



ISSN: 1646-9895

Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información

M a r ç o 2 5 • M a r c h 2 5



©RISTI 2025 <http://www.risti.xyz>

Nº 57

Edição / Edición

Nº 57, 03/2025

Tiragem / Tirage: 1000

Preço por número / Precio por número: 17,5€

Subscrição anual / Suscripción anual: 30€ (2 números)

ISSN: 1646-9895

Depósito legal:

Indexação / Indexación

Academic Journals Database, CiteFactor, Dialnet, DOAJ, DOI, EBSCO, GALE, IndexCopernicus, Index of Information Systems Journals, ISI Web of Knowledge, Latindex, ProQuest, QUALIS, SciELO, SCImago, SIS, Ulrich's.

Publicação / Publicación

RISTI – Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação

Pc. 9 de Abril, 26, 4200-422 Porto, Portugal

E-mail: aistic@gmail.com

Web: <http://www.risti.xyz>

Director

Álvaro Rocha, ISEG, University of Lisbon, PT

Coordenadores da Edição / Coordinadores de la Edición

Álvaro Rocha, ISEG, Universidade de Lisboa, PT

Conselho Editorial / Consejo Editorial

Abel Méndez, Technological Institute of Costa Rica, CR

Alejandro Peña, EAFIT University, CO

Alma Gomez-Rodríguez, University of Vigo, ES

Ana Rita Calvao, ESTGA, University of Aveiro, PT

Ania Cravero, Universidad de La Frontera, CL

António Abreu Silva, ISCAP, Polytechnic Institute of Porto, PT

Antonio Garcia, University of Santiago de Compostela, ES

António Godinho, ISEC, Polytechnic Institute of Coimbra, PT

Antonio Jiménez-Martín, Polytechnic University of Madrid, ES

Arturo J. Méndez, University of Vigo, ES

August Climent, Ramon LLull University, ES

Beatriz Rodríguez, Universidad de la Republica, UY

Borja Bordel, Polytechnic University of Madrid, ES

Brenda L. Flores-Rios, Universidad Autónoma de Baja California, MX

Bruno Miguel Ferreira Gonçalves, Polytechnic Institute of Braganca, PT

Carlos Alexandre Silva, Federal Institute of Minas Gerais, BR

Carlos Carreto, Polytechnic Institute of Guarda, PT

Carlos Morais, Polytechnic Institute of Braganza, PT

Carlos Rompante Cunha, UNIAG & CeDRI &

Polytechnic Institute Bragança, PT

Carlos Vaz de Carvalho, Polytechnic Institute of Porto, PT

Célio Marques, Polytechnic Institute of Tomar, PT

Ciro Martins, University of Algarve, PT

Concepción Damián-Hernández, Instituto Tecnológico

Superior de Misantla, MX

Cristina Caridade, Polytechnic Institute of Coimbra, PT

Daniel Poland, University of Aveiro, PT
Dante Carrizo, University of Atacama, CL
Edwin Cedeño Herrera, Universidad de Panamá, PA
Fabio Marques, ESTGA, University of Aveiro, PT
Felipe Vasquez, Universidad de La Frontera, CL
Fernando Moreira, REMIT, IJP, Portucalense University & IEETA,
University of Aveiro, PT
Fernando Paulo Belfo, Coimbra Business School – ISCAC,
Polytechnic Institute of Coimbra, PT
Fernando Ribeiro, Polytechnic Institute of Castelo Branco, PT
Fernando Bandeira, PT
Filipe Cardoso, Polytechnic Institute of Viseu, PT
Flor Gomes de María Sánchez Aguirre, Universidad César Vallejo, PE
Francisco Javier Lena-Acebo, University of Cantabria, ES
Gabriel Guerrero-Contreras, University of Cádiz, ES
Gerardo González Filgueira, University of A Coruña, ES
Gloria Valencia, Universidad de las Fuerzas Armadas, EC
Helder Gomes, University of Aveiro, PT
Helder Zagalo, University of Aveiro, PT
Hélia Guerra, University of the Azores, PT
Henrique Gil, Polytechnic Institute of Castelo Branco, PT
Henrique S. Mamede, Open University, Portugal
Inês Domingues, ISEC, Polytechnic Institute of Coimbra, PT
Isaias Bianchi, Federal University of Santa Catarina, BR
Ismael Etxeberria-Agiriano, Universidad del País Vasco, ES
Ivan Garcia, Universidad Tecnológica de la Mixteca, MX
Jeimy Cano, Universidad de los Andes, CO
John Emilio Almeida, ISTECH - Porto, PT
João Paulo Ferreira, Polytechnic Institute of Coimbra, PT
Roberto de Toledo Quadros, CEFET/RJ, BR
Joao Tavares, University of Porto, PT
Joaquim Reis, ISCTE - University Institute of Lisbon, PT
Jorge Eduardo Ibarra Esque, Universidad Autónoma de Baja California, MX

