investigar a través de la realización de actividades interesantes e innovadoras relacionadas con el ejercicio de su carrera en el futuro. El perfil final identificado fue una estudiante mujer que se encuentra realizando sus prácticas preprofesionales y forma parte de los semilleros de investigación científica denominada CATI, cuyo nombre es una combinación de las siglas institucionales. CATI, refleja a la estudiante promedio de la institución, cuyo lenguaje y proximidad con la sociedad, permite llevar el mensaje a diversos grupos beneficiarios de las transferencias de manera más cálida, efectiva y cercana.

La etapa de creación de contenidos se realizó con base en los resultados de nueve proyectos de investigación. Los resultados fueron adaptados a los intereses, capacidades y potencialidades del público objetivo de las transferencias con la finalidad de que los contenidos puedan ser asimilados de una manera más interactiva y creativa para contribuir a mejorar las condiciones de educación, salud y bienestar de la sociedad en la zona 1 del Ecuador. En esta etapa de diseño de contenidos se consideró las teorías del aprendizaje, los métodos pedagógicos y los contenidos disciplinares que se deseaban transmitir. [11].

En la etapa de modelización, la animación, el audio y la renderización en 3D de CATI, se realizó utilizando el software de código abierto Blender que tiene una calidad superior en las animaciones comparada con otros softwares más populares como SD Studio Max [21].

En la etapa de desarrollo de la aplicación se utilizó el software Unity3D que permite crear juegos y experiencias en 2D y 3D siendo el software más utilizado en el desarrollo de aplicaciones de RA [22], [23]. La aplicación utiliza la técnica de imágenes marcadoras (target images) para RA predefinidas que permiten visualizar el contenido de las capacitaciones a través de dispositivos (cámaras y teléfonos inteligentes) activando el sistema que genera imágenes en 3D sobre los materiales impresos donde se encuentra esa imagen marcadora [24].

Para la calibración y pruebas beta de la aplicación, se utilizó en primer lugar una APK (Android Application Package) instalada en tabletas institucionales con los módulos cargados con anterioridad para probar la funcionalidad offline de la aplicación debido a que una de las principales razones para el limitado uso de la tecnología es el acceso a internet [20].

En la etapa de calibración, a través de un usuario de administrador, se realizó la generación de seriales aleatorios con la finalidad de realizar el testeo de la aplicación a un grupo seleccionado de potenciales beneficiarios. La etapa de optimización está finalizada debido a que la aplicación se encuentra disponible en su tercera versión, tanto en Google Play como en Apple Store permitiendo la creación directa de usuarios sin la necesidad de generar códigos seriales.

Resultados y discusión

En este estudio, se utilizó la estructura modular con RA, la cual facilitó la transferencia, innovación y absorción de los productos de la investigación, mejorando los procesos y la satisfacción de las necesidades de la comunidad, que fueron incorporados dentro de la aplicación ITCA Academy. El desarrollo de contenidos incluyó la determinación del objetivo de la transferencia, público objetivo, escenario y vestuario de CATI, el tipo de materiales impresos, textos, audios y acciones de CATI para cada módulo.

La Tabla 1 muestra los proyectos de innovación y transferencia tecnológica implementados a través de Educación Inmersiva, considerando la contribución de los resultados que prioricen la mejora de las condiciones de educación, salud y bienestar de la sociedad en la zona 1 del Ecuador.

Tabla 1. Proyectos implementados a través de Educación Inmersiva.

No	Módulo	Objetivo	Público Objetivo
1	Principales medios para el desarrollo psicomotriz y cognitivo de niños de Educación Inicial	Difundir las actividades de estimulación psicomotriz y cognitiva para el mejoramiento de la calidad de la educación de niños de educación inicial.	Docentes de Centros de Desarrollo Infantil y Padres de Familia
2	Medidas preventivas de la enfermedad del dengue	Divulgar el conocimiento sobre las características y medidas preventivas de la enfermedad del Dengue que contribuyan al bienestar y cuidado de la salud de la población de San Lorenzo.	Barrios en San Lorenzo con alta prevalencia de la enfermedad del Dengue

No	Módulo	Objetivo	Público Objetivo
3	Factores de Riesgo relacionados con la aparición del Síndrome del Túnel del Carpo	Transmitir los factores de riesgo relacionados con la aparición del Síndrome del Túnel Carpiano para la prevención en la población administrativa y docente	Personal administrativo y docente de instituciones públicas y privadas
4	Turismo de interés cultural	Promover las actividades turísticas de interés cultural en el cantón Antonio Ante.	Padres de familia y niños asistentes al programa de tareas dirigidas del municipio de Ibarra Público en general
5	Fortalecimiento de Neurofunciones en niños de 5 años	Divulgar el conocimiento acerca de la estimulación de inteligencias múltiples e influenciar positivamente el desarrollo de las funciones básicas o neurofunciones de manera que se contribuya al desarrollo Integral del Niño de 5 años previo el proceso de aprendizaje lectoescritor y de cálculo.	Docentes y personal directivo de Centros de Desarrollo Infantil
6	Mejoramiento de los procesos productivos en el cultivo de la *Gypsophila paniculata*	Promover los procesos productivos en el cultivo de *Gypsophila Paniculata* para el mejoramiento los estándares de producción y de la productividad del Talento Humano.	Empresas florícolas y agricultores
7	Estrategias metodológicas por ámbitos de aprendizaje en educación inicial	Divulgar estrategias metodológicas que estimulen el desarrollo de competencias integrales en los niños de educación inicial que favorezcan la práctica pedagógica de los docentes y el desarrollo infantil integral.	Docentes y administradores de Centros de Desarrollo Infantil
8	Inteligencia emocional en estudiantes de las carreras de Docencia Infantil	Difundir una propuesta de inserción de contenidos de inteligencia emocional con el fin de formar a maestros emocionalmente preparados y dotados de herramientas para el abordaje de la labor docente.	Directores de carrera de desarrollo Infantil Integral, Asistencia pedagógica y estudiantes de las mencionadas carreras.
9	Influencia de la Educación Virtual sobre las Neurofunciones	Divulgar los resultados obtenidos de la comparación de la madurez de las neurofunciones dominancia lateral, memoria secuencial auditiva y coordinación viso-auditivo-motora, en niños de 5 años que acuden a escolarización formal presencial y virtual.	Docentes y personal directivo de Centros de Desarrollo Infantil

La Tabla 1, muestra que los objetivos de cada módulo han sido adaptados a los principales beneficiarios de las trasferencias, dentro de las cuales se destacan padres, docentes y personal directivo de Centros de Desarrollo Infantil, comunidades de zonas rurales, microempresarios y empresarios relacionados con el sector agrícola y estudiantes del ITCA.

La Figura 1, presenta los diferentes diseños realizados de CATI para las distintas carreras asociados a los proyectos de transferencia e innovación tecnológica.

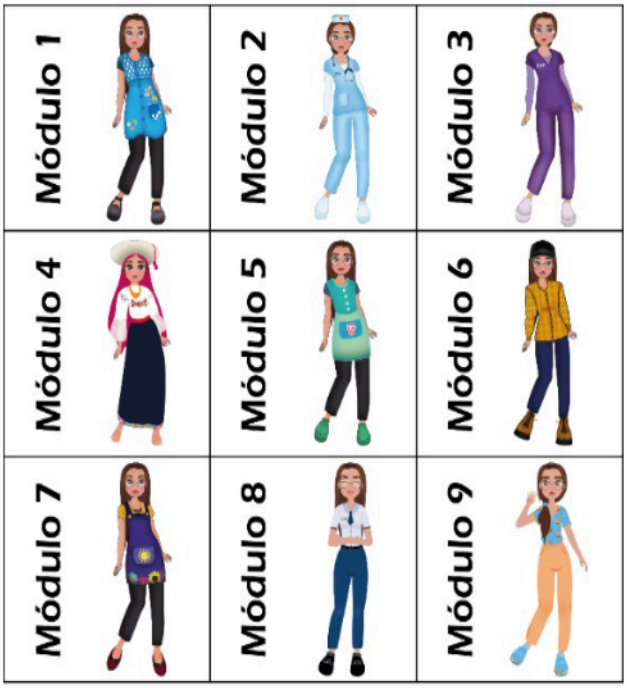


Fig. 1. Diseños representativos de CATI asociados a los proyectos de transferencia.

El personaje representativo de CATI en los módulos 1, 5, 7, 8 y 9 corresponden a estudiantes de la Escuela de Educación; en los módulos 2 y 3 a estudiantes de la Escuela de Salud y Bienestar, y en los módulos 4 y 6 a estudiantes de la Escuela de Educación Comercial, Producción, Servicios y Seguridad.

La Tabla 2 incluye el diseño de contenidos realizado para la primera imagen marcadora del proyecto de investigación sobre los Factores de Riesgo relacionados con la aparición del Síndrome del Túnel Carpiano.

Tabla 2. Formato base del Módulo sobre Factores de Riesgo relacionados con la aparición del Síndrome del Túnel Carpiano

Texto	Descripción CATI
Contribuyendo a mejorar las condiciones de educación salud y bienestar de la sociedad en la zona 1 del Ecuador FACTORES DE RIESGO RELACIONADOS CON LA APARICIÓN DEL SÍNDROME DEL TÚNEL CARPIANO ¡Este volante tiene realidad aumentada! Se descarga la aplicación y se escanea a Cati para tener una experiencia inmersiva para conocer como minimizar los factores de riesgo del Síndrome del Túnel Carpiano. CA TI 1	Audio CATI 1: Hola, soy Cati, estudio en el ITCA. Actualmente, realizo mis prácticas preprofesionales y formo parte de los semilleros de investigación científica. Te invito a conocer los factores de riesgo característicos del Síndrome del Túnel Carpiano y cómo minimizarlos en tu lugar de trabajo. El Síndrome del Túnel Carpiano es la inflamación del nervio mediano de la mano que cuando se comprime puede producir entumecimiento, hormigueo, dolor y debilidad. Sigue explorando nuestra guía para conocer más sobre esta afección y cómo evitarla. Animación CATI 1: Al inicio, saluda mientras dice hola. Cati adapta la postura de presentadora donde sus manos se mueven y vuelven a la cintura. Cati abre una mano y con el dedo índice de la otra señala la mitad de la mano abierta. Al finalizar abre los brazos en señal de bienvenida.

La primera columna contiene el texto que debería ser incluido en el material publicitario y la ubicación de la imagen de CATI en azul. En la segunda columna se encuentra la descripción del audio y acciones correspondientes a las animaciones en 3D incluidos en la aplicación.

La Figura 2 ilustra el material elaborado del módulo de capacitación sobre los Factores de Riesgo relacionados con la aparición del Síndrome del Túnel del Carpo a través de la utilización de la técnica de imágenes marcadoras.



Fig. 2. Folleto sobre los Factores de Riesgo Relacionados con la aparición del Síndrome del Túnel del Carpo.

La Figura 2 muestra en la parte superior del material que se incluye en el texto de la primera columna de la Tabla 2. El audio y animación de CATI se activa al focalizar la imagen marcadora con un dispositivo digital dentro de la aplicación ITCA Academy.

La estructura de la aplicación para los nueve módulos presenta un ícono identificativo relacionado con el tema de la capacitación como se observa en la Figura 3.

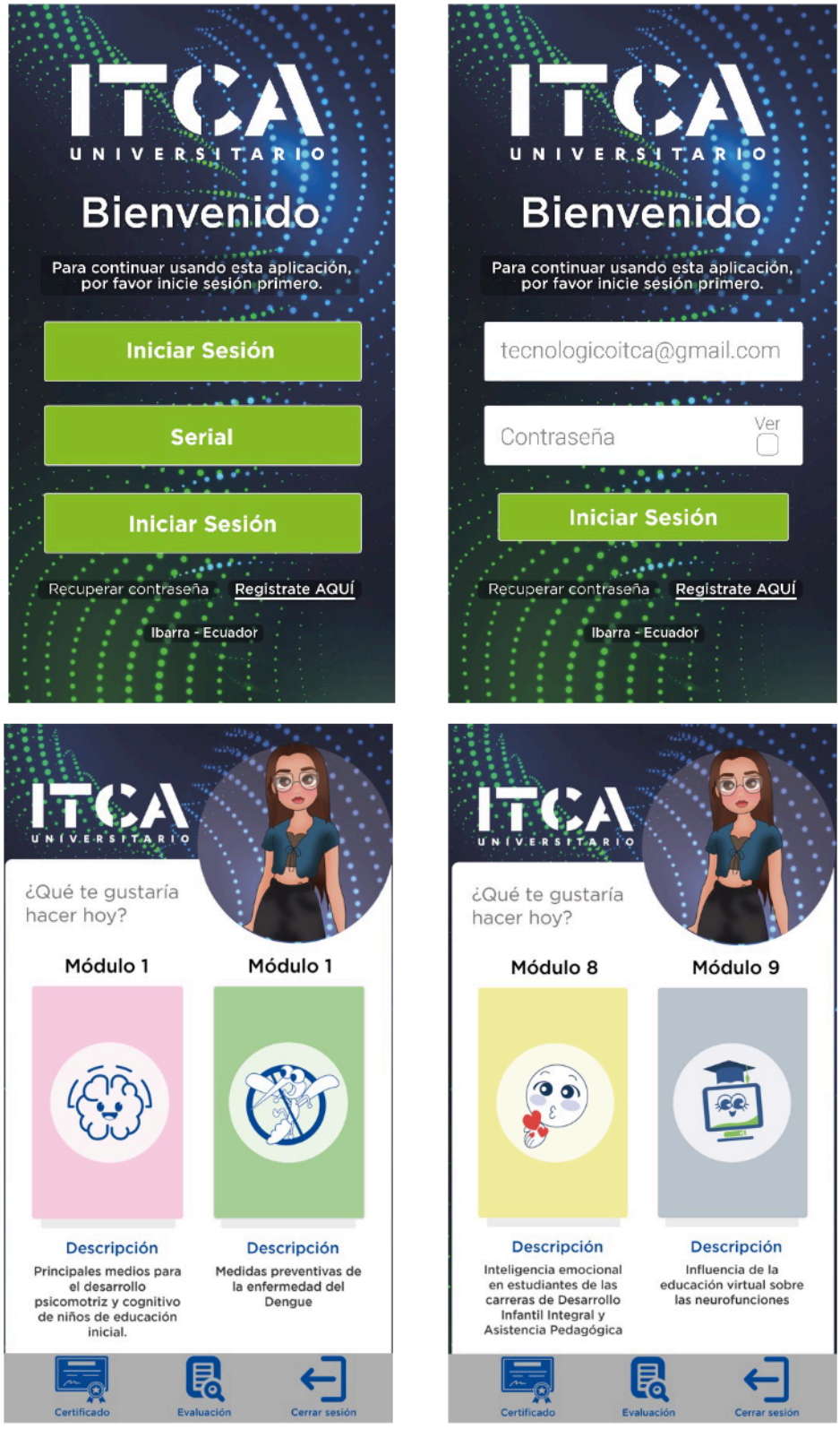


Fig. 3. Imágenes de la pantalla de inicio y formato modular de la aplicación.

Como se observa en la Figura 3, entre las principales características de la aplicación, se encuentra la forma modular, el funcionamiento online–offline, el proceso de evaluación y certificación automática. El funcionamiento offline (sin conexión a internet) está condicionado a una primera descarga con conexión a internet, posterior a eso, la aplicación puede funcionar en cualquier lugar sin acceso a internet reduciendo las brechas de uso de la aplicación para la transferencia tecnológica.

En la actualidad, se ha realizado el lanzamiento y distribución de cuatro módulos cuyos resultados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de los beneficiarios de los módulos en etapa de lanzamiento y distribución

No.	Módulo	Beneficiarios	Mujeres	Hombres	Deserción	Nota Promedio
1	Principales medios para el desarrollo psicomotriz y cognitivo de niños de Educación Inicial	15	8	7	13.30%	8.00
2	Medidas preventivas de la enfermedad del dengue	80	59	21	2.50%	9.54
3	Factores de Riesgo relacionados con la aparición del Síndrome del Túnel del Carpo	116	80	36	0.90%	9.43
9	Influencia de la Educación Virtual sobre las Neurofunciones	27	19	8	7.40%	9.11
Total		252	166	72	3.20%	9.34

Durante la etapa de lanzamiento y distribución se han capacitado a un total de 252 personas, de las cuales 166 son mujeres y 72 son hombres. La nota promedio de las evaluaciones es de 9.34 puntos, superior a la nota mínima, para la certificación del curso que es de ocho sobre diez puntos, resultando en una tasa de deserción promedio de la capacitación a través de educación inmersiva del 3.2% que no termina la evaluación ni obtiene el certificado. La RA, tiene el potencial de cambiar la educación al ofrecer a los estudiantes formas motivadoras para aprender, mejorar la comprensión, fomentar actitudes más positivas y aumentar la satisfacción de los estudiantes ofrece a los estudiantes la oportunidad para decidir cuándo, dónde, qué y cómo estudiar y aprender. Esto se convierte en una herramienta valiosa para implementar el modelo de aprendizaje que aumenta la motivación hacia el aprendizaje, impulsa la creatividad y mejora la comprensión de conceptos abstracto. [25].

Resultados y discusión

La implementación de recursos tecnológicos como la RA es importante, ya que esta herramienta mejora significativamente el proceso de enseñanza-aprendizaje. Su uso fortalece este proceso y revitaliza las estrategias pedagógicas de los docentes tanto dentro del aula de aprendizaje como en los procesos de transferencia, innovación y absorción.

El uso de la aplicación ITCA Academy con RA por parte de personas con poca o nula experiencia en el área técnica mostró la rapidez del proceso de aprendizaje a través de un teléfono inteligente. La aplicación de RA, por medio de un teléfono inteligente, presenta una potencialidad para procesos de capacitación y transferencia tecnológica hacia personas que no tienen estudios especializados ni técnicos pues permite a los usuarios obtener información actualizada y de fácil acceso.

La educación inmersiva es una tecnología que mostró su efectividad en la transferencia, innovación y promoción de absorción de los resultados de la investigación científica. La utilización de esta tecnología en los procesos mencionados tiene un impacto significativo en la manera en que la sociedad aprovecha y aplica los resultados de investigación en el abordaje de los desafíos existentes en el mundo contemporáneo.

Esta investigación representa un gran aporte ya que ofrece alternativas que contribuyen al desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje. Los resultados aportan una experiencia de beneficiario basada en una interfaz que se integra a la propia narrativa de la aplicación. En esta investigación, cada unidad que conforma la aplicación aporta información al usuario.

La realidad virtual y aumentada no ha sido creada recientemente, y se han venido optimizando con el avance de las tecnologías. Son muchos los objetos, aparatos y equipos de diferentes funciones que han sido creados para industrias como la automotriz, naviera, espacial, entre otras. Además de estas aplicaciones, estas tecnologías ya sean virtual o aumentada son utilizadas en la educación, donde su aplicación ha mejorado la recepción de procesos formativos en los usuarios fortaleciendo el proceso en las metodologías de enseñanza y aprendizaje, como ha ocurrido en el campo de la medicina, en la exploración de cuerpo humano. El desarrollo y diseño de estas técnicas requiere estudio y recursos para la adquisición de softwares y licencias, acompañados de muchas horas de trabajo; sin embargo, es muy grande la utilidad que estas nuevas tecnologías aportan para el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Esta investigación es una importante contribución a la academia ya que brinda estrategias que contribuirán fuertemente al conocimiento de nuevas técnicas y tecnologías sobre la aplicación de la realidad aumentada que contribuyen a la inclusión de una electiva de educación inmersiva, la inclusión de la RA que garantiza el incremento del nivel de conocimiento, logro de investigación que traerán grandes beneficios donde las aplicaciones de la RA brindan una mejor preparación a docentes y estudiantes para afrontar los desafíos del entorno, brindando un horizonte prometedor, mejorando, profundamente, el proceso educativo y estimulando un mejor aprendizaje.

Los resultados mostraron que el uso de la aplicación de RA por parte de personas con poca o nula experiencia en áreas específicas de aprendizaje, aprenden casi de manera intuitiva la utilización de los equipos. En la actualidad, la tecnología fortalece el proceso enseñanza-aprendizaje en los institutos de educación superior, ya que, después de delimitar los instrumentos y módulos desarrollados para satisfacer las necesidades del territorio, la información proporcionada en la aplicación RA se puede transferir de manera interactiva, eficaz y rápida.

Referencias

1. Bardales, J.: La investigación científica: su importancia en la formación de investigadores. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Vol. 5, No. 3, pp. 2385-2386. (2021)

2. Tigre, J.; Rizzo R.: La investigación y su importancia en el ámbito de educación superior. Prohominum, Vol. 5, No. 1, pp. 189-199. (2023)

3. Estupiñán, J.; Leyva, M.; Marcial, C.; Figueroa, S.: Importancia de la preparación de los académicos en la implementación de la investigación científica. Conrado, Vol. 17, No. 82, pp. 337-343. (2021)

4. Otero-Potosi, S.: Análisis de los procesos de Acreditación de Institutos Técnicos y Tecnológicos en el Ecuador. Revista Latinoamericana Ogmios, Vol. 3, No. 8, pp. 1-10. (2023)

5. Consejo de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior.: Modelo de Evaluación Externa 2024 con fines de acreditación para los Institutos Superiores, Técnicos y Tecnológicos. Quito, Pichincha, Ecuador (2021)

6. Asamblea Nacional del Ecuador. Ecuador.: Ley Orgánica de Educación Superior, LOES. 2018.: https://www.ces.gob.ec/documentos/Normativa/LOES.pdf. (2018). Accedido el 18 de noviembre de 2023

7. Cabrera, C.; González Fernández-Larrea, M.: Gestión de la vinculación Universidad-Sociedad para la formación de los profesionales en el Instituto Superior Tecnológico "Ismael Pérez Pazmiño de Ecuador". Referencia Pedagógica, Vol. 11, No. 1, pp. 28-42. (2023)

8. Gutiérrez, J.; Schnabel, S.; Lavado, J.; Castro. J.: La transferencia de los resultados de la investigación para el desarrollo territorial sostenible. Dykinson. pp.1-756. (2022)

9. Durston, J.; Miranda, F.: Experiencias y metodología de la investigación participativa. Cepal. (2002)

10. Mendoza, R.; Falcón, A.; Meza, M.; Estrella, G.; La Chira, M.; Castro, G,: La educación virtual como ciencia: tendencias en herramientas informáticas. Editorial Mar Caribe, pp 93- 123 (2023)

11. Mendoza, G.; Lewis, F.; Plante, P.; Brassard, C.: Estado del arte sobre el uso de la realidad virtual, la realidad augmentada y el video 360 en educación superior. EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa, Vol. 84, pp. 35-51. (2023)

12. Prince, A.: El aprendizaje inmersivo como alternativa educativa en contextos de emergencia. Podium, Vol. 42, pp. 19-38. (2022)

13. Álvarez, E.; Bellezza, A.; Caggiano, V.: Realidad aumentada: Innovación en educación. Didáctica y Educación, Vol.7, No. 1, pp. 195-212. (2016)

14. Zambrano, R.; Romero, M.; Dávila, K.; Balarezo, C.: E. B.: Realidad virtual y aumentada en la educación superior: experiencias inmersivas para el aprendizaje profundo. Religación. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades, Vol. 8, No. 37. (2023)

15. Altomari, A.: Realidad virtual y realidad aumentada en la educación, una instantánea nacional e internacional. Economía creativa, Vol. 7, pp. 34-65. (2017)

16. Astudillo, M.: Aplicación de la Realidad Aumentada en las prácticas educativas universitarias. Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa RELATEC. Vol. 18, No. 2. (2029)

17. Acevedo, F.; Cruz, J.; Aguilar, C.; Bautista, D.: Diseño e implementación de un simulador basado en realidad aumentada móvil para la enseñanza de la física en la educación superior. Edutec Revista Electrónica De Tecnología Educativa, Vol. 80. (2022)

18. Rodríguez, N.; Pardo, Y.: Determinación de las oportunidades en el modelado y mejoramiento de procesos a partir del uso de la realidad virtual, enfocado a la enseñanza de asignaturas con componente práctico en la formación profesional. Bucaramga: Unidades Tecnológicas de Santander. (2023)

19. Pimentel, M.; Mendoza, B.; Aguirre, K.; Cárdenas, M.: Realidad virtual, realidad aumentada y realidad extendida en la educación. RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento, Vol. 7, No. 2, pp. 74-88. (2023)

20. Aguirre-Herráez, R.; Guevara-Vizcaíno, C.; Erazo-Álvarez, J.; García-Herrera, C.: Realidad aumentada y educación en el Ecuador. Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía. Vol, 5. Pp. 415. (2020)

21. Hendriyani, Y.; Amrizal, V.: The Comparison Between 3D Studio Max and Blender Based on Software Qualities. Journal of Physics: Conference Series 1387: 012030. (2019)

22. Saran. R; Shrikesh. S.; Vamsidharan. V; Sangeetha. V.: Virtual Reality Based Moon And Space Station. In 3rd International Conference on Signal Processing and Communication (ICPSC), pp. 481–484. (2021)

23. Vásquez-Carbonell, M.: A Systematic Literature Review of Augmented Reality in Engineering Education: Hardware, Software, Student Motivation and Development Recommendations. Digital Education Review, Vol. 41, pp. 249-267. (2022)

24. Muhammad, K.; Khan, N.; Lee, M.; Imran, A.; Sajjad, M.: School of the future: A comprehensive study on the effectiveness of augmented reality as a tool for primary school children's education. Applied Sciences, Vol. 11, pp 1-22. (2021)

25. Garriazo, J.; Aguirre, A.; Huacanca, J.: Application of the 3D augmented reality didactic model in collaborative learning. Systematic review. Horizontes Revista de Investigación en Ciencias de la Educación, Vol. 6, No. 22, pp. 276-290. (2022)

VOL. 6 Nº2 - 2024

IBARRA - ECUADOR | Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

Impacto Económico del Árbol de Navidad más Grande del Ecuador en los Emprendimientos - Cuenca 2022

http://doi.org/10.53358/ideas.v6i2.997

Catalina Astudillo Astudillo, Juan Parra Silva, Ma. Elena Villafuerte Pucha
Instituto Superior Tecnológico Universitario San Isidro
astudillocatalina@sanisidro.edu.ec, parrajuan@sanisidro.edu.ec, elenavillafuerte@sanisidro.edu.ec

Fecha de envío, enero 9/2024 - Fecha de aceptación, junio 10/2024 - Fecha de publicación, julio 15/2024

Resumen: Los atractivos turísticos de temporada se convirtieron en una fuente de trabajo y desarrollo económico, por ello, se crean espacios de entretenimiento en la época navideña. El objetivo del estudio es analizar el impacto económico del Árbol de Navidad más Grande del Ecuador en los emprendimientos ubicados en el parque Miraflores de la ciudad de Cuenca 2022. La metodología fue cuantitativa y cualitativa con alcance descriptivo y fenomenológico, con diseño de investigación no experimental de corte transversal, para recopilar información se empleó un cuestionario aplicado a una población de 43 emprendedores y una muestra aleatoria simple de 28 involucrados. Los resultados revelan que, el promedio de ingreso diario de los emprendedores está comprendido en menos de $300, mientras que, mensualmente tienen el mismo ingreso, pero devengan valores de pago de servicios básicos e impuestos. En conclusión, las actividades generadas en los atractivos temporales potencian el turismo interno y los emprendedores se benefician porque se fortalecen sus ingresos económicos en el evento del árbol de navidad más grande del Ecuador.

Palabras Clave: Atractivos turísticos, Fortalecimiento económico, Emprendimiento, Turismo interno

Abstract: Seasonal tourist attractions became a source of work and economic development, which is why entertainment spaces are created during the Christmas season. The objective of the study is to analyze the economic impact of the Largest Christmas Tree in Ecuador on the enterprises located in the Miraflores park in the city of Cuenca 2022. The methodology was quantitative and qualitative with descriptive and phenomenological scope, with a non-experimental research design. cross-sectional, to collect information a questionnaire was used applied to a population of 43 entrepreneurs and a simple random sample of 28 involved. The results reveal that the average daily income of the entrepreneurs is less than $300, while they have the same monthly income, but they earn payment amounts for basic services and taxes. In conclusion, the activities generated in the temporary attractions enhance domestic tourism and entrepreneurs benefit because their economic income is strengthened in the event of the largest Christmas tree in Ecuador.

Keywords: Tourist attractions, Economic strengthening, Entrepreneurship, Domestic tourism

Autor de correspondencia:
María Villafuerte Pucha, elenavillafuerte@sanisidro.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción

Cuenca, denominada la Atenas del Ecuador; es una ciudad llena de cultura y tradiciones, dentro de la cual se deslumbra por su esplendor en el mes de diciembre de cada año con las luces que alegran los hogares de las familias que elaboran la tradicional recreación del nacimiento del niño Jesús en Belén y con ello colocan el árbol de navidad como símbolo de fe y entusiasmo religioso; sin embargo en concordancia con lo que pasa al interno de las casas cuencanas; las calles, ríos y plazas de la ciudad se encienden, gracias al trabajo de la Fundación Iluminar, una empresa forjada en el 2002 con la participación de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, HIDROPAUTE S. A., ETAPA y la Municipalidad de Cuenca [7], con el objetivo el embellecer a la ciudad en épocas navideñas, y otras festividades locales para promover el turismo y con ello impactar en la economía de los habitantes de la ciudad [6].

En este contexto, la Fundación Iluminar en el año 2022 implementó el Árbol de Navidad más grande del Ecuador con una estructura de 41 metros, seis más que el año anterior [9], en el parque Miraflores, un lugar que regularmente acoge a familias y sobre todo deportistas que cuenta con un recorrido de aproximadamente 1,2 km. Debido a su accesibilidad y amplitud se propuso implementar elementos iluminados alusivos a la navidad, de manera en que la población pueda visitar, fotografiarse y compartir momentos en familia, además, se planificó que exista un espacio abierto para emprendimientos y de esta forma complementar la propuesta turística, con la oferta de productos y servicios que influirá en la socioeconomía de las/los emprendedoras/es y los comercios circundantes al parque.

Por consiguiente, este proyecto pretende establecer el impacto socioeconómico que se genera con la implementación del Árbol de Navidad más grande del Ecuador en los emprendimientos que presentaron sus productos en la feria convocada para tal evento; y para ello, se aplicaron entrevistas sobre su actividad previa al programa, así mismo, se indaga sobre sus ventas y condiciones durante la exposición y un cuestionario de las actividades que realizaran después de su participación junto al árbol de navidad. Todo esto con el fin de identificar los cambios, las amenazas y oportunidades que pudiera tener el grupo de estudio en concordancia con los fines con los que fue implementado este espacio de iluminación decorativa. Por lo tanto, se procura contar con la información necesaria para la toma de decisiones sobre futuras actividades y potenciar la incidencia económica a través de las actividades de ornamentación que realiza la Fundación Iluminar en la ciudad de Cuenca.

A pesar que el desarrollo de actividades turísticas son un referente de progreso económico, la realidad se tornó débil en el transcurso de la crisis sanitaria del COVID-19, generando pérdidas significativas a nivel laboral y por ende afectó al sector económico, por tal razón, las actividades de turismo tuvieron una pérdida significativa. En este contexto, la actividad con mayores pérdidas por causa de la pandemia fue el comercio, seguido de servicios y manufactura entre otros sectores de influencia económica [13]. En el caso Ecuador la crisis sanitaria significó un declive significativo en la economía del sector turístico porque la afección fue directa a los empresarios, emprendedores y todos los sectores de servicios y entretenimiento masivo, por ende, una vez que la pandemia se detuvo todos los sectores tuvieron que iniciar desde cero las actividades económicas, que en algunos casos la probabilidad de éxito fue nula [12].

Partiendo de lo anteriormente mencionado, este estudio se enfocó en analizar la influencia que generan los eventos de temporalidad en relación al turismo interno y su incidencia en la reactivación económica a través de la generación de espacios con actividades productivas que benefician a la sociedad en general, con el propósito de crear desarrollo productivo a nivel económico y a la vez actividades turísticas de acuerdo a fechas especiales, es decir se busca combinar actividades económicas con actividades de entretenimiento con un fin en común, enfocado en beneficiar a propios y extraños con el propósito de reactivar la economía.

Por tal motivo, desde el contexto teórico es necesario entender que este tipo de actividades que se menciona en el estudio, están referidas a atractivos turísticos temporales que ayudan a promover el turismo interno, por ello, al hablar de atractivos turísticos se hace referencia a lugares, eventos o elementos de interés que fomenta interés en los turistas y a la vez generan actividad económica y requieren infraestructura adecuada para el acceso, la intención es dar al turista una experiencia de calidad [11].

Es importante entender que, la motivación que tienen los turistas al visitar un destino y los atractivos que este ofrece, también forman parte del proceso de transformación. A medida que se ofrecen más puntos de atracción, más personas acudirán a ellos, por tal razón, las características para realizar actividades turísticas surgen de la mercantilización previa del territorio, convirtiéndolo en un producto consumible que puede ser fácilmente monetizado y promovido a través de medios digitales u otros medios de activación económica [1].

Entonces se entiende que las actividades que generan entretenimiento se consideran como actividades beneficiosas para el desarrollo productivo y económico de los sectores que ofertan las mismas, por ello, se considera al turismo como uno de los sectores más importantes en términos de generación de ingresos, al punto de convertirse en un sector estratégico que ocupa el cuarto lugar en importancia económica; porque el turismo satisface las necesidades de las generaciones actuales, pero no compromete la capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones venideras [15]. Por tal razón, es preciso el desarrollo de estrategias que fomenten opciones de atractivos en épocas consideradas importantes en el transcurso del año.

Es crucial considerar que las estrategias que ayuden a generar interés por promover los atractivos de acuerdo a la temporalidad de una ciudad es importante, porque ayuda a generar interés en el público externo por visitar dichos espacios; pero la estrategia de mayor consideración para este desarrollo de atractivos temporales deben estar planificados con la participación de los stakeholders porque en la actualidad se convirtió en una necesidad su intervención en la generación de políticas públicas y gestiones en el ámbito turístico, porque son los interesados que buscan potenciar las propuestas para fomentar el desarrollo económico y social [14].

Al vincular a los stakeholders en el desarrollo de la planificación estratégica de propuesta de turismo interno resulta fundamental porque permite acoger las necesidades y posibles soluciones, atendiendo variables de diversa naturaleza como la percepción y la participación ciudadana. La intención es promover actividades que generen espacios de dinamización económica para la ciudadanía [14].

Los eventos de temporalidad son considerados como turismo de eventos porque es una modalidad turística que promueve los atractivos con la intención de fomentar el flujo turístico de la celebración de un evento específico, para ello se requiere conocimiento de la realidad económica, social, cultural y ambiental de acuerdo a las oportunidades del sector productivo [18].

En el contexto ecuatoriano el turismo interno ha tenido influencia significativa en el fortalecimiento y potencialización económica después de que el mundo y el país vivan un escenario de pandemia que generó déficit económico en todos los sectores productivos. Es importante señalar que los primeros intentos de reactivación turística no fueron alentadores, pero mientras se mejoraban las estrategias para la reactivación económica se alcanzó a fomentar el turismo interno y con ello atractivos que ayudaron en la creación de empleo y actividad económica en general [13]. La necesidad de entender que las actividades que generan turismo benefician tanto en el aspecto económico como sociocultural porque genera rubros de divisas significativas, que incluso se considera que el turismo es un sector estratégico que representa la cuarta actividad de importancia económica [15].