Jorge Hochstetter, Universidad de La Frontera, CL
José Álvarez-García, University of Extremadura, ES
Jose Felipe Cocon Juarez, Universidad Autónoma del Carmen, MX
José Lousado, Polytechnic Institute of Viseu, PT
José Luis Pastrana Brincones, University of Malaga, ES
Jose M. Molina, Carlos III University of Madrid, ES
José Ribeiro, Polytechnic of Leiria, PT
Jose Silvestre Silva, Military Academy, PT
Juan Angel Contreras Vas, University of Extremadura, ES
Juan M. Santos-Gago, University of Vigo, ES
Juan Pablo DAmato, National University of the Center of the
Province of Buenos Aires, AR
Leila Weitzel, Fluminense Federal University, BR
Leonardo Bermón Angarita, National University of Colombia, CO
Lilia Muñoz, Universidad Tecnológica de Panamá, PA
Lucila Romero, Universidad Nacional del Litoral, AR
Luis Alvarez Sabucedo, University of Vigo, ES
Luis Enrique Sánchez Crespo, University of Castilla-la Mancha, ES
Luisa María Romero-Moreno, Universidad Sevilla, ES
Luz María Hernández Cruz, Universidad Autónoma de Campeche, MX
Luz Sussy Bayona Oré, Universidad Nacional Mayor de San Carlos, PE
Marcelo Marciszack, National Technological University, AR
Marcelo Zambrano Vizuite, Universidad Tecnica Del Norte
Marco Painho, NOVA IMS, PT
Margarita Ramirez Ramirez, Universidad Autónoma de Baja California, MX
Maria Cristina Marcelino Bento, UNIFATEA, BR
María de la Cruz del Río-Rama, University of Vigo, ES
Maria de los Milagros Gutierrez, National Technological University, AR
Maria do Rosario Bernardo, Open University, PT
Maria Hallo, Escuela Politécnica Nacional, EC
Maria João Ferreira, Portucalense University, PT
Maria João Gomes, University of Minho, PT
Maria Sousa, ISCTE - University Institute of Lisbon, PT

Marisol B. Correia, ESGHT - University of Algarve & CiTUR, PT
Maristela Holanda, University of Brasilia, BR
Martin Llamas Nistal, University of Vigo, ES
Miguel Casquilho, University of Lisbon, PT
Miguel Ramón González Castro, Aimen Technological Center, ES
Mirna Ariadna Muñoz Mata, CIMAT, MX
Nelson Rocha, University of Aveiro, PT
Nuno Melão, Polytechnic Institute of Viseu, PT
Nuno Ribeiro, Fernando Pessoa University, Portugal
Patricia Dias, State University of Minas Gerais, BR
Paula Prata, University of Beira Interior, PT
Paulo Martins, University of Trás-os-Montes and Alto Douro, PT
Paulo Pinto, New University of Lisbon, PT
Paulo Rurato, Fernando Pessoa University, Portugal
Pedro Araújo, University of Beira Interior, PT
Pedro R. Palos-Sanchez, Universidad de Sevilla, ES
Pedro Sanz-Angulo, University of Valladolid, ES
Pedro Sobral, Fernando Pessoa University, Portugal
Pedro Sousa, University of Minho, Portugal
René Faruk Garzozzi-Pincay, Santa Elena Peninsula State University, EC
Ruben Pereira, ISCTE – University Institute of Lisbon, PT
Rui Pedro Marques, University of Aveiro, PT
Rui Silva Moreira, Fernando Pessoa University, PT
Samuel Sepúlveda, Universidad de La Frontera, CL
Sandro Carvalho, Polytechnic of Cávado and Ave, PT
Santiago Raul Gonzales Sanches, Universidad Cesar Vallejo, PE
Sara Balderas-Díaz, University of Cádiz, ES
Sergio Araya Guzmán, Universidad del Bío-Bío, CL
Sergio F. Lopes, University of Minho, PT
Solange N Alves-Souza, University of Sao Paulo, BR
Telmo Silva, DigiMedia, University of Aveiro, PT
Thiago Dias, Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, BR
Veronica Vasconcelos, Polytechnic Institute of Coimbra, PT

Vítor Carvalho, Polytechnic Institute of Cávado and Ave, PT

Vitor Santos, New University of Lisbon - NOVA IMS, PT

Wagner Tanaka Botelho, Federal University of ABC, BR

Yamid Hernández Julio, Universidad del Sinú, CO

Índice / Index

EDITORIAL

- Tecnologias Emergentes e a sua Aplicação em Cenários Interdisciplinares 1
Álvaro Rocha

ARTIGOS / ARTICULOS / ARTICLES

- Modelo predictivo para identificar hogares beneficiarios de programas de transferencias monetarias: una comparación de técnicas de machine learning 3

Jiang Wagner Mamani Lopez, Juliana Mery Bautista Lopez, Ignacio Aguaded

- Transformando la Oftalmología: Plataforma Ágil y Accesible para Diagnóstico Cromático..... 19

Mayra Carrión-Toro, Marco Santórum, David Morales-Martínez, Juan López-Rodríguez, Julián Galindo Losada, Patricia Acosta-Vargas

- Impacto del pensamiento computacional desde una mirada interdisciplinaria en la educación superior..... 39

Horacio Gómez Rodríguez, María Obdulia González Fernández, César Eduardo Aceves Aldrete

- Alfabetización mediática e informacional y las TIC en la educación superior de Ecuador y El Salvador 55

Romero-Romero Jhison E., Hernando Gómez Ángel, Islas Carmona Octavio

- Realidad aumentada y educación inclusiva para la comunidad sorda: Una revisión sistemática 72