Con base a, los antecedentes mencionados es necesario plantear el desarrollo de modelos de gestión y estrategias que permitan la generación de actividades turísticas con la intención de potencializar la actividad económica, pero es necesario la consideración de políticas públicas, planificación, recursos básicos y atractivos, recursos de apoyo, gestión de destinos y tecnologías [10]. La importancia de generar políticas públicas que promuevan las actividades turísticas radica en que el turismo tiene un impacto del 2% en el Producto Interno Bruto (PIB) es por tal motivo que, las actividades que se planteen en relación al turismo deben mantener estrategias que generen rentabilidad de la oferta turística [15].

Desde el contexto del estudio planteado se direccionan los siguientes objetivos:

Objetivo General

Analizar el impacto económico del Árbol de Navidad más Grande del Ecuador en los emprendimientos presentados en el parque Miraflores de la ciudad de Cuenca 2022.

Objetivos Específicos

1. Establecer indicadores económicos de las actividades de los/as emprendedores/as previa a la asistencia al evento del Árbol de navidad.

2. Identificar el nivel de ventas promedio que las/los emprendedoras/es consiguieron durante el tiempo de implantación del Árbol de Navidad en el parque Miraflores de la Ciudad de Cuenca.

3. Determinar el impacto que el evento del Árbol de Navidad más Grande del Ecuador ha generado entre las/los emprendedoras/es participantes de la feria circundante.

Metodología y materiales

La metodología empleada es de enfoque mixta es decir cuantitativo y cualitativo, de acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014) mencionan que el cuantitativo "utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías" [5] y desde el enfoque cualitativo se hace referencia al "uso de la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación" [5].

Además, el estudio presenta un alcance descriptivo porque este emplea "la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o procesos de los fenómenos, por ello el enfoque se realiza sobre conclusiones dominantes o sobre la conducción de una persona o un grupo" [16], mientras que en el caso cualitativo el alcance fue fenomenológico porque analiza "los valores, experiencias y significados de un grupo social" [5] en este caso de estudio se examinó los sucesos en el antes y durante de los emprendedores que realizan actividades económicas en la exhibición del árbol de navidad de la ciudad de Cuenca.

El tipo de investigación fue no experimental porque la "recolección de datos se realizó sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos" [5]. Se estableció un corte de tiempo longitudinal porque se recabó información en diferentes momentos con la intención de analizar los cambios antes, durante y después del evento denominado "Árbol de Navidad más grande de Cuenca".

En el levamiento de información se empleó como técnica la encuesta y como instrumento el cuestionario que contenía variables de tipo sociodemográficas, de análisis de la situación económica de los emprendedores y variables de evolución. Para el levantamiento de información se consideró una población de 43 emprendedores que se colocaron en el Parque Miraflores siendo este lugar en el cual se colocó el árbol de navidad; se determina una muestra de 28 involucrados para ello se empleó un muestreo de tipo aleatorio simple.

La información recopilada fue procesada en el programa de Excel, para ello se creó una base de datos que fue depurada y seguidamente analizada para obtener los resultados finales del estudio de acuerdo al propósito de la investigación desarrollada que se enfocó en analizar el turismo interno de la ciudad de Cuenca.

Resultados y discusión

La información levantada permitió analizar la situación de desarrollo económico de los emprendedores en relación a las actividades que se llevan a cabo con el atractivo denominado "el árbol de navidad más grande del Ecuador". La intención de promover este atractivo es para fomentar el turismo interno en la ciudad de Cuenca y potenciar la economía local.

Edad y género de los emprendedores del estudio

Las encuestas levantadas a los emprendedores que se ubican en el sector del Parque Miraflores de la ciudad de Cuenca en el desarrollo del evento del árbol de navidad, presentan que, el 21,43% están en un rango de edad de 26-33años en el caso femenino,

mientras que del género masculino el 21,43% están en una edad de 34-41 años siendo esta los rangos de mayor proporción. La importancia de esta variable radica en que por medio de los resultados se puede estimar la tipología de emprendedor de acuerdo a la edad e incluso en un plazo de tiempo se podrán estimar estrategias y decisiones para otorgar oportunidades para este grupo de estudio [8]. El detalle de información se puede observar en la figura 1.

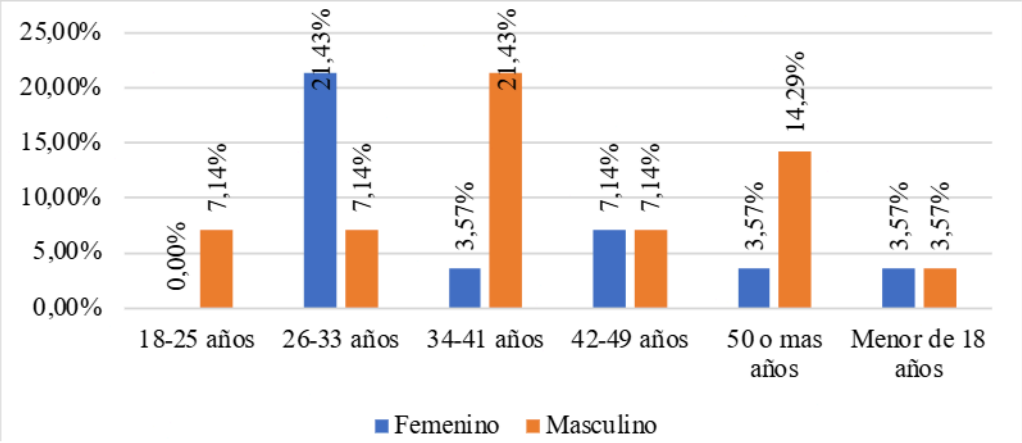


Fig.1. Edad y género de los participantes del estudio

Formación académica de los emprendedores

La formación académica de los emprendedores también fue una variable importante que se ha tomado en cuenta en el levantamiento de datos, porque permite conocer la realidad de cada uno de ellos y sobre todo beneficiará en un determinado plazo porque se podrán plantear planes de acción como propuestas de formación de tipo artesanal o de carrera, todo depende de las necesidades que requieran mejorar. De lo cual, en los resultados obtenidos se tiene que el 71,43% poseen un nivel de educación de secundaria, mientras que, el 14,29% de los involucrados sólo han terminado la primaria y en el mismo porcentaje algunos tienen educación de tercer nivel. Es importante mencionar que el análisis del nivel de educación radica en que se puede determinar los factores que influyen en el avance o progreso de las personas y la sociedad en general [17]. El detalle de la información presentada se puede observar en la figura 2.

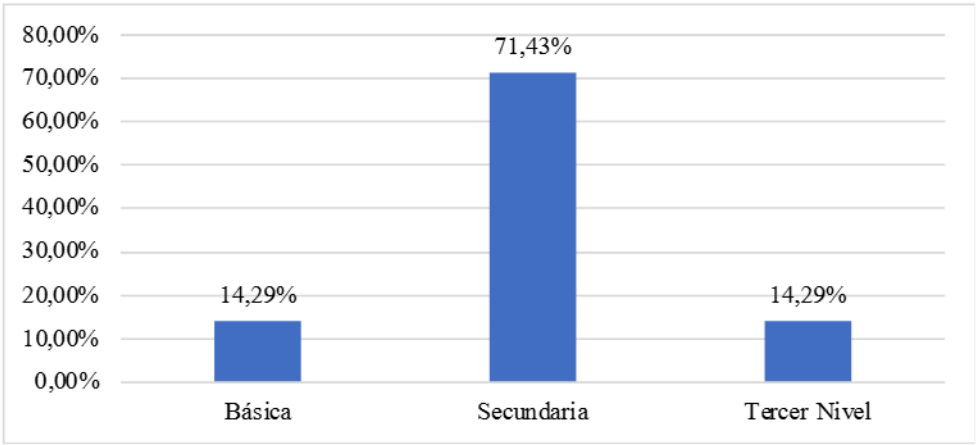


Fig. 2. Nivel de educación de los emprendedores

Actividades realizadas antes de la feria de exhibición del árbol de navidad

En las actividades cotidianas de los encuestados menciona el 28,57% que son comerciantes referido a venta de ropa y diferentes artículos de necesidad para el hogar, mientras el 17,86% indica que se dedican a actividades de construcción, en cambio el 10,71% refieren que tienen emprendimientos de diversa índole, seguidamente el 7,14% se dedican a tareas como empleada doméstica, jardinería, joyería y restaurante, finalmente el 3,57% tienen actividades como arquitectura y otros son sólo estudiantes.

Los resultados presentados permiten definir la situación laboral de los involucrados del estudio para analizar la realidad de empleabilidad y las razones por las que decidieron emprender durante el evento analizado. El análisis de los datos como actividades de empleabilidad ayudan a tener claros los objetivos de estudio, de acuerdo a las necesidades o intereses de la institución o empresa que lo realiza porque favorecen a determinar las alternativas de posibilidades de oportunidades y mejora de conocimientos con el fin de obtener resultados exitosos y admite una toma de decisiones adecuadas [2]. La información analizada se puede revisar en la tabla 1.

Tabla 1. Actividades desarrolladas antes de la feria de exhibición del árbol de navidad

Actividades	Total
Chofer	7,14%
Comerciante	28,57%
Construcción	17,86%
Empleada doméstica	7,14%
Emprendedor	10,71%
Estudiante	3,57%
Independiente de arquitecto	3,57%
Jardinería	7,14%
Joyas	7,14%
Restaurante	7,14%
Total general	**100%**

Análisis del ingreso promedio mensual de los emprendedores antes de la feria del árbol de navidad

En relación a los datos de actividades laborales que realizan los emprendedores encuestados, también se obtuvo el promedio de ingresos mensuales que estos perciben, de lo cual se deduce que el 50% tienen un ingreso de $301.50 - $673.5, mientras que el 32,14% tienen menos de $300 y el 17,86% de encuestados muestran un aproximado de más de $675, esto quiere decir que los ingresos percibidos son poco alentadores porque es necesario considerar que en algunos casos deben cubrir gastos básicos como consumo de energía eléctrica, agua, gas, internet y en ciertos casos pago de arriendo, lo cual significa un gasto elevado que posiblemente los ingresos percibidos no sean lo suficiente para generar ganancias en su totalidad.

De acuerdo a Dueñas (2019) menciona en su estudio que, la estabilidad económica de las familias depende de las actividades comerciales de la localidad que podría significar un 10% de ahorro, por lo que indica que el ingreso mensual se podría proyectar en $567,00 a más porque si el ingreso está por debajo de dicho valor podría existir un déficit y ocasionaría una crisis económica a nivel del hogar [3]. La información detallada se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2. Ingreso promedio de los emprendedores 45días antes de la feria del árbol de navidad

Ingreso promedio	Total
Menos de $300.00	32,14%
$301.50 - $673.5	50,00%
Más de $675	17,86%
Total general	**100%**

Análisis del ingreso promedio diario de los emprendedores durante de la feria del árbol de navidad

Tabla 3. Ingreso promedio durante los 45 días del evento en los emprendedores

Ingreso promedio	Total
Menos de $300.00	23.08%
$301.50 - $673.5	42.31%
Más de $675	34.62%
Total general	**100%**

En el desarrollo del evento del árbol de navidad los emprendedores indican que su ingreso promedio diario en el caso del 23.08% es menos de $300, mientras que el 42.31% señala que tienen un promedio de $301.50 - $673.5 y el 34.62% enmarcan que poseen un rango de ingreso de más de $675. Estos valores indican que el evento del árbol de navidad genera ingresos que benefician a los emprendedores porque comúnmente de forma mensual suelen adquirir dichos ingresos, es decir que les deja una ganancia considerable al menos en esa época del año, lo cual refleja que los eventos de atractivos eventuales si ayudan al desarrollo económico del sector que genera emprendimientos a corto plazo.

Según Zamora-Boza (2018) indica que emprender es un factor clave para el crecimiento económico, a pesar que existen elementos como la temporalidad, la intensidad y la direccionalidad que pueden ocasionar obstrucción en la evolución del trayecto económico, por tal razón, es importante potenciar la promoción de los emprendimientos mediante estrategias de venta, antes, durante y después de los atractivos eventuales [19]. El detalle de información se puede revisar en la tabla 3.

Análisis comparativo entre el promedio mensual frente al promedio diario de ingresos de los emprendedores

Al realizar el comparativo, entre los ingresos de 45 días antes y durante los 45 días del evento, se identifica que aquellos emprendedores que tenía el ingreso de menos de $300, corresponde al 32.14% y durante el evento este rango disminuyo un 9.07%; es decir al 23.08%. A continuación, en el análisis antes del evento el 50% de los emprendedores tenían el rango de $301, 5 – $673,5 y durante el evento disminuyo un 7.69%, es decir al 42.31%. En el rango de más de $ 675, antes del evento se tenía el 17.86% y durante el evento aumenta un 16.76%, es decir al 34.62%. Los emprendedores al proyectar en un ingreso supera el valor inicialmente estimado, debido que el 9.07% y el 7.69% obtuvieron ingresos más de $675, como se puede apreciar en la figura 3.

Estos resultados permiten deducir que, los atractivos eventuales generados si potencian el desarrollo económico de los emprendedores, por lo cual, es necesario realizar proyecciones a largo plazo a las actividades de turismo interno que se puedan desarrollar en la ciudad de Cuenca. Con base a este antecedente y de acuerdo a Guzmán (2014) se puede afirmar que el turismo interno contribuye al reequilibrio de la economía y a la redistribución de los ingresos y sobre todo proyecta el desarrollo de actividades que favorezcan a la economía de la localidad [4].

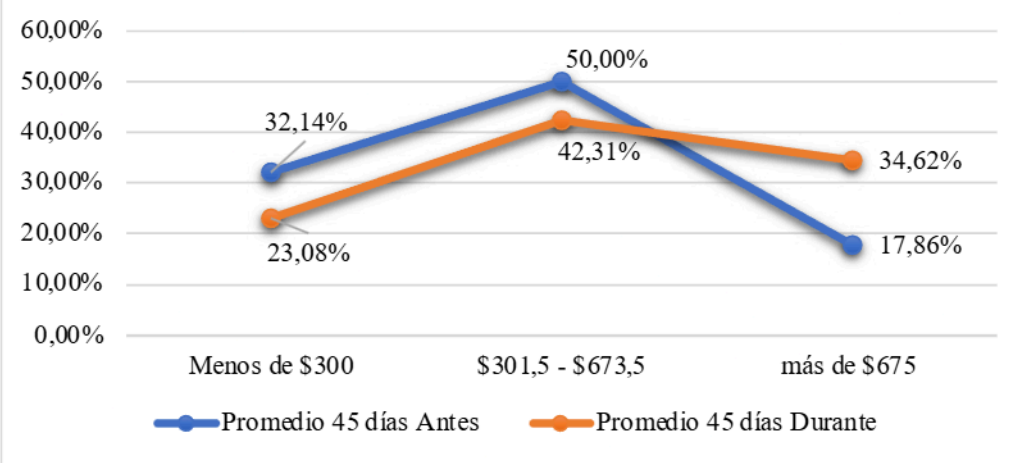


Fig. 3. Comparativo del ingreso antes frente al ingreso durante el evento denominado árbol de navidad

Conclusiones

El análisis realizado en este estudio ha permitido examinar la estrategia de gestión de la Fundación Iluminar, focalizada en la promoción de atractivos turísticos temporales, como el árbol de Navidad más grande de Ecuador en 2022. Esta iniciativa ha sido clave para potenciar el turismo local en la ciudad de Cuenca, con el propósito de fomentar tanto actividades económicas como opciones de entretenimiento accesibles para todos los ciudadanos.

Las actividades turísticas locales tienen un impacto económico inmediato, especialmente durante la temporada navideña de 2022 en Cuenca. En el parque Miraflores, los emprendedores informales aprovecharon la presencia del árbol más grande de Ecuador del año 2022 para llevar a cabo actividades comerciales, asegurando así su sustento temporal y mejorando sus ingresos. La colaboración de una empresa pública sin fines de lucro en la organización del evento ha facilitado la obtención de permisos por parte de

la Municipalidad de Cuenca para estas actividades comerciales en los alrededores del atractivo, agilizando así la regulación necesaria.

Finalmente, los emprendedores estudiados experimentaron aumentos significativos en sus ingresos por la influencia de la exhibición del árbol de Navidad más grande de Ecuador en 2022. Estos resultados resaltan la importancia de que entidades gubernamentales y fundaciones planifiquen espacios turísticos, permitiendo la operación de emprendimientos temporales en sus alrededores. Esta estrategia no solo ayuda a promover los productos de los emprendedores ante la ciudadanía, sino que también contribuye de manera considerable a mejorar sus ingresos, superando incluso las expectativas iniciales. Por ende, el impacto económico generado por este tipo de eventos temporales es un claro ejemplo del potencial positivo que tienen en los ingresos de los emprendedores, siendo una oportunidad valiosa para que todos participen como emprendedores y turistas en estos espacios.

Referencias

1. Cabrera Cortés, L. R. (2022). El turismo de interior en México. Desde el Sur, 14(3), 1–24. https://doi.org/10.21142/DES-1403-2022-0042

2. Conexión Esan. (2021). Importancia del análisis de datos en la toma de decisions. Conexión ESAN. https://bit.ly/3Sb22i7

3. Dueñas Solórzano, G. (2019). El Nivel de Ingresos de las Familias del Ecuador: Factor de Equidad para el Consumo y el Ahorro. Ciencia Sociales y Económicas, 3(2), 1–14. https://doi.org/10.18779/csye.v3i2.293

4. Guzmán, E. (2014). El turismo interno como alternativa creciente de desarrollo turístico del Ecuador. Revista Turydes: Turismo y Desarrollo, 7(17). https://bit.ly/48JwogZ

5. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, B. L. (2014). Metodología de la investigación (6ta. Ed.). Mc Graw Hill.

6. Ilustre Municipalidad de Cuenca. (2002a). Estatuto de la Fundación Iluminar. Luz y Color para Cuenca. https://bit.ly/3RUUXkv

7. Ilustre Municipalidad de Cuenca. (2002b). Acta de Asamblea General Constitutiva de la Fundación Iluminar. Luz y Color para Cuenca. https://bit.ly/3TNTEq5

8. Jacho Guashca, A. D. (2020). La importancia de la estadística para el éxito de resultados en una investigación. Espirales. Revista multidisciplinaria de investigación, 3(1), 1–11. https://doi.org/10.31876/is.v3i1.9

9. Mosquera, J. (2022). El árbol de Navidad más grande del país se instala en Cuenca. https://bit.ly/3TTAwam

10. Muñoz-Jácome, E. A., Vaca-Cárdenas, P. V., & Ati-Cutiupala, G. M. (2022). Modelos de gestión de destinos turísticos en el Ecuador. FIPCAEC, 7(4), 2357–2375. https://bit.ly/3vtLYiA

11. Navarro, D. (2015). Recursos turísticos y atractivos turísticos: conceptualización, clasificación y valoración. Cuadernos de Turismo, 35, 335–357. https://doi.org/10.6018/turismo.35.221641

12. Padilla Buñay, A., Lluglla Luna, L. A., Álvarez Arboleda, W. R., & Ramírez Rodríguez, B. E. (2021). Crisis and tourist reactivation in times of covid-19. Pastaza province chamber of tourism. Universidad y Sociedad, 13(3).

13. Proaño Lucero, G. E., López Paredes, C. R., & Chérrez Bahamonde, R. C. (2021). La situación turística actual de Ecuador y su incidencia en la reactivación económica. Revista Científica FIPCAEC (Fomento de la investigación y publicación científico-técnica multidisciplinaria)., 6(3), 29–39. https://bit.ly/3RLLQCy

14. Rivera García, C., Parra Cerezo, G., & Zavala Santana, A. (2021). Estrategia de planificación turística y las funciones participativas de los stakeholders en la provincia de Los Ríos. ConcienciaDigital, 4(4.1), 178–188. https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i4.1.1981

15. Santamaría-Freire, E. J., & López-Pérez, S. de los A. (2019). Beneficio social de la actividad turística en Ecuador. Revista venezolana de gerencia, 24(86), 417–434. https://bit.ly/4aSndgq

16. Tamayo y Tamayo, M. (2003). El proceso de la Investigacion Cientifica. EDITORIAL LIMUSA, S.A. DEC.V. GRUPO NORIEGA EDITORES.

17. Universidad Nacional Autónoma de México. (2009). Importancia de la educación para el desarrollo. https://bit.ly/4aMRahH

18. Wright Garzón, M. R., & Montesdeoca Carrasco, M. F. (2020). Impacto de Eventos Innovadores para la Dinamización del Turismo. INNOVA Research Journal, 5(3). https://doi.org/10.33890/innova.v5.n3.2020.1437

19. Zamora-Boza, C. S. (2018). La importancia del emprendimiento en la economía: El caso de Ecuador. Espacios, 39(7), 1–12. https://acortar.link/gF72M

VOL. 6 Nº2 - 2024

IBARRA - ECUADOR | Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science
IDEAS

Laboratorio Aéreo Inteligente para muestreos hídricos en la Amazonía del Ecuador

http://doi.org/10.53358/ideas.v6i2.1073

Andres Martínez León[1], Luis Mosquera Morocho[2], Mayra Heras Heras[1], Julio Guerra Masson[3], Andrea López López[4]

1: Universidad Estatal Amazónica, Puyo (UEA), Puyo, Ecuador
2: Universidad Estatal del Suroeste de Rusia (UESOR), Kursk, Rusia
3: Universidad Técnica del Norte (UTN), Ibarra, Ecuador
4: Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Sangolquí, Ecuador

amartinez@uea.edu.ec, mheras@uea.edu.ec, luismm1105@gmail.com, jeguerra@utn.edu.ec, amlopez13@espe.edu.ec

Fecha de envío, mayo 8/2024 - Fecha de aceptación, marzo 26/2024 - Fecha de publicación, julio 15/2024

Resumen: En este artículo se presenta una breve investigación relacionada a la problemática ambiental de monitoreo preventivo de fuentes hídricas en la región Amazónica del Ecuador. En tal virtud, se realiza la presentación de una propuesta de estrategia operativa a través de la implementación de un Laboratorio Aéreo Inteligente LAI, conformado por un Vehículo Aéreo no Tripulado RPA y un sistema de recolección de muestras de agua. A fin de garantizar un monitoreo remoto autónomo de ambientes acuáticos, el LAI integra una interfaz Ser Humano-Máquina HMI que permite al operador en Tierra interactuar través de protocolos de comunicación de largo alcance con el LAI, el cual cumple con su funcionalidad por medio una arquitectura de hardware y software integrada a bordo. En el trabajo se muestra el prototipo de LAI ensamblado, resultados de su explotación en campo para evaluación de propiedades fisicoquímicas, así como una reflexión hacia trabajos futuros en esta temática.

Palabras Clave: Vehículo Aéreo no Tripulado (RPA), Convertiplano, Monitoreo hídrico, Sistema de recolección, Conservación de ecosistemas.

Abstract: This paper presents a brief research related to the environmental problem of preventive monitoring of water sources in the Amazon region of Ecuador. As consequence, a proposal for an effective strategy is presented through the implementation of an Intelligent Aerial Laboratory LAI, consisting of an Unmanned Aerial Vehicle RPA and a water sample collection system. In order to guarantee an autonomous remote monitoring of aquatic environments, the LAI integrates a Human-Machine interface HMI that allows the operator on land station to interact through long-range communication protocols with the LAI, which fulfills its functionality through an integrated hardware and software architecture on board. This work presents the assembled LAI prototype, results of its exploitation in real conditions for physicochemical properties sensing, as well as a reflection towards future work on this topic.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Convertiplane, Water Monitoring, Collection system, Ecosystem conservation.

Autor de correspondencia:
Andres Martínez León, amartinez@uea.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción.

El monitoreo de la calidad de recursos hídricos resulta fundamental para garantizar la salud humana, así como también para la conservación del medio ambiente. Según informe del año 2022 de la Organización de las Naciones Unidas, se menciona que ambientes contaminados han sido los causantes en el mundo de al menos 9 millones de decesos prematuros, aproximadamente el doble de casos fatales causados por la pandemia COVID-19 en sus primeros 18 meses [1]. El Estado ecuatoriano fomenta acciones que garanticen un acceso permanente, seguro y a escala para cubrir necesidades individuales y productivas [2, 3]. Sin embargo, las distintas actividades humanas en la industria, agricultura, extracción de recursos naturales, desarrollo urbano, etc., acompañadas de un escaso o inexistente plan sostenible de descarga de aguas residuales, tratamiento de residuos sólidos, manejo de contaminantes orgánicos e inorgánicos, etc., afectan considerablemente a recursos hídricos, generando condiciones negativas para la salud pública y medio ambiente [2-4, 9]. La región amazónica del Ecuador representa una de las áreas con mayor biodiversidad y recursos hídricos del planeta (ríos, lagos, acuíferos, humedales, bosques inundados). Estos ecosistemas cumplen un papel importante en la regulación del clima, conservación de la biodiversidad y suministro de agua dulce a grupos humanos y vida silvestre. Investigadores y especialistas realizan esfuerzos por llevar a cabo muestreos en campo para registrar información orientada a la generación de planes de gestión hídrica, actividades que se dificultan por la extensión, clima, complejidad geográfica, escasa infraestructura y diversidad del entorno [5, 6]. Por la inversión en brigadas de especialistas, limitada capacidad de reacción y cobertura, complejidad logística, etc., el monitoreo manual de recursos hídricos es irregular, tiene un carácter puntual, prioriza a cuerpos de agua de mayor extensión e importancia. Es así como recursos hídricos de un menor tamaño (vertientes en zonas altas, afluentes a zonas pobladas) presentan un déficit de monitoreo, volviéndolos vulnerables y de compleja recuperación ante la falta de una detección temprana e intervención integral para contrarrestar procesos de contaminación o degradación [3]. En concordancia con lo descrito, existe una necesidad de implementar métodos alternativos que garanticen un monitoreo remoto extenso, seguro y permanente de recursos hídricos. A través del uso de tecnologías de teledetección de la Tierra (satelitales y aeronaves tripuladas) se efectúan escaneos a gran escala de determinados territorios [5, 7]. Por un lado, el uso de satélites presenta una limitante en la capacidad de actualización de información, ya sea por condiciones atmosféricas o posición temporal en la órbita, sin considerar la complejidad de procesamiento de la información y experticia requerida [7, 8]. Por otro lado, el uso de aeronaves, demanda de una tripulación para labores de vuelo y detección, infraestructura e inversión para su operación [6]. Finalmente, las estrategias de teledetección de la Tierra están orientadas a un monitoreo visual de las fuentes hídricas, permitiendo observar aspectos estrictamente físicos (color, claridad, espuma, residuos flotantes, vegetación, vida silvestre), lo cual resulta de utilidad en procesos avanzados de contaminación. El monitoreo visual puede utilizarse como estrategia complementaria, siendo el método de inspección fisicoquímico en el instrumento primordial para una detección temprana de contaminantes presentes en ecosistemas acuáticos a través de mediciones de parámetros como: pH, turbidez, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, nutrientes (nitratos, fosfatos), metales pesados, compuestos orgánicos, etc. [4]. La evolución de las tecnologías de la información y microelectrónica han permitido el desarrollo de micro vehículos aéreos no tripulados, los cuales constituyen laboratorios aéreos inteligentes (LAI) equipados a bordo con el hardware y software para ejecutar misiones de forma autónoma, capaces de receptar, almacenar y transmitir información en tiempo real del estado de la plataforma aérea, así como de

la información recolectada por la carga útil instalada en el equipo, brindando soluciones rentables y de alta precisión en zonas de difícil acceso o de riesgo para el ser humano [8, 10, 11, 23]. En el trabajo se realiza una propuesta costo-eficiente de un prototipo de vehículo aéreo no tripulado (RPA) tipo convertiplano, cuyas características en términos de velocidad y cobertura, eficiencia energética, adaptabilidad a condiciones climáticas adversas, capacidad de carga útil, etc., superan a las de un RPA multirotor estándar. El prototipo de RPA tiene por objetivo evaluar de forma autónoma recursos hídricos de ubicados en la zona de Fátima, provincia de Pastaza, garantizando una apropiada recolección a escala para una descripción de la condición hidrológica actual del territorio.

Metodología y materiales

El presente trabajo está dividido en las siguientes fases: I - investigación exploratoria que se utilizó para la revisión bibliográfica sobre el estado y factores de impacto ambiental en fuentes hídricas en la parroquia Fátima, evaluación de condiciones meteorológicas e información geográfica relevante de la zona; II – investigación experimental para el diseño mecánico, arquitectura de hardware/software del laboratorio aéreo basado en un RPA tipo convertiplano; III – Descripción de pruebas experimentales y presentación de principales resultados del estudio. A continuación, se detallan las fases mencionadas.

Consideraciones para planificación de monitoreo aéreo

Pastaza constituye la provincia territorialmente más grande del Ecuador, sus recursos hídricos forman parte de la cuenca del Amazonas y constituyen una fuente única de abastecimiento para el consumo humano, actividades como la agricultura, pesca, ganadería, micro y mediana industria en general, turismo y deporte, etc. Su capital administrativa es la ciudad del Puyo. La principal fuente hídrica de esta ciudad es el río Puyo, con una longitud de aproximadamente 44 km hasta su desembocadura en el río Pastaza. A lo largo de su extensión, el río Puyo atraviesa zonas urbanas y rurales desde las cuales se descargan aguas residuales con un escaso tratamiento. En el presente artículo, para fines de desarrollo de la propuesta de prototipo de monitoreo de recursos hídricos en la Amazonía, se ha considerado el sector afluente a la cuenca media del río Puyo, correspondiente a la parroquia Fátima, la cual se caracteriza por ser una parroquia de microemprendimientos, a partir de las bondades de los sectores agrícola (cacao, café, plátano, yuca, caña de azúcar), ganadero (vacunos), y turístico. Sin embargo, la inexistencia de programas integrales permanentes de intervención para mitigar los efectos producto de las actividades de los sectores mencionados, conlleva a una afectación en la biodiversidad e impacto en la salud de los pobladores de la zona, etc. [9]. Debido a su ubicación geográfica, Fátima representa un punto estratégico para la evaluación temprana de agentes contaminantes, aliviando la afectación generada aguas abajo del cuerpo hídrico. Esta medida aseguraría mejores resultados en los programas de saneamiento ambiental que se encuentran en implementación en Puyo y por ende beneficiaría al resto de poblados hasta llegar a la desembocadura del río Pastaza. La parroquia Fátima se encuentra aproximadamente a 1000 m.s.n.m., posee un clima tropical húmedo (>80%) caracterizado por temperaturas cálidas (22 – 30 °C), corrientes de viento relativamente bajas (2–3 m/s) y considerables precipitaciones durante el año (>3.000 mm) con una distribución relativamente uniforme a lo largo de los meses. Esta zona no se caracteriza por elevaciones significativas en su área inmediata (≈82 km2), sin embargo, en su perímetro se encuentra rodeada de colinas y montañas de la Cordillera Oriental de los Andes. La caracterización de la zona permite establecer los criterios base de diseño del RPA, tales como: superficie y altura de operación,

configuración y materiales óptimos, niveles de adaptabilidad del controlador de vuelo, carga útil y protocolos de comunicación para la implementación del sistema autónomo de monitoreo, etc. [8, 10, 11, 18].

En la Fig.1 se presenta el área seleccionada (413,5 m2) para la realización remota del monitoreo del estado fisicoquímico de las aguas del río Puyo. Dentro del proceso de validación del prototipo, se propone que el RPA recorra en aproximadamente 30 min. un perímetro de 4 km, realizando una trayectoria que tiene como inicio (despegue) y fin (aterrizaje) el punto A (estadio de la parroquia Fátima), avanzando hacia los puntos seleccionados para la recolección de muestras, análisis visual y sensorial: B – zona baja de la Captación río Puyo, C, E –presencia de fincas y emprendimientos, D – Dique de Fátima.

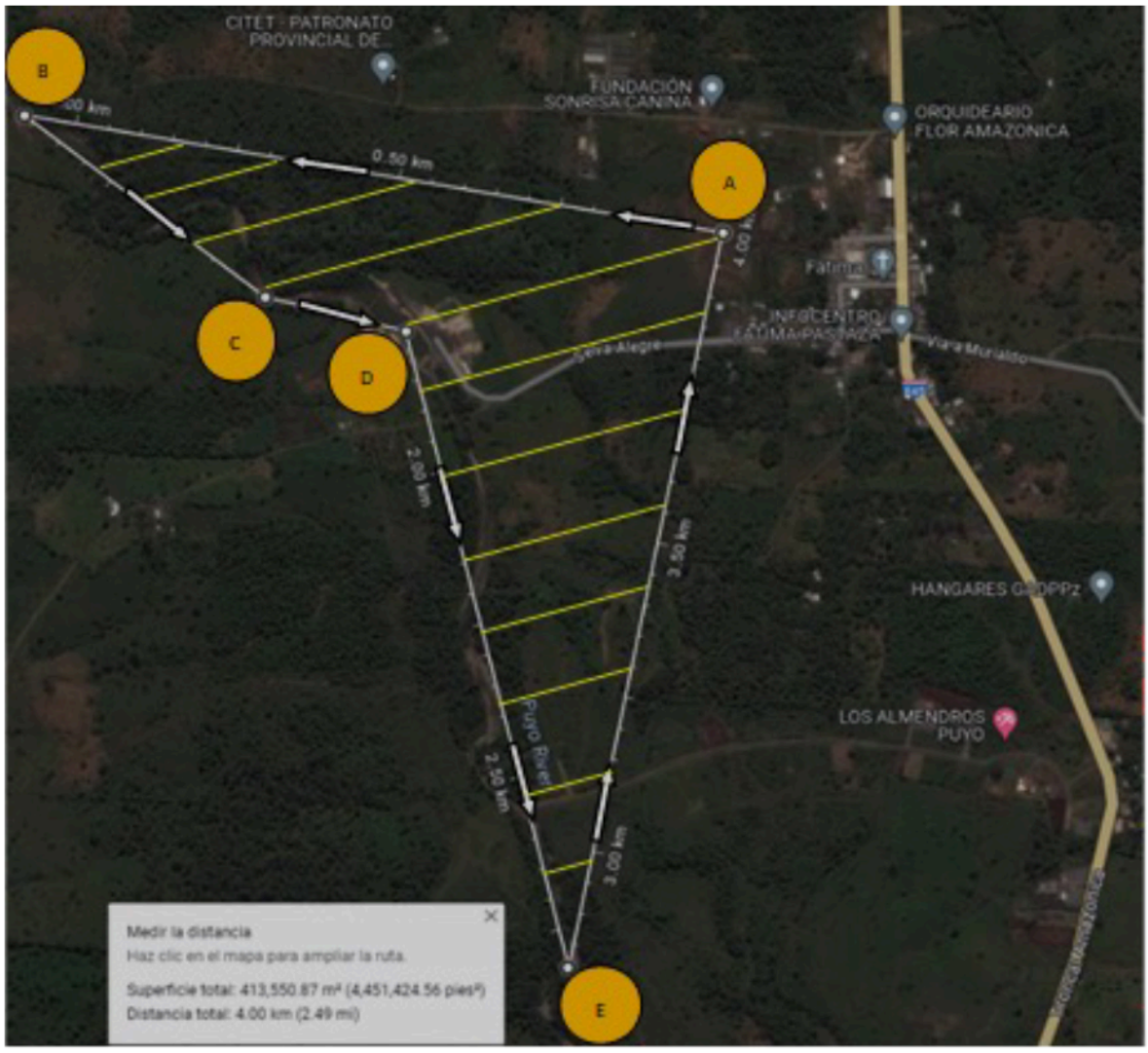


Fig. 1. Mapa descriptivo de la trayectoria del RPA durante el monitoreo: A – Estadio de la parroquia Fátima, B, C, D, E – Puntos de recolección de muestras y análisis.