Rita Valenzuela-Romero, Miryam Vera-Alcázar, Florencia Herrera-Córdova

- Previsão do índice de Açúcar Total Recuperável (ATR) de Cana-de-Açúcar Usando Redes Neurais Artificiais 85

Luciano Henrique Alves de Siqueira, Anderson Rogério Faia Pinto, Jorge Alberto Achar, Antonio Fernando Crepaldi, José Luís Garcia Hermosilla, Marcelo Seido Nagano

Tecnologias Emergentes e a sua Aplicação em Cenários Interdisciplinares

Emerging Technologies and their Application in Interdisciplinary Scenarios

Álvaro Rocha¹

amr@iseg.ulisboa.pt

¹ ISEG, Universidade de Lisboa, Rua Miguel Lupi 20, 1200-109 Lisboa, Portugal.

DOI: 10.17013/risti.57.1-2

1. Introdução

É com satisfação que apresentamos o número regular 57 da Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias da Informação (RISTI), que reúne um conjunto diversificado de estudos sobre aplicações inovadoras das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) em contextos sociais, educativos e industriais. Os artigos selecionados evidenciam não só o potencial das tecnologias emergentes, como o machine learning, a realidade aumentada e as redes neuronais artificiais, mas também destacam a necessidade de integração interdisciplinar para maximizar o seu impacto.

2. Estrutura

O primeiro artigo, de Mamani Lopez et al., aborda modelos preditivos baseados em técnicas avançadas de machine learning para identificar os lares beneficiários do programa de transferências monetárias no Peru. O estudo compara algoritmos como regressão logística, árvores de decisão, gradient boosting e XGBoost, destacando o desempenho superior deste último. Os resultados sublinham a relevância das tecnologias preditivas para aperfeiçoar políticas públicas e otimizar a gestão de recursos.

No segundo trabalho, Carrión-Toro et al. descrevem o desenvolvimento da plataforma digital SIONDAL, focada na oftalmologia e especialmente dedicada à deteção de deficiências cromáticas. Utilizando metodologias ágeis, como o Scrum, e avaliações

rigorosas de usabilidade e acessibilidade, a plataforma demonstrou altos níveis de aceitação pelos utilizadores e conformidade com normas internacionais. Este estudo reflete a importância de soluções tecnológicas inclusivas e eficientes para a saúde digital.

Gómez Rodríguez et al., no terceiro artigo, exploram o impacto do pensamento computacional (PC) em estudantes universitários de diferentes áreas disciplinares. A investigação evidencia que o desenvolvimento das competências de PC é facilitado por metodologias interdisciplinares, destacando a relevância dessas competências na resolução de problemas complexos e na preparação dos alunos para desafios profissionais contemporâneos.

O quarto artigo, de Romero-Romero et al., examina os desafios e avanços da alfabetização mediática e informacional (AMI) mediada pelas TIC em instituições do ensino superior no Equador e em El Salvador. O estudo enfatiza o papel crucial dos docentes como facilitadores da integração efetiva das tecnologias no currículo, evidenciando que a mera disponibilidade tecnológica não é suficiente para garantir o desenvolvimento de competências críticas na utilização das informações digitais.

Valenzuela-Romero et al., no quinto artigo, apresentam uma revisão sistemática sobre a aplicação da realidade aumentada (RA) na educação inclusiva para a comunidade surda. A análise demonstra que a RA proporciona experiências de aprendizagem imersivas e enriquecidas, facilitando significativamente a aquisição da língua gestual. Destaca-se também a necessidade de superar desafios técnicos para expandir o seu uso em ambientes educativos inclusivos.

Finalmente, o estudo de caso apresentado por Silva et al. propõe um modelo computacional baseado em redes neurais artificiais para prever o índice de Açúcar Total Recuperável (ATR) na colheita de cana-de-açúcar. O modelo desenvolvido supera significativamente as técnicas laboratoriais convencionais em precisão e custo, oferecendo uma ferramenta promissora para o planeamento eficiente da produção sucroalcooleira.

Estes artigos ilustram a riqueza das abordagens interdisciplinares e o potencial transformador das tecnologias emergentes. Desejamos a todos uma leitura inspiradora e enriquecedora.

3. Agradecimentos

Este editorial termina agradecendo a todos os autores e membros do conselho editorial que participaram no processo de revisão dos artigos que compõem esta edição, desejando que este número de RISTI seja um elemento de avanço do conhecimento e um importante contributo para o campo dos sistemas e tecnologias de informação que estão a redesenhar a sociedade, o ensino e as relações laborais.

Um agradecimento especial à ITMA, detentora da RISTI, assim como às Bases de Dados de Revistas Académicas como CiteFactor, Dialnet, DOAJ, DOI, EBSCO, GALE, IndexCopernicus, Index of Information Systems Journals, ISI Web of Knowledge, Latindex, ProQuest, QUALIS, SciELO e SCImago, entidades que contribuem para que a RISTI seja uma revista científica de referência.