Diseño estructural del laboratorio aéreo inteligente (LAI)

En base a los antecedentes expuestos, en este capítulo se presenta el diseño elaborado en el software CAD SolidWorks de un laboratorio aéreo inteligente compuesto por un RPA con una configuración de 4 hélices distribuidas en forma de "H", cubierto por un fuselaje y alas, equipado con un sistema de recolección de muestras de agua (Fig.2). El proceso de diseño del LAI se basa en criterios de optimización topológica, garantizando su ligereza, resistencia a esfuerzos mecánicos, capacidades de hermeticidad y exposición a factores de humedad y luz solar, lo cual permite: mejorar las propiedades aerodinámicas y de vibración, así como la capacidad de carga útil [11, 18, 19, 23]; implementar sistemas eficientes de alimentación, módulos de larga distancia para transmisión de telemetría, video e información del proceso de monitoreo en tiempo en real. El prototipo de LAI posee un fuselaje (1) mismo que protege a componentes electrónicos, módulos de comunicación, alimentación, etc. presentes en su parte interna. Por otro lado, se encuentran los pares de motores eléctricos sin escobillas (3) y aspas (4), mismos que generan la fuerza de empuje necesaria para levantar al RPA, en conjunto con el sistema de recolección de agua (5), instalado de forma fija debajo del fuselaje. El diseño de fuselaje y alas de la aeronave fue realizado a partir de resultados de modelación aerodinámica en el software XFLR5 [13], en donde se determinó que la construcción de 2 metros de envergadura debe ser realizada en semi flecha, basada en un perfil asimétrico NACA 2415. Esta configuración representa un incremento en las capacidades iniciales de carga y tiempo de vuelo del RPA en hasta un 15%. Por otra parte, a través de la base de datos de CES Edupack [12] se determinó que tanto los perfiles tubulares y fuselaje deben ser elaborados en fibra de aramida con resina epoxy, con lo cual se consigue mejorar la rigidez y alivianar el peso de la construcción en hasta un 6%, inhibiendo efectos por condiciones climáticas adversas [13, 22]. Por otra parte, los pares de aspas de carbono y motores eléctricos en conjunto generan la suficiente fuerza de empuje para garantizar una relación de 1,5 a 1 con respecto al peso total del LAI, incluso en las etapas en las que sistema de recolección se encuentra en su nivel máximo. El tiempo estimado de vuelo es de hasta 45 min.

El sistema de recolección de muestras de agua (Fig. 3) consta de cuatro tubos (2) de 250 mililitros, contenidos en un soporte de sujeción (3). El agua asciende por un módulo de absorción, activado por una bomba de succión (5) a través de 2 mangueras (6). La manguera inferior forma parte del módulo vertical de desplazamiento que se introduce a aproximadamente 15 cm. bajo el agua. El módulo vertical se pone en movimiento a través un engranaje incrustado al eje del motor (4), el cual se activa posterior a la absorción del agua hasta la parte superior, etapa en la cual el volumen de líquido recolectado se vacía en el tubo correspondiente. Una vez que el tubo se encuentra lleno con la muestra, el servomotor (1) cambia la posición de la manguera superior en 90o en sentido de las manecillas del reloj, proceso que ocurre en 2 etapas de 45° destinadas a expulsar restos de agua en las cavidades internas de las mangueras y alinear la manguera superior con el siguiente recipiente. El proceso de recolección de muestras se realiza en los puntos previamente seleccionados por el operador y se repite hasta obtener las muestras requeridas, en un máximo de cuatro unidades. Dentro de este primer prototipo se ha considerado el uso de sensores de niveles de pH y temperatura para realizar de forma paralela los registros de los indicadores mencionados mientras transcurre el proceso de recolección de muestras.

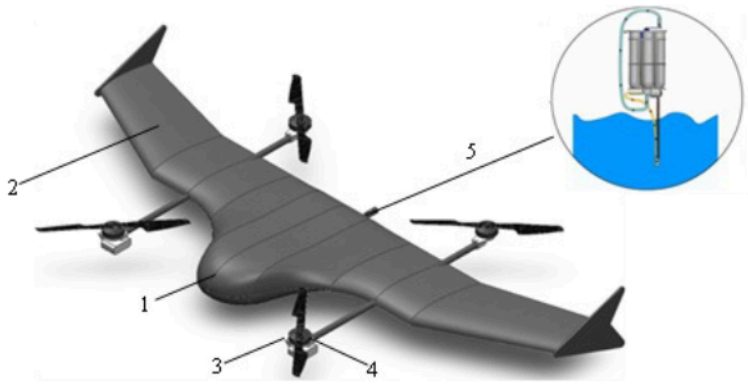


Fig.2. Vista general del prototipo de Laboratorio Aéreo Inteligente: 1- Fuselaje, 2 – Alas, 3,4 – Motores sin escobillas, 5 – Sistema de recolección de agua

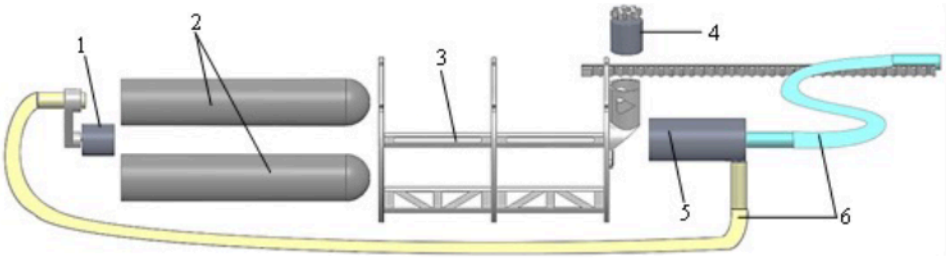


Fig.3. Estructura interna del sistema de recolección de muestras

Diseño de la arquitectura de control

El diseño del controlador de vuelo se basa en el modelo dinámico del RPA y considera las características del entorno, permitiendo identificar las entradas de control para generar las acciones para guiar al robot hacia un estado deseado o la realización de una tarea. En concordancia con la Fig. 4, el movimiento del RPA ocurre en el sistema global de coordenadas OX_0Y_0Z, en donde $CX_1Y_1Z_1$, $A_ix_iy_iz_i$ $(i=1\text{-}4)$ son parte del sistema local que atraviesa el centro de masa C, así como el i-ésimo rotor A_i. La orientación en el espacio es determinada por los ángulos de Euler: alabeo (φ), cabeceo (θ) y g uiñada (ψ) que ejercen su acción sobre los ejes X,Y,Z respectivamente [13-15, 21].

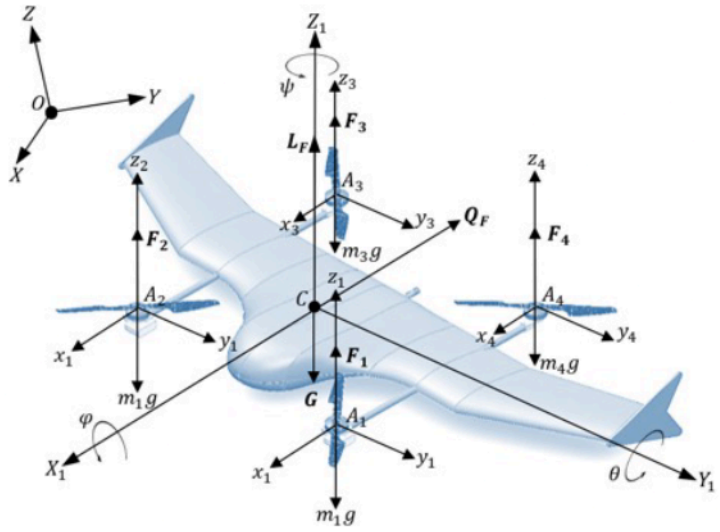


Fig.4. Esquema de cálculo del RPA: $\boldsymbol{F}_i$ – vector de la fuerza de empuje de los rotores; G – vector gravitacional; $\boldsymbol{L}_F, \boldsymbol{Q}_F$ – vectores de fuerzas aerodinámicas sobre la superficie alar y fuselaje

En función de los aportes realizados sobre modelación del movimiento espacial de RPA [11, 18, 21], el modelo matemático generalizado (incluyendo los componentes cinemático, dinámico y electromecánico del sistema) puede ser descrito a través de la expresión (2), la cual simplifica el proceso de diseño del controlador de vuelo.

$$\begin{cases} \dot{\boldsymbol{V}} = f(\boldsymbol{Y}, \boldsymbol{V}, \boldsymbol{U}), \\ \boldsymbol{Y} = \chi(\xi) \end{cases} \quad (1)$$

donde, $\xi = [x, y, z, \varphi, \theta, \psi]^T$ – vector multidimensional de estados; $\dot{\boldsymbol{V}} = d\xi/dt$ – vector de aceleraciones del centro de masa del RPA; $\boldsymbol{U}, \boldsymbol{Y}$ – vectores de entradas y salidas de control respectivamente, χ – matriz de filtro de la información.

Una de las peculiaridades del monitoreo remoto autónomo en zonas abiertas corresponde a la presencia de incertidumbres externas durante su operación (interacción con agentes, cambio dinámico de entornos, condiciones ambientales, etc.)., así como a la ausencia periódica de contacto visual entre el operador y el RPA. Durante el proceso de toma de muestras y evaluación sensorial de las propiedades de la fuente hídrica, el LAI debe mantener su posición y estabilidad mientras los módulos del sistema de recolección se encuentran en contacto con el cuerpo acuáticos sobre el cual actúan corrientes (superficiales e internas). En tal virtud, en el presente trabajo se considera la implementación de una arquitectura de control jerárquico, en donde las acciones de control de los motores eléctricos generada por el controlador de vuelo (nivel bajo), son optimizados sobre un horizonte de predicción a través de una estrategia de control predictivo MPC (nivel alto) en función del conocimiento del modelo dinámico del RPA [11, 20, 22, 24, 25], lo cual permite satisfacer propiedades de un control robusto, tales como: adaptabilidad, autoaprendizaje y capacidad de respuesta y manejo de incertidumbres en tiempo real. En general, el sistema de control del vehículo aéreo (Fig.5) puede ser descrito a través del siguiente esquema, compuesto de los módulos: Operador, Interfaz Ser Humano-Máquina (HMI) y LAI.

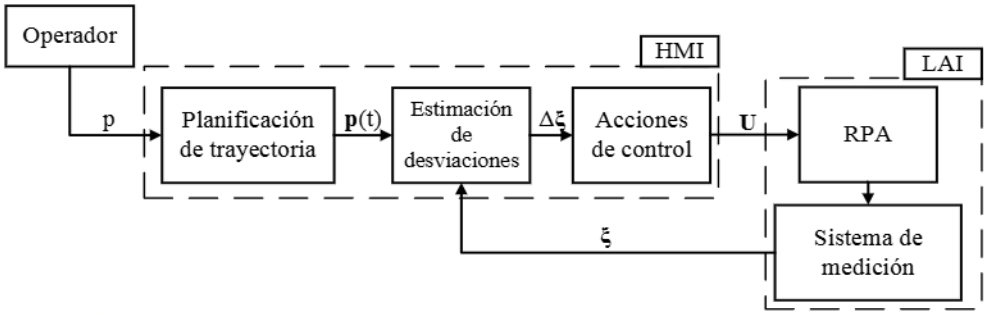


Fig. 4. Esquema generalizado de sistema de control del LAI

En función de la descripción anterior, en la Fig.5 se presenta un esquema generalizado de la arquitectura de control del sistema, en la cual se describe el proceso de interacción entre el operador y LAI a través de una interfaz HMI, la cual tiene por objetivo: garantizar el trabajo sincrónico de sus elementos para una mayor efectividad en las capacidades operativas del sistema, minimizando la influencia del factor humano; permitir el intercambio efectivo de información para el planeamiento de trayectoria, corrección y análisis de la tarea de monitoreo de fuentes hídricas, gestión de información sobre el estado del sistema, intervención inmediata con estrategias alternativas o de emergencia. La interacción entre el Operador y el LAI utiliza protocolos de comunicación basados en telemetría de red móvil, lo cual permite gestionar la información sin un límite de rango (en sectores de

cobertura inestable, el sistema puede ser apoyado por sistemas terrestres de amplificación de señal. Bajo estas consideraciones, el Operador genera la matriz de puntos de interés para la recolección de muestras de agua (coordenadas GPS) $p = \lceil p_1, p_2, \dots p_i \rceil$·. La información contenida en p es introducida a la unidad de generación de trayectoria, creando el vector de entrada $\boldsymbol{p}(t) = \lceil x^d, \quad y^d, z^d, \psi^d \rceil^T$. El sistema de medición sensorial del microcontrolador de vuelo permite acceder a través del lazo de retroalimentación a la información sobre el estado actual del LAI $\boldsymbol{\xi}(t) = \lceil \boldsymbol{\alpha}, \quad \boldsymbol{\gamma} \rceil^T$, conformado por los vectores de posición $\boldsymbol{\alpha} = \lceil x, \quad y, \quad z \rceil^T$ y orientación $\boldsymbol{\gamma} = \lceil \varphi, \theta, \psi \rceil^T$ respectivamente.

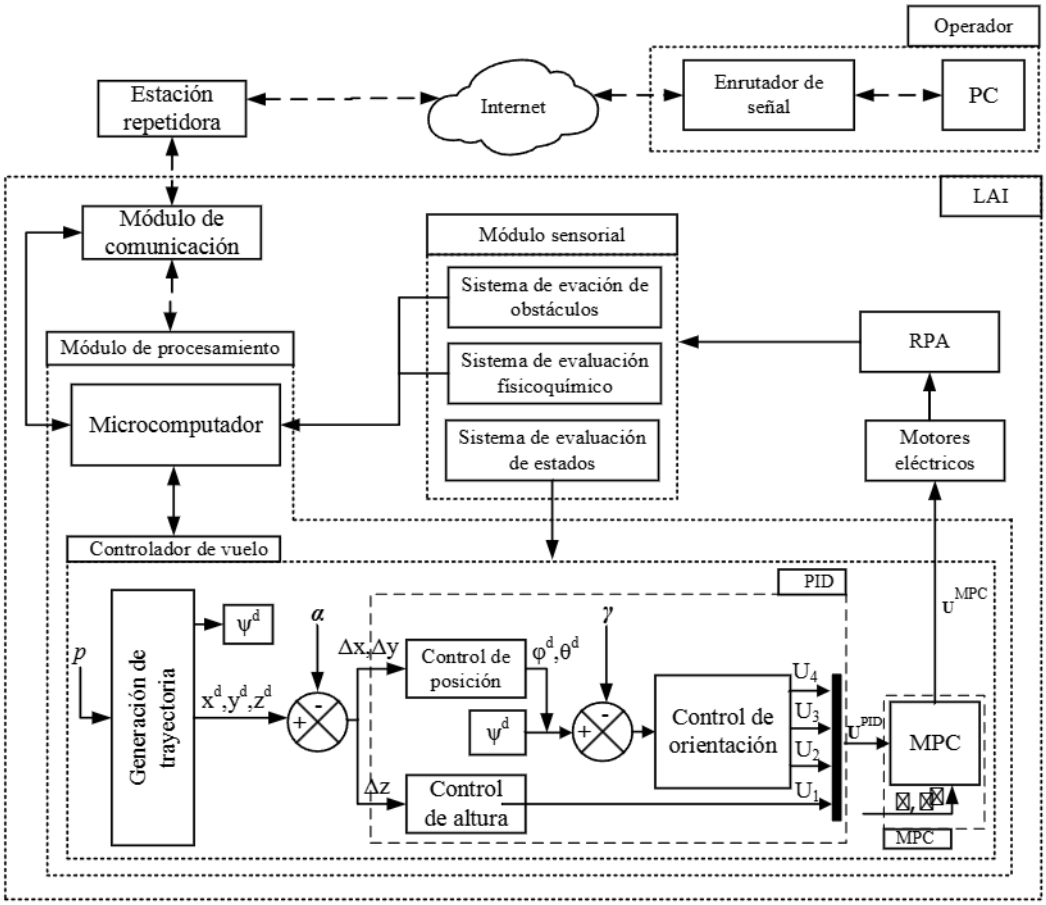


Fig.5. Esquema generalizado de arquitectura de control del LAI

Posteriormente, los registros obtenidos son contrastados con los estados deseados provenientes del modelo dinámico del RPA, formando de esta manera el vector de desviaciones $\Delta\boldsymbol{\xi}(t) = \lceil \Delta\boldsymbol{\alpha}, \quad \Delta\boldsymbol{\gamma} \rceil^T$. De esta manera, la formación del vector de entradas de control $\boldsymbol{U}$ ocurre de acuerdo con la expresión [14, 16, 17]:

$$U_i = K_p\, e_i(t) + K_i \int e_i(t)dt + K_d \frac{d}{dt} e_i(t), i = 1 \dots 4 \qquad (2)$$

donde, $e_i(t)$ – desviación entre los valores deseado y real del i-nésima entrada de control, K_p, K_i, K_d – coeficientes del controlador PID.

En adelante denominaremos al vector de entradas como $\boldsymbol{U}^{PID}$, el cual alimenta al nivel superior de control MPC. Según la estructura presentada (Fig.6), dentro de este nivel se realiza una predicción del comportamiento del sistema en un intervalo de tiempo N. La estimación del vector resultado $\boldsymbol{U}^{MPC}$ es posible obtener mediante el cálculo de la función de costo $\boldsymbol{J}$ en función de un algoritmo de programación cuadrática [11, 20].

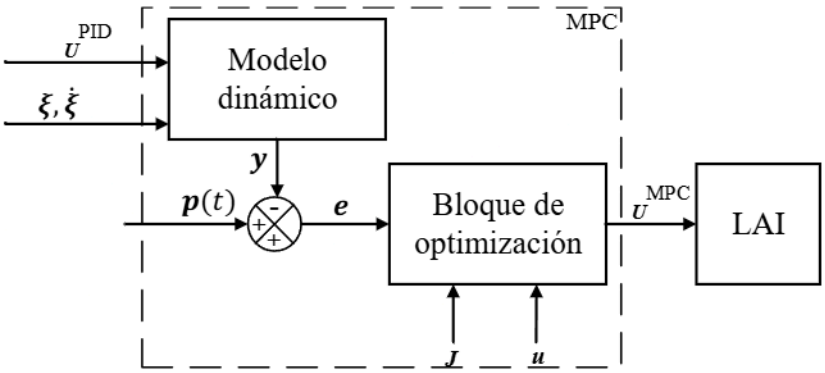


Fig.6. Estructura interna del bloque MPC

Posterior a la estimación del vector resultante optimizado $\boldsymbol{U}^{MPC}$, es imprescindible generar el vector de voltajes requeridos por los motores eléctricos del RPA $\boldsymbol{u}$ en dependencia de las desviaciones registradas por $\Delta\boldsymbol{\xi}$. En tal virtud, el vector de velocidades angulares a ser suministradas para operación robusta del sistema puede denotarse según la siguiente expresión [11]:

$$\boldsymbol{\omega}_i = f\left(\boldsymbol{U}^{MPC}(\Delta\boldsymbol{\xi})\right), \quad i = 1-4 \qquad (3)$$

donde, $\boldsymbol{\omega}_i$ – vector de velocidades angulares del *i-ésimo* motor eléctrico.

Finalmente, la transformación de los valores de $\boldsymbol{\omega}_i$ a señales de pulso modulado PWM (no se muestra en Fig. 6) se realiza en función de las características de los motores eléctricos seleccionados para el RPA. Por otro lado, el módulo sensorial del LAI está compuesto por sistemas de evasión de obstáculos y evaluación de propiedades fisicoquímicas, los cuales se realizan a nivel de hardware mediante sensores infrarrojos y pH según corresponde, y a nivel de software a través del microcomputador en base a algoritmos desarrollados por el grupo de investigadores.

Resultados y discusiones

En calidad de principal aporte a la investigación desarrollada, en función de las consideraciones presentadas en las secciones de diseño estructural y de control, se presenta el prototipo de laboratorio aéreo inteligente compuesto por un RPA con una configuración de 4 hélices distribuidas en forma de "H", propuesto para la realización de actividades de monitoreo de recursos hídricos (Fig.7).

Con el objetivo de estimar la calidad de las mediciones de propiedades fisicoquímicas (potencial de hidrógeno, pH) de recursos hídricos a través del método automático (remoto por laboratorio aéreo inteligente), la información obtenida por el LAI se correlaciona con los datos registrados a través del método manual (evaluación en campo por brigadas de especialistas), realizando de esta manera un doble sensado del estado de la fuente hídrica en cada punto de muestreo seleccionado.

Para efectos de demostración de las capacidades del LAI como alternativa viable a la estrategia manual y escalable a una evaluación permanente del estado del ecosistema acuático en territorios de la Amazonía del Ecuador, se recurre a procedimientos estadísticos que permitan excluir la acumulación de errores en las mediciones (Prueba de rachas), establecer una relación entre los métodos propuestos (Prueba T-Student para muestras seleccionadas), así como garantizar tolerancias permisibles en los datos recolectados (Prueba de Intervalo de confianza) [26, 27]. Estas pruebas estadísticas se realizan a través del software SPSS [28] con una matriz de 16 registros experimentales de nivel de pH para cada método (manual y automático).

El proceso de evaluación de los niveles de pH en campo representa una tarea compleja dada la sensibilidad del sensor a la contaminación, por lo cual el equipo de especialistas realiza este procedimiento posterior a cada medición, no obstante, el método automático limita esta posibilidad a una vez que el LAI finaliza con la misión de monitoreo, lo cual podría llevar a una acumulación sistemática del error en las mediciones de pH. En concordancia con los resultados obtenidos en la Prueba de rachas (Tabla 1) se determina que los valores de significancia asintótica bilateral (Sig.asin. bilateral) de los métodos automático (0,267) y manual (0,796) son superiores al nivel de significancia permisible del estudio (0,05), con lo cual se valida una hipótesis nula que confirma la independencia existente entre las medidas dentro de cada método.

Tabla 1. Resultados de Prueba de rachas

	AUTOMÁTICO	MANUAL
Valor de prueba[a]	6,9594	7,0063
Casos < Valor de prueba	6	8
Casos >= Valor de prueba	10	8
Casos totales	16	16
Número de rachas	6	8
Z	-1,109	-0,259
Sig. asin. (bilateral)	0,267	0,796

a. Media

Posteriormente se realiza un análisis de las correlaciones existentes entre los métodos manual y automático mediante una prueba T-Student (Tabla 2), en la cual se establece un valor de significancia (0,392) mayor que el nivel de significancia del estudio, con lo cual se establece la inexistencia de una diferencia significativa entre métodos comparados (correlación aproximada del 91%).

Tabla 2. Resultados de Prueba T-Student (Emparejada)

Par 1	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig.
	Media	Desviación estándar	Media error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
AUTO & MANUAL	-0,046	0,212	0,053	-0,160	0,066	-0,882	15	0,392

Adicionalmente, la implementación del LAI como una propuesta alternativa de monitoreo de recursos hídricos debe fundamentarse en la precisión y fiabilidad de las mediciones recolectadas, para lo cual se lleva a cabo una Prueba de Intervalo de confianza en base a la variable error (desviación entre medidas recolectadas a través de métodos manual y automático para un mismo punto). En función de las métricas de límites inferior (-0,0664) y superior (0.1601) se concluye que el margen de error no interfiere en la calidad del estudio.

Tabla 3. Extracto de prueba de Intervalo de confianza

			Estadístico	Error estándar
ERROR	Media		0,0469	,05313
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-0,0664	
		Límite superior	0,1601	
	Media recortada al 5%		0,0465	
	Mediana		0,1000	
	Varianza		0,045	

Tras la evaluación de la calidad de los resultados de las mediciones registradas de niveles de pH de forma remota mediante el uso del prototipo del LAI (Fig.7), se procede con la realización de pruebas de campo en la forma y condiciones establecidas dentro de la investigación, considerando los puntos establecidos de recolección de muestras (Fig.1). Los resultados mostrados en la Fig. 8 corresponden a los niveles de pH registrados durante el mes de enero (periodicidad semanal) con valores entre 6.4 y 7.6.



Fig. 7. Prototipo de Laboratorio Aéreo Inteligente (LAI).

Según lo establecido en las normativas Autoridad Ambiental Nacional [2, 9], los niveles permisibles de pH a nivel de recursos hídricos para la preservación de ecosistemas acuáticos, consumo humano y realización de actividades deportivas se encuentran en un rango de 6,5 y 8,5 unidades. En tal virtud, las zonas evaluadas presentan tendencia a adquirir propiedades alcalinas, a lo cual aportan las descargas directas de aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas y ganaderas ubicadas en el margen próximo al río Puyo. Los resultados obtenidos de forma remota a través del LAI guardan una estrecha relación con los datos registrados en zonas aledañas por brigadas de investigadores en periodos anteriores [9].

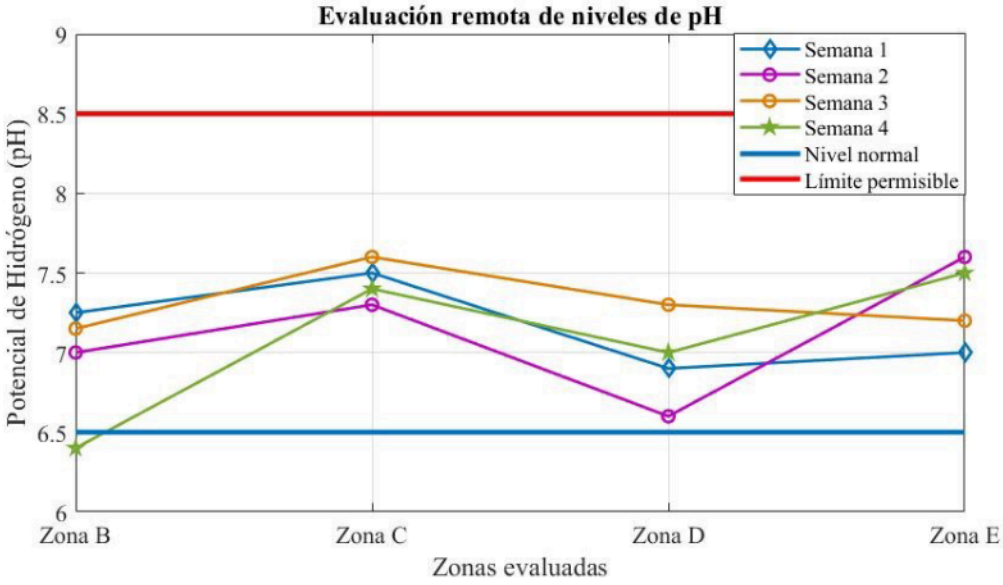


Fig.8. Resultados de medición remota de nivel de pH

Finalmente, en esta etapa de investigación se lleva a cabo un proceso de evaluación de efectividad de monitoreo remoto de propiedades fisicoquímicas a través del prototipo de LAI, para lo cual se ha requerido de la evaluación técnica, validación de resultados de pruebas experimentales, comparación con soluciones existentes, recomendaciones y perspectivas de desarrollo por parte de usuarios-expertos (especialistas, investigadores, técnicos de brigadas en campo). En función del grado de conocimiento y experiencia se procede a introducir un criterio integral evaluado en un rango de 10 unidades basado en los siguientes criterios: K_1 – Desviación de medición de pH, K_2 – Periodicidad de recolección de muestras, K_3 – Velocidad de trasmisión de datos al laboratorio terrestre, K_4 – Área de monitoreo cubierta, K_5 – Cambio de condiciones climáticas, K_6 – Capacidad de sensado de parámetros adicionales de fuentes hídricas, K_7 – Desviación en determinación de coordenadas de toma de muestras, K_8 – Profundidad en la toma de muestras, K_9 – Costo de operación de tecnología, K_{10} – Requerimientos especiales en la formación del usuario-operador.

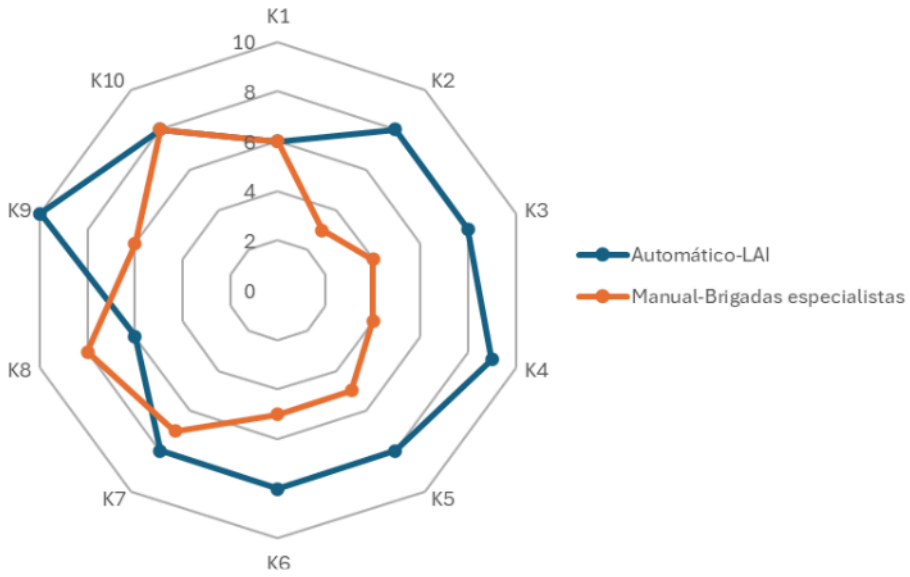


Fig. 9. Evaluación de la calidad de monitoreo de recursos hídricos

En la Fig. 9. se presenta un diagrama radial de evaluación de la calidad de monitoreo de recursos hídricos a través de los métodos manual (brigadas de especialistas) y automático (LAI) en función de la información registrada por parte de los expertos. El criterio integral de calidad I_j de los métodos registrados puede ser evaluado en función de la siguiente expresión:

$$I_j = \sum_{i=1}^{10} \frac{K_P^i}{K_p^{max}} \cdot \eta_{ij} \qquad (4)$$

donde, $_j$ – método de monitoreo; $0{,}5 < \eta_{ij} \leq 1$ – coeficiente de competencia de expertos; K_P^i, K_p^{max} – valores promedio y máximo registrado del criterio K_i

El resultado del análisis demuestra que el criterio integral de evaluación de expertos para el método automático (0,84) supera en 1,75 veces el criterio integral para el método manual (0,48). El rango de valuación del coeficiente integral I_i se encuentra en un rango de 0 (mínimo) a 1 (máximo). La información obtenida corresponde a un coeficiente de competencia de expertos de 0,9 unidades.

Conclusiones

En este artículo se ha realizado la propuesta de una estrategia de monitoreo operativo remoto a través de la implementación de un laboratorio aéreo inteligente para evaluación de propiedades de recursos hídricos en la Amazonía del Ecuador. Adicionalmente, se ha realizado una breve descripción de los criterios para la planificación de una tarea de monitoreo en la zona de Fátima, provincia de Pastaza. El diseño estructural del LAI basado en el uso de un RPA tipo convertiplano y un sistema de recolección de muestras se ha considerado. A fin de garantizar misiones remotas autónomas de evaluación de recursos hídricos, una arquitectura de hardware y software basada en criterios de operabilidad de largo alcance, así como de estrategias de control robusto se integran en una interfaz HMI. La implementación en campo de las principales funcionalidades del LAI ha permitido maximizar la frecuencia y cobertura de monitoreo, contrastar resultados obtenidos de forma remota y manual por brigadas, conocer limitaciones tecnológicas existentes, minimizar errores y garantizar la generación de datos e información precisa a través de la estandarización de procedimientos bajo apoyo de especialistas del área de conservación ambiental. A futuro se considera mejorar el mecanismo del sistema de recolección de muestras de agua, actualmente el líquido es depositado en envases distintos, pero su absorción en los puntos de control ocurre a través del sistema general de mangueras, lo cual conlleva a la acumulación de residuos en sus paredes, alterando la composición del líquido recolectado y en consecuencia a los resultados de laboratorio. Adicionalmente se llevará a cabo la implementación de sensores para la evaluación de niveles de temperatura y oxígeno dentro del cuerpo acuático, así como de una cámara térmica, la cual permita realizar de forma paralela un monitoreo visual de las fuentes hídricas, identificando el cambio de temperatura como factor para determinar descargas de aguas residuales, así como para evaluar la dinámica de desplazamiento de especies acuáticas para su conservación.

Referencias

1. Organización de las Naciones Unidas: Derecho a un medio ambiente limpio, saludable y sostenible. https://www.ohchr.org/es/documents/thematic-reports/ahrc4953-right-clean-healthy-and-sustainable-environment-non-toxic. Accedido el 24 de Febrero de 2024.

2. Sánchez A.A., Tello L.L.: La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador. Revista Visión Contable, pp. 37-47 (2023).

3. Chamorro W. P., Sarduy-Pereira L. B., et al.: Gestión de los residuos sólidos en áreas rurales, un análisis de una parroquia de la amazonia ecuatoriana. I+ D Tecnológico, 1(19). (2023).

4. Galarza E., Cabrera M., et. al.: Assessing the quality of amazon aquatic ecosystems with multiple lines of evidence: the case of the Northeast Andean foothills of Ecuador. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, pp. 52-61 (2020).

5. Sorribas, M. V., et al.: Hydrological tracking model for Amazon surface waters. Water Resources Research, 9, e2019WR024721 (2020).

6. Goerner A., Gloaguen R., Makeschin F.: Monitoring of the Ecuadorian mountain rainforest with remote sensing. Journal of Applied Remote Sensing, 1(1), 013527 (2007).

7. Santos F., Meneses P., Hostert P.: Monitoring long-term forest dynamics with scarce data: a multi-date classification implementation in the Ecuadorian Amazon. European Journal of Remote Sensing, 52, p. 62-78 (2019).

8. Valencia E., Palma K., Changoluisa I., et al.: Wetland monitoring through the deployment of an autonomous aerial platform. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1(32), 012002 (2019).

9. Abril Saltos, R.V., et. al.: Caracterización preliminar de calidad de aguas en subcuenca media del río Puyo. Ingeniería Hidraúlica y Ambiental, 38(2), 59-72 (2017).

10. Jatsun S., et al.: Modeling and control architecture of an autonomous mobile aerial platform for environmental monitoring. IEEE International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS), Quito, Ecuador, p. 177-182 (2019).

11. Martinez Leon, A. S., Mosquera Morocho, L.M., Emelyanova O.: Control System of Small-Unmanned Aerial Vehicle for Monitoring Sea Vessels on Coastal Territory of Ecuador. Frontiers in Robotics and Electromechanics, Springer, 1(2), p. 295-314.