Modelo predictivo para identificar hogares beneficiarios de programas de transferencias monetarias: una comparación de técnicas de machine learning

Jiang Wagner Mamani Lopez¹, Juliana Mery Bautista Lopez¹, Ignacio Aguaded²

jmamanilo@unsa.edu.pe; jbautistal@unsa.edu.pe; aguaded@uhu.es

¹ Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 04001, Arequipa, Perú.

² Universidad de Huelva, 21071, Huelva, España.

DOI: 10.17013/risti.57.3-18

Resumen: Los programas de transferencias monetarias son una herramienta clave para reducir la pobreza y mejorar el bienestar de los hogares vulnerables en países en desarrollo. Sin embargo, la correcta selección de beneficiarios sigue siendo un desafío. Este estudio evalúa distintas técnicas de *machine learning* para predecir la participación del programa Juntos en Perú, empleando datos de la Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) del 2023. Se compararon modelos como regresión logística, árboles de decisión, máquina de soporte vectorial, *gradient boosting machine*, bosque aleatorio, *LightGBM*, *XGBoost* y *CatBoost*. Los resultados muestran que *XGBoost* presenta el mejor desempeño en la clasificación de beneficiarios. Estos hallazgos resaltan el potencial de las técnicas de *machine learning* para fortalecer la asignación de recursos en programas sociales. Su implementación impulsaría la modernización de la gestión pública, permitiendo una gestión de recursos económicos fundamentada en datos.

Palabras-clave: Transferencias Monetarias; Machine Learning; XGBoost; Optimización Bayesiana.

Predictive model for beneficiary households in cash transfer programs: a comparison of machine learning techniques

Abstract: Cash transfer programs are a key tool for reducing poverty and improving the well-being of vulnerable households in developing countries. However, the accurate selection of beneficiaries remains a challenge. This study evaluates different machine learning techniques to predict participation in the Juntos program in Peru, using data from the 2023 National Household Survey (ENAH). Models such as logistic regression, decision trees, support vector machine, gradient boosting machine, random forest, LightGBM, XGBoost, and CatBoost were compared. The results show that XGBoost achieves the best performance in beneficiary classification. These findings highlight the potential of machine

learning techniques to enhance the allocation of resources in social programs. Their implementation would drive the modernization of public management, enabling data-driven economic resource management.

Keywords: Cash Transfers; Machine Learning; XGBoost; Bayesian Optimization.

1. Introducción

En la actualidad, los programas de transferencias monetarias se han consolidado como una herramienta esencial para combatir la pobreza y mejorar el bienestar de los hogares vulnerables, especialmente en países en desarrollo (CAF, 2018). Un ejemplo destacado es el programa Juntos implementado en Perú desde el año 2005, el cual otorga subsidios en efectivo condicionados al cumplimiento de requisitos como enviar a los niños a la escuela o asistir a controles de salud. La efectividad de estas intervenciones radica en su capacidad para llegar a los hogares con mayores carencias. Por lo tanto, contar con modelos predictivos que permitan identificar a los potenciales beneficiarios resulta crucial para optimizar la focalización y la distribución eficiente de los fondos públicos destinados a este programa.

Estas iniciativas han demostrado un impacto positivo en la reducción de la pobreza y en la mejora del bienestar en economías emergentes (Banerjee & Duflo, 2019). En este contexto, diversas investigaciones han implementado algoritmos avanzados para abordar el desafío de identificar a los beneficiarios de manera precisa, como árboles de decisión (Lee, Lessler, & Stuart, 2010; Linden & Yarnold, 2018), gradient boosting machine (Autenrieth et al., 2021; Maciel & Duarte, 2023; Tu, 2019) y bosque aleatorio (Goller et al., 2020; Nufus et al., 2024; Peñarreta & Armas, 2024; Watkins et al., 2013; Zhao et al., 2016). Estas técnicas, reconocidas por su capacidad para modelar relaciones complejas y no lineales, han encontrado aplicaciones relevantes en áreas como salud, economía y educación, donde es fundamental identificar con precisión a los beneficiarios.

El presente estudio tiene como objetivo comparar una serie de modelos predictivos para identificar a los hogares beneficiarios del programa de transferencias monetarias condicionadas Juntos, haciendo uso de técnicas de *machine learning* como: regresión logística, árboles de decisión, máquina de soporte vectorial, *gradient boosting machine*, bosque aleatorio, *LightGBM*, *XGBoost* y *CatBoost*. Se seleccionará el modelo con mayor desempeño que permita mejorar la focalización de este programa y fortalecer la gestión de recursos económicos por parte del gobierno peruano.

Este enfoque no solo busca perfeccionar la distribución de las ayudas económicas, sino que también pretende maximizar el impacto social al garantizar que los beneficios lleguen a quienes más los necesitan (Crespo, 2020). En este contexto, evaluar la efectividad de diferentes algoritmos de *machine learning* resulta fundamental para la toma de decisiones informadas y basadas en evidencia.

El documento está estructurado de la siguiente manera: la primera sección introduce el contexto y los objetivos del estudio. La segunda sección detalla la revisión de literatura relevante. En la tercera sección presenta la metodología empleada. Posteriormente, se analizan los resultados, y finalmente, se exponen las conclusiones.