12. Martínez León A.S., Rukavitsyn A. N., Jatsun S. F.: Topology optimization of a UAV airframe. 6th International Conference on Industrial Engineering, p. 338-346 (2021).

13. Emelyanova O., et. al: The synthesis of electric drives characteristics of the UAV of "convertiplane-tricopter" type. In: MATEC Web of Conferences, 99, 02002 (2017).

14. Mellinger D., Kumar V.: Control and Planning for Vehicles with Uncertainty in Dynamics. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 960-965 (2010).

15. Rinaldi M., Primatesta S., Guglieri, G.: A comparative study for control of quadrotor UAVs. Applied Sciences, 13(6), 3464 (2023).

16. Bao N., Ran X., Wu Z., et al.: Research on attitude controller of quadcopter based on cascade PID control algorithm. IEEE 2nd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), pp. 1493-1497 (2017).

17. Zenkin A., et al.: Quadcopter Simulation Model for Research of Monitoring Tasks. Proceedings of 26th Conference of Open Innovations Association, pp. 449-457 (2020).

18. Jatsun S., Emelyanova O., Martinez Leon A., Mosquera Morocho L.: Controlled Adaptive Flight of a Convertiplane Type Tricopter in Conditions of Uncertainty for Monitoring Water Areas. IEEE International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), pp. 1-7 (2020).

19. Krzysztofik I., Koruba Z.: Analysis of Quadcopter Dynamics During Programmed Movement Under External Disturbance. Nonlinear Dynamics and Control, Springer, Cham, pp. 177-185 (2020).

20. Cheng H., Yang, Y.: Model predictive control and PID for path following of an unmanned quadrotor helicopter. IEEE 12th Conference on Industrial Electronics and applications, pp. 768-773 (2017).

21. Jatsun S., et al.: Hovering control algorithm validation for a mobile platform using an experimental test bench. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1(1027), 012008 (2021).

22. Doukhi O., Fayjie A., Lee D.: Intelligent controller design for quad-rotor stabilization in presence of parameter variations. Journal of Advanced Transportation (2017).

23. Martins L., Cardeira C., Oliveira P.: Feedback Linearization with Zero Dynamics Stabilization for Quadrotor Control. Intelligent & Robotic Systems 1(101), pp. 1-17 (2021).

24. Casado R., Bermudez A.: Simulation Framework for Developing Autonomous Drone Navigation Systems. Journal Electronics 1(10), 7 (2021).

25. Dim C., Nabor F., Santos G., et al.: Novel Experiment Design for Unmanned Aerial Vehicle Controller Performance Testing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing 1(533), 012026 (2019).

26. Flores-Ruiz E., et al.: The research protocol VI: How to choose the appropriate statistical test. Inferential statistics. Journal Alerg Mex., 3(64), pp. 364-370 (2017).

27. Bautista-Díaz M.L., et al.: Pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas: su clasificación, objetivos y características. Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 9 (17), pp. 78-81 (2020).

28. Universidad del Pacífico: Guía práctica de SPSS para diseños paramétricos y no paramétricos. https://cliic.org/2020/Taller-Normas-APA-2020/Guia-Estadistica-PACIFICO_c.pdf. Accedido el 01 de Marzo de 2024.

VOL. 6 Nº2 - 2024

IBARRA - ECUADOR

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Engineering and Applied Science

IDEAS

Guardián Comunitario:Innovación en seguridad y respuesta rápida a emergencias

http://doi.org/10.53358/ideas.v6i2.993

Rommel Parra Logroño, Cristian Guayanlema Fajardo, Nancy Montoya Ramírez
Instituto Universitario Misael Acosta
rparra@istmas.edu.ec, cguayanlema@istmas.edu.ec , nmontoya@istmas.edu.ec

Fecha de envío, diciembre 27/2023 - Fecha de aceptación, junio 10/2024 - Fecha de publicación, julio 15/2024

Resumen: El presente trabajo se enfoca en el desarrollo de una aplicación móvil tipo botón de pánico para satisfacer las necesidades de seguridad y respuesta rápida a emergencias en la comunidad de Ainche, provincia de Chimborazo. Para la investigación se utilizó una investigación de campo, para analizar la importancia de la aplicación y la satisfacción de los usuarios; también, se realizó una investigación bibliográfica sobre metodologías de desarrollo de software ágiles. Guardián Comunitario es una aplicación móvil desarrollada bajo la metodología SCRUM, que aporta a la seguridad y emergencias de la comunidad. Para evaluar su impacto se desarrolló una encuesta de satisfacción en donde el 60% de los encuestados considera que el aplicativo es sencillo de utilizar; el 80% percibe una mejora en la comunicación entre comuneros y servicios de emergencia; asimismo, el tiempo de respuesta a las emergencias se redujo de 20 a 10 minutos.

Palabras Clave: Aplicación Móvil, Calidad, Metodología de Desarrollo, SCRUM, Seguridad

Abstract: This work focuses on the development of a mobile panic button application to meet the security and rapid emergency response needs of the Ainche community in Chimborazo province. Field research was conducted to analyze the importance of the application and user satisfaction; additionally, a bibliographic review was carried out on agile software development methodologies. Guardian Comunitario is a mobile application developed using the SCRUM methodology, which contributes to the community's security and emergency response. To evaluate its impact, a satisfaction survey was conducted, showing that 60% of respondents consider the application easy to use; 80% perceive an improvement in communication between community members and emergency services; furthermore, the response time to emergencies was reduced from 20 to 10 minutes.

Keywords: Mobile Application, Quality, Development Methodology, SCRUM, Security

Autor de correspondencia:
Nancy Montoya Ramírez, nmontoya@istmas.edu.ec

CC BY NC ND

Introducción

En los últimos años la seguridad ciudadana ha sido unos de los inconvenientes con los que han tenido que lidiar los gobiernos, especialmente porque pese a la implementación de leyes y políticas, la inseguridad sigue creciendo en el país, mostrando la deficiencia en cuanto a la lucha contra el crimen organizado y dejando en la indefensión a la sociedad [1]. Es así que, en las áreas rurales, la organización comunitaria desempeña un papel crucial para garantizar la seguridad, las comunidades se mantienen en constante comunicación y colaboración para hacer frente a cualquier situación de emergencia que pueda surgir; la seguridad y protección de los ciudadanos son aspectos fundamentales para asegurar una calidad de vida adecuada en la sociedad en general [2].

Ecuador ha visto un aumento en los delitos, la delincuencia ha escalado de manera sorprendente, en los últimos cinco años, de tal forma que los ciudadanos perciben que ya no hay un lugar ni hora segura para realizar sus actividades cotidianas. De acuerdo a datos de la Fiscalía General del Estado 2023, en la provincia de Chimborazo lo que va del año 2023 se han incrementado los robos a domicilio, a personas y; de bienes accesorios y autopartes, en un número de 103, 368 y 110 respectivamente, con un porcentaje de no flagrancia que oscila entre el 95 y 100%.

En la era actual de la tecnología, la interconexión global ha alcanzado niveles sin precedentes, gracias a los avances en dispositivos móviles que ofrecen prestaciones similares a las de un computador; su uso se ha convertido en un fenómeno generalizado en la sociedad, con una amplia variedad de opciones disponibles en el mercado. En cuanto al sistema operativo según estadísticas especializadas en Android, se estima que existen alrededor de 3 millones de aplicaciones solo en esta plataforma [3]. Asimismo, el 69% de la población se está familiarizando con el uso de aplicaciones móviles; por otra parte, según las cifras del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC 2021, el analfabetismo digital en el 2020 disminuyó el 1.2% a nivel nacional y 3.2% a nivel rural con relación al año 2019, lo que evidencia el interés de las personas por hacer mayor uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) [4].

Las aplicaciones móviles representan una solución para aquellos usuarios que viven en zonas rurales a través de la combinación de sus teléfonos celulares inteligentes con geolocalización, donde los tiempos de respuesta a emergencias son más largos de lo normal, y los dispositivos móviles se presentan como una opción para solicitar ayuda en situaciones críticas [5]. En el contexto de estos avances tecnológicos, la georreferenciación se ha convertido en un recurso fundamental, permitiendo conocer la ubicación exacta de un punto en la superficie terrestre. Además de servir como una guía para navegar por calles y lugares, la georreferenciación se ha consolidado como una herramienta de seguridad, proporcionando información en tiempo real sobre la ubicación de una persona a través de su dispositivo móvil.

En la provincia de Chimborazo, la comunidad de Ainche al igual que muchas otras áreas rurales, se enfrenta a notables desafíos relacionados con la seguridad y protección de sus habitantes; uno de los principales problemas radica en el incremento de las tasas de delincuencia, donde la falta de seguridad en las calles y espacios públicos pueden dar lugar a diversos delitos, como robos, asaltos, vandalismo, lo que afecta directamente la tranquilidad y calidad de vida de los habitantes. Al igual que muchas otras comunidades se caracteriza por estar bien organizada y contar con una alarma o campana que se activa

tanto para reuniones como para situaciones de emergencia. Sin embargo, a pesar de esta organización, el tiempo de respuesta ante una emergencia podría no ser el más adecuado debido a la falta de información precisa sobre la razón de la activación de la alarma.

Ante esta realidad, surge una clara necesidad de desarrollar soluciones innovadoras que mejoren la seguridad y brinden tranquilidad a los pobladores; el desarrollo de una aplicación móvil tipo botón de pánico se vislumbra como una opción viable y efectiva para abordar estos desafíos., ya que no solo permitiría a los ciudadanos solicitar ayuda en caso de emergencia, sino que también facilitaría una comunicación eficiente entre los miembros de la comunidad y las autoridades locales, obteniendo una respuesta más rápida y efectiva ante situaciones críticas. La presente investigación tiene como objetivo desarrollar e implementar una aplicación móvil que satisfaga las necesidades de seguridad y respuesta rápida a emergencias en las áreas rurales de la provincia de Chimborazo, específicamente en la comunidad de Ainche, contribuyendo al fortalecimiento de su seguridad y bienestar; al tiempo que ofrece una solución innovadora y efectiva que les permitirá estar preparados y prevenidos.

El desarrollo de aplicaciones móviles permite a los usuarios realizar tareas cotidianas ya sean de entretenimiento, laboral o de ayuda social en cuanto a seguridad, por lo que se visibiliza la necesidad de producir software de calidad, para lo cual se han desarrollado múltiples metodologías ágiles que buscan perfeccionar procesos a partir de buenas prácticas y métodos ágiles [6]. Desde una perspectiva de diseño y desarrollo, las metodologías ágiles deben garantizar la satisfacción del cliente, la aceptación de los cambios de requisitos, la colaboración entre desarrolladores y clientes, la resolución proactiva de problemas, la comunicación en equipo y la simplicidad en el proceso de desarrollo [7].

El diseño de la aplicación móvil debe proporcionar una experiencia de usuario intuitiva y efectiva, operativamente debe ser diseñada de forma cuidadosa para que los usuarios puedan interactuar fácilmente con la aplicación y acceder a las funcionalidades de manera rápida y segura. Entre las consideraciones de diseño están la utilización de una paleta de colores adecuada para transmitir una sensación de seguridad y calma, diseño limpio y minimalista para mejorar la usabilidad y la legibilidad de la información, utilización de íconos claros y reconocibles para facilitar la navegación y la comprensión de las funciones de la aplicación, fuentes y el tamaño del texto deben ser legibles, especialmente en situaciones de emergencia donde la claridad es fundamental y; por último, pruebas de usabilidad con usuarios [8]. Finalmente, el desarrollo de una aplicación móvil de calidad que aporte a la seguridad y respuesta rápida a emergencias brindará muchos beneficios a la comunidad, como el acceso inmediato a la ayuda con solo presionar un botón, la capacidad de geolocalización para ubicar a los afectados, la comunicación efectiva entre los comuneros, la sensación de seguridad y la adaptabilidad continua para abordar las cambiantes necesidades de seguridad de la comunidad.

Preparación de la contribución

Para el desarrollo de la investigación se utilizó una metodología mixta, para de esta forma presentar los elementos teóricos, tecnológicos y metodológicos; asimismo, la investigación de campo permitió realizar las encuestas y las pruebas piloto que se aplicaron para así analizar la importancia de la aplicación móvil y la satisfacción de los usuarios en cuanto a su funcionalidad y usabilidad; por otra parte, se realizó una investigación bibliográfica sobre metodologías de desarrollo de software ágiles para aplicaciones móviles. La población en

este estudio estuvo representada por 70 familias de la comunidad de Ainche, provincia de Chimborazo, se seleccionó una muestra representativa de forma aleatoria, considerándose a los denominados cabeza de familia en un número de 50.

Se empezó con un análisis de necesidades de seguridad de la comunidad a través de encuestas, los datos recopilados se analizaron mediante métodos estadísticos y técnicas de análisis cuantitativo, se tuvieron consideraciones éticas durante el desarrollo de la aplicación móvil en cuanto a la obtención de consentimiento informado de los participantes antes de su colaboración en el estudio, garantizando la confidencialidad y privacidad de los datos recopilados cumpliendo las regulaciones y normativas vigentes relacionadas con la protección de datos y ética de la investigación.

En cuanto al desarrollo de la aplicación móvil fue bajo sistema operativo Android, como todo software necesita de una guía que abarque elementos que se relacionen con la calidad; por lo que se hizo énfasis en el uso de las metodologías de desarrollo ágiles debido a las ventajas que éstas ofrecen ante los cambios; en este contexto se realizó un estudio comparativo entre Extreme Programming, Rational Unifed Process, Mobile-D, Kanban y SCRUM. Por otra parte, para la construcción del aplicativo se consideraron las siguientes herramientas: Android Studio como entorno de desarrollo integrado. Kotlin como lenguaje de programación orientado a objetos, Firebase como plataforma de desarrollo de aplicaciones móviles de Google utilizada para los registros de usuarios, base de datos, notificaciones; así también la API de Google Maps y de OpenRouteService; una vez seleccionadas se procedió a su instalación.

Para la obtención de resultados, se inicia con la aplicación de una encuesta a 50 representantes de la comunidad de Ainche para conocer la percepción de seguridad y el interés por la implementación de un aplicativo móvil, así como la importancia que representa contar con un servicio de este tipo. Es de resaltar que a pesar que los encuestados no tienen conocimiento sobre el uso de este tipo de herramientas la consideran importante y necesaria. Asimismo, es menester mencionar que solamente se presentan las figuras de 4 preguntas tanto de la encuesta realizada antes y después de la implementación del aplicativo móvil.

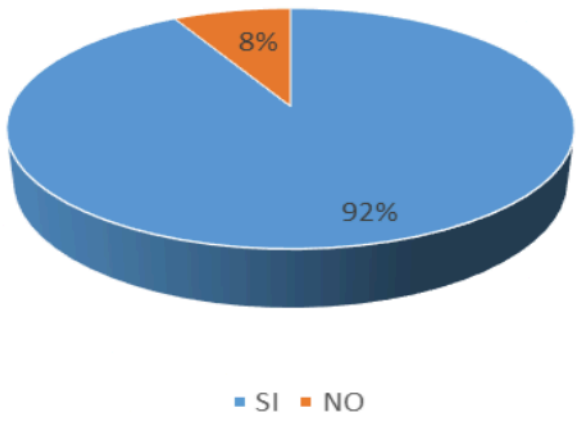


Fig. 1. Una gráfica que representa el porcentaje de personas que indican que una aplicación móvil mejoraría la seguridad en la comunidad.

De acuerdo a los resultados, en cuanto a la percepción de seguridad de las personas en la comunidad de Ainche muestran que el 66% de los encuestados se sienten inseguros y que esta se debe a los continuos robos ya que el 82% de la población ha sido víctima o testigo de algún tipo de incidente de inseguridad en los últimos meses. Por otra parte, el 92% de los encuestados considera que la implementación de una aplicación tipo botón de pánico mejoraría la seguridad y están dispuestos a instalar un aplicativo de este tipo en sus celulares.

Por consiguiente, la implementación de la aplicación móvil es de suma importancia para abordar las preocupaciones de seguridad expresadas por la mayoría de los encuestados, permitiendo a los residentes de Ainche tener una herramienta para solicitar ayuda rápidamente en situaciones de emergencia y mejorar la sensación de seguridad en la comunidad. En cuanto a la metodología de desarrollo, para la comparación se tomó en cuenta la clasificación realizada por [6], buscando criterios generales de calidad en las metodologías Extreme Programming, Rational Unifed Process, Mobile-D, Kanban y SCRUM. Primero se realizó una tabla indicando las ventajas y desventajas de cada uno de las metodologías seleccionadas, la misma que se muestra a continuación:

Tabla 1. Ventajas y desventajas de metodologías de desarrollo.

Metodología	Ventajas	Desventajas
Extreme Programming	Programación organizada Tasa de errores muy pequeña Fomenta la comunicación entre los clientes y los desarrolladores	Si existen fallas, las comisiones son muy altas Requiere de un rígido ajuste a los principios de XP No siempre es más fácil que el desarrollo tradicional
Rational Unifed Process	Proceso de desarrollo más general de los existentes Enfocada en obtener un producto de calidad Los roles pueden ser reutilizados en proyectos futuros	Grado de complejidad alto Elevado costo de producción No aplicable para proyectos pequeños
Mobile-D	Bajos costos de aplicación La producción se garantiza en el tiempo establecido Continua retroalimentación del cliente	No aplicable a proyectos grandes Carece de procesos que garanticen la calidad en los resultados Depende de buena comunicación entre los miembros del equipo
Kanban	Evita los excesos de producción Responsables con los tiempos de entrega Optimización en la gestión de tareas	No es escalable a proyectos grandes Tiene un rendimiento limitado No existe definición de roles

SCRUM	Gestiona las expectativas del usuario Resultados parciales por proceso Sistema jerárquico de actividades Gestión de riesgos Flexibilidad y adaptación a cualquier área Trabaja con iteraciones y segmenta el objetivo a entregar Visión holística del proyecto, fortaleciendo el equipo de trabajo y sus miembros	Se aplica a equipos reducidos Exhaustiva definición de tareas Difícil escalabilidad

De la tabla anterior se deduce que, de acuerdo al contexto y especificaciones de la implementación de Guardia Comunitario, la metodología que le brinda mayores beneficios se obtiene de la metodología SCRUM. Por otra parte, se comparó las estructuras y requisitos, los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Comparación entre metodologías de desarrollo.

Descripción	Metodologías				
	Extreme Programming	Rational Unifed Process	Mobile-D	Kanban	SCRUM
Enfoque	Iterativo – Incremental	Iterativo – Incremental	Ciclos cortos y rápidos	Incremental y gestión de tareas	Iterativo, existen iteraciones de longitud fija (sprints)
Alcance del proyecto	Proyectos grandes	Proyectos cortos y medianos	Proyectos cortos y medianos	Proyectos medianos y grandes	Aplicable a cualquier tamaño
Relación cliente/ proyecto	Directa	-	-	Discreta	Mediados por el director del proyecto
Tamaño del equipo	Menos de 20 personas	Menos de 7 personas	Menos de 11 personas	Se adapta a cualquier tamaño	Se adapta a cualquier tamaño

Al comparar las metodologías en cuanto a estructura y requisitos se observa que SCRUM se aplica a cualquier tamaño del proyecto y que existe un mediador entre el cliente y proyecto. Esto tiene un gran impacto a la hora de seleccionar la metodología, puesto que en algunos casos la aplicación de un marco de trabajo resulta costoso a pesar de ser un proyecto pequeño [4].

Así también, se manifiesta que de acuerdo a la revisión de literatura realizada, para desarrollar aplicaciones móviles durante la pandemia se obtuvieron los siguientes resultados: SCRUM con un 34%, prototipado con 29%, Mobile-D con 8% y RUP con 4%, lo que indica que la metodología más utilizada es SCRUM; asimismo, más del 50% de los artículos revisados desarrollan sus aplicaciones móviles para dispositivos Android, concluyendo que este sistema operativo es muy utilizado por la población [9].

Después del análisis de las distintas metodologías de desarrollo, quién se ajusta a las necesidades del proyecto y del investigador tomando las siguientes consideraciones es la metodología SCRUM ya que se enfoca a aplicaciones móviles, así como también se adecúa a cualquier tamaño de proyecto sea este grande o pequeño, además de su adaptación y flexibilidad a diferentes áreas; el estilo de desarrollo es iterativo utilizando sprints lo que permite obtener y lanzar un producto de calidad. Con la metodología seleccionada se implementó Guardián Comunitario el mismo que pretende ser un apoyo a la seguridad y respuesta rápida a emergencias en la comunidad Ainche.

Se desarrollaron cinco sprints: Sprint 0: Planificación del proyecto, donde se definieron los objetivos, el equipo de desarrollo y las características a implementar, más la elección de las herramientas a utilizar.

Sprint 1: Diseño de Interfaces: En cuanto al diseño de interfaces, la aplicación móvil fue realizada de manera que los usuarios puedan interactuar fácilmente y acceder a las funcionalidades de forma rápida y segura, utilizando colores que transmitan sensación de seguridad y calma, diseño minimalista, íconos claros, fuente y tamaño de textos legibles ya que en situaciones de emergencia la claridad es fundamental.

Sprint 2: Implementación de autenticación: Se implementó la lógica de validación, conexión con Firebase authentication para conectar las pantallas de login, registro y recuperación de cuentas. Asimismo, se implementó la lógica para gestionar las sesiones de usuario de manera segura; finalmente, se diseñó la página principal de la aplicación teniendo en cuenta la importancia y urgencia de las funciones que ofrece la aplicación para situaciones de emergencia.

Sprint 3: Funcionalidades principales: En este sprint se implementaron las funcionalidades principales referentes a la respuesta a emergencias; es decir, la integración de la API de Google Maps y OpenRouteService para la geolocalización y la trazabilidad de las rutas a lugares de emergencia; se incluyeron las funciones de alerta y notificación para situaciones críticas, los apartados para mensajes, ubicación y llamada a emergencias en la página principal, colocados en lugares estratégicos. En la página principal asocia la acción de enviar alerta a todos los usuarios, se envía un mensaje de alerta a todos los usuarios registrados, en el mensaje se incluye datos relevantes y su posición actual, cuando un usuario recibe una alerta muestra una notificación en su dispositivo, al hacer clic abre la aplicación y muestra la ubicación exacta del usuario que ha pedido auxilio en el mapa, trazando una ruta desde la ubicación del receptor hasta la ubicación de la persona en peligro.

En cuanto a las llamadas de emergencia, en la página principal se ha diseñado e incorporado un botón de llamada de emergencias claramente identificable; este botón es de color rojo y contiene el icono universalmente reconocido para una llamada de emergencias claramente identificable. Antes de permitir que el usuario realice una llamada la aplicación solicita el permiso correspondiente en tiempo de ejecución, lo que es necesario para cumplir con las políticas de privacidad y garantizar que el usuario otorgue su consentimiento. Cada vez que un usuario realice una llamada se registra información como la fecha, hora, ubicación y datos del usuario; para evitar malentendidos y permitir una evaluación del uso de esta función, se han incorporado opciones de confirmación y registro de eventos.

Asimismo, se establecieron medidas de seguridad para proteger los datos de los usuarios, como el almacenamiento seguro de contraseñas y la autenticación de usuarios; por último, las pruebas y lanzamiento, para lo cual se realizó una evaluación post entrega, a través de una encuesta de satisfacción.

Sprint 4: Pruebas y refinamiento: Se consideraron pruebas de usabilidad para garantizar que la aplicación móvil sea intuitiva y responda adecuadamente a las necesidades de la comunidad de Ainche.

Sprint 5: Lanzamiento y evaluación: Tras varias semanas de la implementación del aplicativo Guardián Comunitario, se llevó a cabo una encuesta de satisfacción para evaluar el desempeño del mismo, los resultados fueron los siguientes:

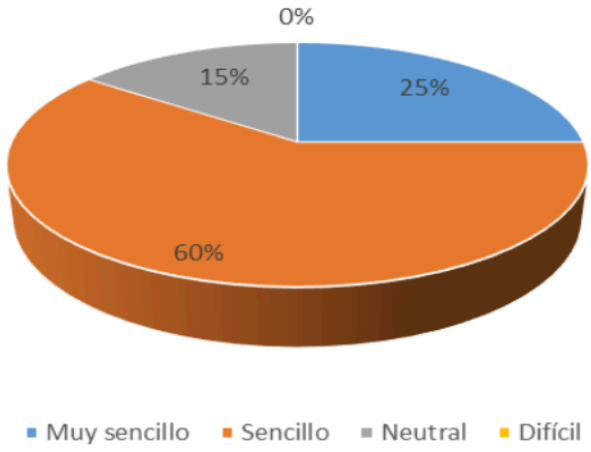


Fig. 2. Una gráfica que representa que tan sencillo es el uso del aplicativo

El 60% de los encuestados considera que el aplicativo es sencillo de utilizar; asimismo, el 50% lo ha utilizado en alguna emergencia, lo que indica que existe una adopción efectiva de la aplicación y que los residentes han recurrido a ella en momentos críticos para solicitar ayuda o asistencia.

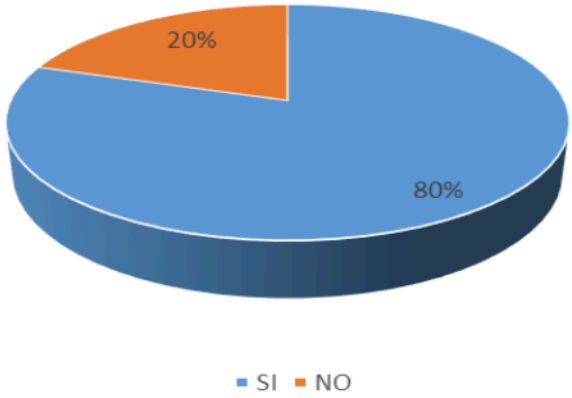


Fig. 3. Una gráfica que representa la comunicación entre comuneros y servicios de emergencia

En la encuesta se consideró la eficiencia de la comunicación entre comuneros y servicios de emergencia en donde el 80% percibió una mejora en la comunicación, lo que permite tener una sensación de seguridad en la comunidad, es decir; el 60% afirmó que la aplicación ha contribuido a mejorar la percepción de seguridad, lo que implica que los residentes se sienten protegidos y confiados en que pueden acceder a ayuda en caso de cualquier situación de riesgo. Así también, el 80% de los encuestados afirman que el aplicativo Guardián Comunitario ha tenido un impacto positivo en la seguridad de la comunidad en general, ha sido efectivo en situaciones de emergencia, permitiendo comunicación eficiente con otros comuneros y servicios de emergencia.

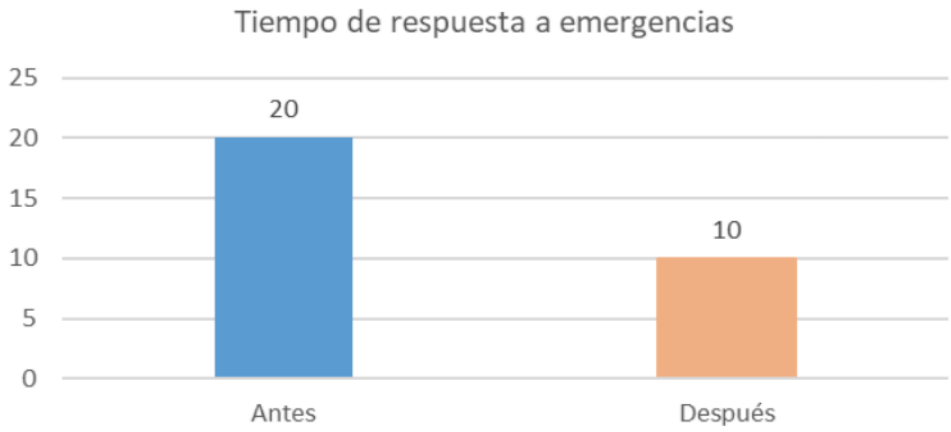


Fig. 4. Una gráfica que representa el tiempo de respuesta a emergencias

Por otra parte, los tiempos de respuesta bajaron, de 20 minutos entre que la comunidad conocía de la emergencia y la llegada de las autoridades, a 10 minutos en donde los comuneros conocen de la problemática, se organizan y la enfrentan.

A continuación, se muestra las pantallas principales de Guardián Comunitario

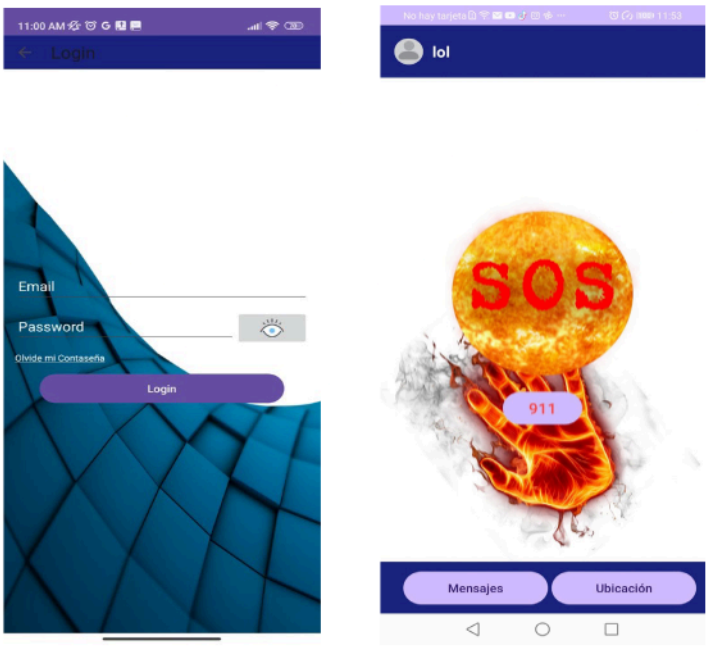


Fig. 5. Una gráfica que representa las pantallas de inicio de sesión y principal de Guardián Comunitario

Es importante considerar las aplicaciones similares a Guardián Comunitario, al analizarlas se concluye que estas herramientas son efectivas en la mejora de la seguridad y la respuesta a emergencias en diversas comunidades. No obstante, se debe destacar que el éxito de la aplicación se dio gracias a la adaptación a las necesidades específicas y condiciones de un área en particular, tomando factores como la infraestructura de respuesta a emergencias, conectividad y características geográficas. Es necesario mencionar que la retroalimentación continua de los usuarios y la capacidad de ajustar la aplicación en función de sus sugerencias son elementos esenciales para garantizar su efectividad a largo plazo y su relevancia dentro de la comunidad.

Conclusiones y trabajos futuros

Las aplicaciones móviles para seguridad y respuesta rápida a emergencias promueven un sentido de comunidad y colaboración en las zonas rurales, ya que permiten que los habitantes se ayuden mutuamente y se mantengan conectados con las autoridades y servicios de emergencia, creando un ambiente más seguro y un mayor empoderamiento dentro de la comunidad.

SCRUM, con su enfoque ágil y colaborativo ha permitido un desarrollo más eficiente y adaptativo logrando avanzar en la creación de una aplicación móvil que puede marcar una diferencia en la seguridad de las personas y la respuesta a situaciones críticas. La retroalimentación de los interesados y la capacidad de realizar ajustes sobre la marcha han sido decisivos para garantizar que la aplicación cumpla con las expectativas y necesidades cambiantes de la comunidad.

Los resultados de la encuesta de satisfacción una vez implementado "Guardián Comunitario" indican que la aplicación ha sido bien recibida y ha tenido un impacto positivo en la seguridad y la respuesta a emergencias en la comunidad. Que el 60% de los encuestados considere que el aplicativo es sencillo de utilizar sugiere que se ha logrado una interfaz amigable y accesible para los habitantes; además, que el 50% haya utilizado la aplicación en situaciones de emergencia demuestra que la comunidad confía en ella como una herramienta efectiva para solicitar ayuda.

El desarrollo de "Guardián Comunitario" sobre la plataforma Android busca que su primera versión sea actualizada y mejorada; además, que sea aporte a la comunidad desde la academia específicamente en el área de seguridad y emergencias ya que por diversos motivos las áreas rurales no cuentan con este tipo de servicios o las respuestas a los mismos suelen tardar mucho.

Agradecimientos. Al Instituto Superior Tecnológico Dr. Misael Acosta Solís por el apoyo brindado para la consecución de esta investigación, a los compañeros y estudiantes que nos guiaron y colaboraron en el desarrollo del proyecto.

Referencias

1. C. Mella, "La inseguridad en Ecuador escala a niveles históricos y se impone como prioridad del próximo gobierno," El país, 10 Julio 2023. [En línea]. Disponible: https://elpais.com/internacional/2023-07-10/la-inseguridad-en-ecuador-escala-a-niveles-historicos-y-se-impone-como-prioridad-del-proximo-gobierno.html. Accedido el 25 Agosto 2023.

2. D. Bonilla y S. Vizcarra, "Inseguridad y mecanismos barriales de protección en el Perú," Revista Latinoamericana de Estudios de Seguridad, 20 Octubre 2016. [En línea]. Disponible: https://revistas.flacsoandes.edu.ec/urvio/article/view/2401/1551. Accedido el 5 Septiembre 2023.

3. Aishwar, "Estadísticas de Android 2023," Jitendra Vaswani, 26 Julio 2023. [En línea]. Disponible: https://jitendra.co/es/android-statistics/. Accedido el 2 Octubre 2023.

4. J. Acosta, A. León y W. Sanafria, "Las aplicaciones móviles y su impacto," Scielo, Marzo 2022. [En línea]. Disponible: http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v14n2/2218-3620-rus-14-02-237.pdf. Accedido el 12 Septiembre 2023.

5. Universidad de Antioquia, "Tecnologías móviles y servicios de información en áreas rurales," Dspace Universidad 2017. [En línea]. Disponible: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/8864/1/Casta%c3%b1edaIsabel_2017_TecnologiasMovilesServicios.pdf. Accedido el 2023.

6. J. Molina, J. Honores, N. Pedreira y H. Pardo, "Comparativa de metodologías de desarrollo de aplicaciones móviles" 3Ciencias, Septiembre 2021. [En línea]. Disponible: https://3ciencias.com/wp-content/uploads/2021/06/art.3_3C-Tecnologi%CC%81a-Ed.38-vol.10-n.2-1.pdf. Accedido Agosto 2023.

7. O. Capuñay y J. Antón, "Influencia de SCRUM en los plazos de entrega y rendimiento en los proyectos de las asignaturas de Desarrollo de Software," Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en tecnología, 20 Marzo 2021. [En línea]. Disponible: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-99592021000200005. Accedido Septiembre 2023.

8. M. García, "Importancia de user experience en el diseño de Apps Móviles," Es Design, 6 Septiembre 2019. [En línea]. Disponible: https://www.esdesignbarcelona.com/actualidad/diseno-web/importancia-de-user-experience-en-el-diseno-de-apps-moviles. Accedido Octubre 2023.

9. A. Camacho, "Estudio comparativo de metodologías de desarrollo de software para aplicaciones móviles," Universidad Nacional de Loja, 2022. [En línea]. Disponible: https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24728/1/AndyAron_CamachoHerrera.pdf. Accedido Octubre 2023.


EDITORIAL
UTN
IBARRA - ECUADOR


latindex


Google Scholar


Crossref


RERCIE
Red de Editores y Revistas Científicas Ecuatorianas


MIAR
Matriz de Información para el
Análisis de Revistas


ORCID
stands for
Open Researcher and Contributor ID


BY NC ND