2. Revisión de la literatura

Una serie de estudios han resaltado el potencial de los modelos predictivos de *machine learning* en la selección de beneficiarios para programas sociales. Tal es el caso del aporte realizado por Chen (2018) sobre el programa Progresá en México, donde comparó algoritmos como bosque aleatorio y *AdaBoost* con modelos econométricos. Los resultados evidencian un rendimiento superior de las técnicas de *machine learning* en la predicción de asistencia escolar. No obstante, cuando los datos disponibles son limitados, los modelos econométricos estructurales pueden ofrecer una mayor precisión, subrayando la importancia de adaptar las metodologías a las características específicas del contexto.

En un trabajo más reciente, Dietrich et al. (2024), evidenciaron que métodos como *XGBoost* presentan ventajas significativas frente a enfoques tradicionales en la identificación de hogares en situación de pobreza. Sin embargo, los autores también advierten que la presencia de sesgos en los datos puede limitar el desempeño de estos modelos, lo que subraya la necesidad de enfoques más robustos.

En ese sentido, Aiken et al. (2023) demostraron que al combinar datos no tradicionales, como los registros de llamadas móviles, con los algoritmos de *machine learning*, es posible mejorar la detección de hogares elegibles para programas de transferencias monetarias en situaciones de emergencia. Este enfoque fue casi tan preciso como los métodos convencionales basados en activos y consumo, incluso superando a estos métodos cuando se añaden datos de encuestas, ofreciendo una alternativa más rentable, especialmente en contextos donde la recolección de información es difícil y costosa, como en zonas afectadas por conflictos o ante una emergencia sanitaria.

Asimismo, estrategias de validación cruzada y ensambles de modelos, logran minimizar errores en los procesos de clasificación de hogares vulnerables (McBride & Nichols, 2018). En esta misma dirección, el estudio de Tito et al. (2023) refuerza la utilidad de las métricas de evaluación (precisión, exhaustividad) y las técnicas de limpieza de datos para optimizar modelos predictivos en ámbitos educativos.

En consecuencia, el presente trabajo se enmarca en esta línea de investigación, evaluando el desempeño de algoritmos de *machine learning* que contribuyan a la mejora en el diseño e implementación de políticas sociales basadas en datos.

3. Metodología

En esta sección se detallan las etapas implementadas para seleccionar la técnica de *machine learning* más adecuada en la estimación de la probabilidad de hogares beneficiarios de las transferencias monetarias.

De acuerdo a la Figura 1, se inició recopilando la información estadística en los diferentes módulos disponibles en la Encuesta Nacional de hogares (ENAH) del año 2023; luego se realizaron una serie de pasos correspondientes al preprocesamiento, como la detección de *outliers* y la imputación de registros faltantes. Durante la fase de ingeniería de características, las variables continuas fueron normalizadas y se codificaron las variables categóricas. Posteriormente, en la fase de entrenamiento se implementaron

siete algoritmos: regresión logística, árboles de decisión, máquina de soporte vectorial, *gradient boosting machine*, bosque aleatorio, *LightGBM*, *XGBoost* y *CatBoost*. La optimización de hiperparámetros se realizó mediante un enfoque de optimización bayesiana. Seguidamente, los modelos fueron evaluados utilizando métricas como *F1-score*, precisión y exhaustividad, seleccionando el que mostró mejor desempeño global.

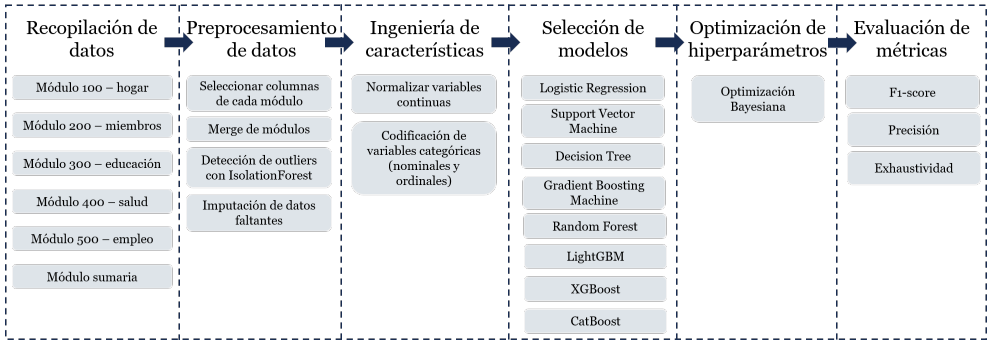


Figura 1 – Pasos para la estimación y selección del mejor modelo

3.1. Recopilación datos

La base de datos empleada proviene del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) que de forma anual lleva a cabo la ENAHO que se encuentra estructurada en 6 módulos. El módulo 100 presenta características físicas de los hogares, el módulo 200 expone información estadística sobre los miembros del hogar, el módulo 300 brinda información relacionada al nivel de educación alcanzado por los miembros del hogar, el módulo 400 incorpora datos relacionados a la salud de los entrevistados, el módulo 500 detalla la situación laboral de los miembros mayores a 14 años y finalmente el módulo sumaria, que calcula una serie de indicadores socioeconómicos a nivel hogar.

3.2. Preprocesamiento de datos e ingeniería de características

Para garantizar la calidad de los datos, se verificó la correlación entre las variables seleccionadas y los criterios oficiales de elegibilidad del programa Juntos, asegurando que capturen dimensiones clave de vulnerabilidad reconocidas por el marco normativo.

Respecto al preprocesamiento, se consolidaron los registros por hogar, utilizando principalmente las características del jefe de hogar, como edad y años de educación. Asimismo, se incluyeron variables generales del hogar, como el total de horas trabajadas por sus miembros y condiciones de la vivienda. También, se tomó en cuenta las características sociodemográficas como la región y el estrato al que pertenecen.

La Tabla 1 resume las variables seleccionadas para identificar hogares beneficiarios del programa Juntos. Adicionalmente, se presenta el módulo de origen, el tipo de variable y una breve descripción.

Los hogares considerados *outliers* según el nivel de ingresos de sus miembros fueron eliminados utilizando el método *Isolation Forest* desarrollado por Liu, Ting, y Zhou (2008). Como resultado, se obtuvo un conjunto de datos compuesto por 11464 hogares. Cabe destacar que un bajo porcentaje de datos requirió imputación. Para estos casos, como estrategia, se emplearon la mediana para las variables numéricas y la moda para las categóricas.

En lo que respecta a la ingeniería de variables, se normalizaron las variables numéricas (edad, educación, horas de trabajo) mediante el método *Min-Max Scaler*, el cual ajusta los valores al rango de 0 a 1. En cuanto a las variables categóricas, como estrato y región, fueron transformadas mediante *one-hot encoding*, generando columnas binarias que indican la presencia o ausencia de cada categoría.

Variable	Fuente	Tipo	Descripción
<i>Juntos</i>	Módulo Sumaria	Binaria	1 si el hogar es beneficiario del programa Juntos, 0 caso contrario
<i>Edad</i>	Módulo Miembros	Numérica	Edad en años del jefe de hogar
<i>Educación</i>	Módulo Educación	Numérica	Años de educación del jefe de hogar
<i>Horas de trabajo</i>	Módulo Empleo	Numérica	Horas de trabajo de todos los miembros del hogar
<i>Vivienda propia</i>	Módulo Hogar	Binaria	1 si cuenta con una vivienda propia, 0 caso contrario
<i>Pared de ladrillo</i>	Módulo Hogar	Binaria	1 si las paredes del hogar son de ladrillo, 0 caso contrario
<i>Agua potable</i>	Módulo Hogar	Binaria	1 si el hogar cuenta con agua potable, 0 caso contrario
<i>Cocinar a leña</i>	Módulo Sumaria	Binaria	1 si el hogar solo cuenta con cocina a leña, 0 caso contrario
<i>Internet</i>	Módulo Hogar	Binaria	1 si el hogar cuenta con servicio de internet, 0 caso contrario
<i>Concreto</i>	Módulo Hogar	Binaria	1 si el piso del hogar es de concreto, 0 caso contrario
<i>Región</i>	Módulo Sumaria	Categórica	1 si el hogar se ubica en la costa, 2 en la sierra y 3 en la selva
<i>Estrato</i>	Módulo Miembros	Ordinal	0 si el hogar se encuentra en la zona rural, 1 si es del estrato E, 2 si es del D y 3 si es del estrato C

Tabla 1 – Descripción de variables

3.3. Técnicas de machine learning

Para la estimación de la probabilidad de que un hogar participe en el programa Juntos, se enfrenta un desbalance en la variable objetivo donde la muestra cuenta con el 30.14% de hogares beneficiarios frente a 69.86% de no beneficiarios. Por ello, se implementaron

siete técnicas de *machine learning*: regresión logística, árboles de decisión, máquina de soporte vectorial, *gradient boosting machine*, bosque aleatorio, *LightGBM*, *XGBoost* y *CatBoost*.

Las cuatro primeras se desarrollaron con *Scikit-learn* (Pedregosa et al., 2011), mientras que las tres últimas se implementaron siguiendo sus respectivas documentaciones oficiales (Chen & Guestrin, 2016; Ke et al., 2017; Prokhorenkova et al., 2018). A continuación, se presenta una breve descripción de los modelos seleccionados:

3.3.1. Regresión logística

Es un modelo estadístico ampliamente utilizado que estima la probabilidad de ocurrencia de un evento mediante una función logística, siendo especialmente valorado por su interpretabilidad en diversas disciplinas como economía, finanzas y ciencias sociales (Hosmer, Lemeshow, & Sturdivant, 2013). Se implementó utilizando el *solver liblinear*, adecuado para bases de datos con pocas muestras. Los hiperparámetros optimizados incluyeron C , que controla la regularización para prevenir sobreajuste, y max_iter , que ajusta el número máximo de iteraciones requeridas para alcanzar la convergencia del modelo.

3.3.2. Árboles de Decisión

Los árboles de decisión son modelos no paramétricos que representan procesos de decisión en forma jerárquica, permitiendo capturar relaciones no lineales. Aunque efectivos, su principal desafío radica en evitar el sobreajuste (Breiman et al., 1984). Para optimizar el rendimiento, se ajustaron los hiperparámetros: max_depth , que controla la profundidad del árbol; $min_samples_split$, que establece el número mínimo de observaciones para dividir un nodo; $min_samples_leaf$, que define el tamaño mínimo de hojas; y $max_features$, que selecciona la proporción de variables evaluadas en cada división.

3.3.3. Máquina de Soporte Vectorial

Es un modelo de clasificación supervisada que busca encontrar el hiperplano que mejor separe las clases, maximizando el margen entre ellas (Cortes & Vapnik, 1995). En esta investigación se utilizó *kernel RBF*, optimizando los hiperparámetros C y $gamma$. El parámetro C regula la penalización por errores en el entrenamiento, controlando el equilibrio entre sobreajuste y generalización. Por su parte, $gamma$ determina la influencia de cada muestra en la función de decisión, afectando la forma y complejidad de la frontera de separación.

3.3.4. Gradient Boosting Machine

Es un método de ensamble basado en árboles de decisión débiles entrenados secuencialmente, donde cada iteración corrige errores previos minimizando una función de pérdida mediante descenso de gradiente (Friedman, 2001). Este enfoque destaca por su capacidad para manejar datos desbalanceados y su alto rendimiento predictivo. Se optimizaron los hiperparámetros: max_depth para controlar la complejidad de los

árboles, *min_samples_split* para definir las divisiones mínimas y *max_features* para garantizar diversidad en las divisiones.

3.3.5. *Bosque Aleatorio*

Es un modelo de ensamble basado en la construcción de varios árboles de decisión. Cada árbol se entrena con una muestra aleatoria del conjunto de datos y un subconjunto aleatorio de las variables. La predicción se realiza mediante el voto mayoritario entre todos los árboles, lo que reduce la varianza y mejora la capacidad de generalización del modelo (Breiman, 2001). Se consideraron los hiperparámetros: *max_depth*, que regula la profundidad de los árboles; *min_samples_split*, para dividir nodos con un número mínimo de observaciones y *max_features* que selecciona un subconjunto de variables en cada división.

3.3.6. *LightGBM*

Es un algoritmo de *boosting* basado en árboles de decisión que optimiza la velocidad y eficiencia del entrenamiento mediante histogramas y reducción del tamaño de los datos, sin sacrificar precisión. Su capacidad para manejar grandes conjuntos de datos y características categóricas lo hace especialmente útil en aplicaciones de *machine learning* modernas (Ke et al., 2017).

Se optimizaron los siguientes hiperparámetros: *num_leaves*, que controla la complejidad de los árboles, *max_depth* que limita la profundidad máxima, *feature_fraction* que selecciona una fracción de características para cada iteración, *bagging_fraction* que define la proporción de datos usada en cada paso, *min_split_gain* que regula la ganancia mínima para dividir nodos y *min_child_weight*, que restringe el tamaño mínimo de hojas.

3.3.7. *XGBoost*

Es también un algoritmo de *boosting* que combina precisión, velocidad y eficiencia computacional mediante optimizaciones como el uso de memoria fuera del núcleo y la paralelización. Su versatilidad lo ha consolidado como una herramienta líder en competencias de *machine learning* (Chen & Guestrin, 2016). En este estudio, se ajustaron los hiperparámetros: *max_depth* que limita la profundidad de los árboles y controla el sobreajuste; *gamma* que establece la ganancia mínima requerida para dividir un nodo; *colsample_bytree* que selecciona una fracción de características para construir cada árbol y *subsample* que define la proporción de datos utilizada para cada árbol, favoreciendo la robustez y diversidad del modelo.

3.3.8. *CatBoost*

Es un algoritmo de *boosting* que se destaca por su manejo eficiente de variables categóricas sin necesidad de preprocesamiento, lo que minimiza el riesgo de sobreajuste y mejora el rendimiento en tareas supervisadas con técnicas avanzadas de regularización (Prokhorenkova et al., 2018).

Se optimizaron los hiperparámetros: *depth* que define la profundidad máxima de los árboles; *l2_leaf_reg* que ajusta la fuerza de regularización, *bagging_temperature* que controla la aleatoriedad en el muestreo de datos y *border_count* que determina la cantidad de divisiones usadas para variables continuas, mejorando su precisión en conjuntos de datos complejos.

3.4.Optimización de hiperparámetros

Como parte del proceso de entrenamiento, el conjunto de datos fue dividido en un 80% para el entrenamiento del modelo y un 20% para *test*, donde se evaluaron las métricas que permitieron seleccionar al mejor modelo. Dado que la variable a predecir se encontró desbalanceada, se tomó el *F1-score* como métrica principal ya que combina de forma equilibrada la precisión y la exhaustividad, lo que permitió evaluar el rendimiento del modelo considerando tanto los falsos positivos como los falsos negativos (Abhishek & Abdelaziz, 2023).

La optimización de hiperparámetros se llevó a cabo mediante validación cruzada con *10-folds*, utilizando la función *BayesianOptimization* desarrollado por Gardner et al. (2014). Este enfoque permitió identificar configuraciones óptimas al predecir el rendimiento del modelo y ajustar iterativamente los hiperparámetros. La Tabla 2 muestra los hiperparámetros optimizados y sus rangos para cada algoritmo.

Modelo	Parámetro	Rango
Regresión Logística	C	(0.0001, 10)
	max_iter	(50, 300)
	max_depth	(3, 30)
Árboles de decisión	min_samples_split	(20, 150)
	min_samples_leaf	(3, 2)
	max_feature	(0.1, 0.999)
Máquina de Soporte Vectorial	C	(0.01, 10)
	gamma	(0.001, 1)
Gradient boosting machine	max_depth	(3, 30)
	min_samples_split	(3, 30)
	max_features	(0.1, 0.999)
Bosque Aleatorio	max_depht	(3, 30)
	max_features	(0.1, 0.999)
	min_samples_split	(3, 25)
LightGBM	num_leaves	(20, 100)
	max_depth	(3, 15)
	feature_fraction	(0.7, 0.9)
	bagging_fraction	(0.7, 0.9)
	min_split_gain	(0.001, 0.5)
	min_child_weight	(5, 50)

Modelo	Parámetro	Rango
<i>XGBoost</i>	max_depth	(3, 15)
	gamma	(0, 3)
	colsamples_bytree	(0.5, 1)
	subsample	(0.2, 0.8)
<i>CatBoost</i>	depth	(4, 10)
	l2_leaf_reg	(1, 10)
	bagging_temperature	(0, 1)
	border_count	(32, 255)

Tabla 2 – Rango de hiperparámetros a optimizar

3.5. Métricas para la evaluación de algoritmos de machine learning

La evaluación del desempeño de los modelos de clasificación binaria requiere métricas específicas que capturen la capacidad predictiva del modelo. Entre las métricas que se evaluaron en este trabajo se encuentran:

Formato de una lista con marcas:

- *F1-score*: es la media armónica entre precisión y exhaustividad, especialmente útil en conjuntos de datos desbalanceados. Brinda una métrica que balancea la capacidad del modelo para identificar correctamente los casos positivos y evitar falsos positivos (Sokolova & Lapalme, 2009).
- *Precisión*: mide la proporción de casos positivos correctamente identificados por el modelo respecto al total de predicciones positivas realizadas. Es fundamental en contextos donde los falsos positivos tienen un mayor costo, como asignar recursos económicos limitados a hogares no elegibles.
- *Exhaustividad*: también conocida como la tasa de verdaderos positivos, mide la proporción de casos positivos correctamente identificados por el modelo respecto al total de casos positivos reales. Esta métrica es importante en contextos donde los falsos negativos tienen consecuencias sociales graves, como excluir hogares elegibles del programa Juntos.
- *Exactitud*: es una métrica ampliamente utilizada ya que mide la proporción de predicciones correctas (tanto positivas y como negativas) realizadas por el modelo respecto al total de casos evaluados.

4. Resultados

En la evaluación del desempeño de los modelos, se utilizó validación cruzada con 10 particiones para abordar el problema de desbalance de clases, donde la clase minoritaria corresponde a los hogares beneficiarios del programa Juntos. Este diseño permitió estimar métricas robustas y confiables en términos de rendimiento de clasificación.

La Figura 2 ilustra el *F1-score* obtenido para cada modelo en los 10 *k-folds*. Dado el desequilibrio en los datos, esta métrica fue priorizada debido a su capacidad para

balancear precisión y exhaustividad. En términos generales, los modelos *XGBoost*, *LightGBM* y *CatBoost* mostraron un desempeño más consistente, destacándose sobre el resto.

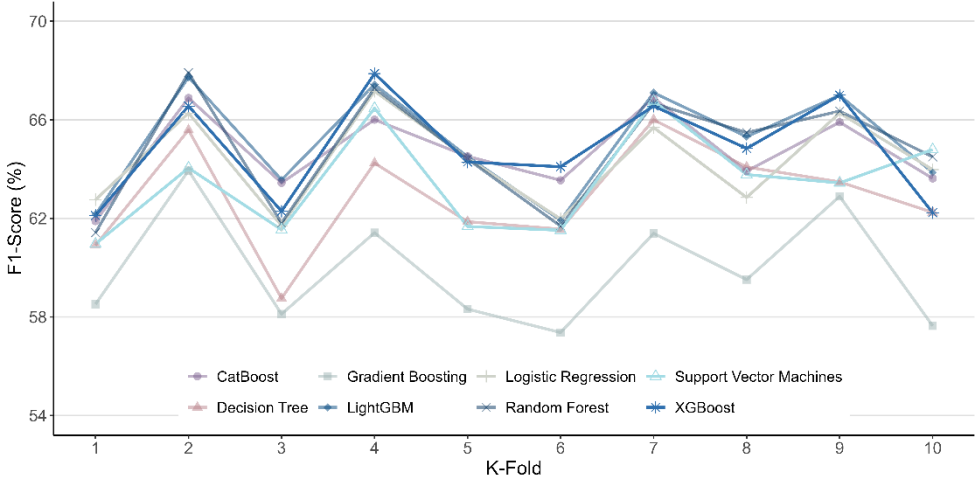


Figura 2 – Métrica F1-score en los 10 k-folds

De forma complementaria, las Figuras 3 y 4 presentan los resultados para las métricas de precisión y exhaustividad, respectivamente. El modelo *Gradient Boosting Machine* obtuvo la mayor precisión promedio, mientras que Regresión Logística destacó por alcanzar la mayor exhaustividad (81.33%). Sin embargo, estos modelos no lograron un equilibrio ideal entre ambas métricas, lo que impactó negativamente en su *F1-score*.

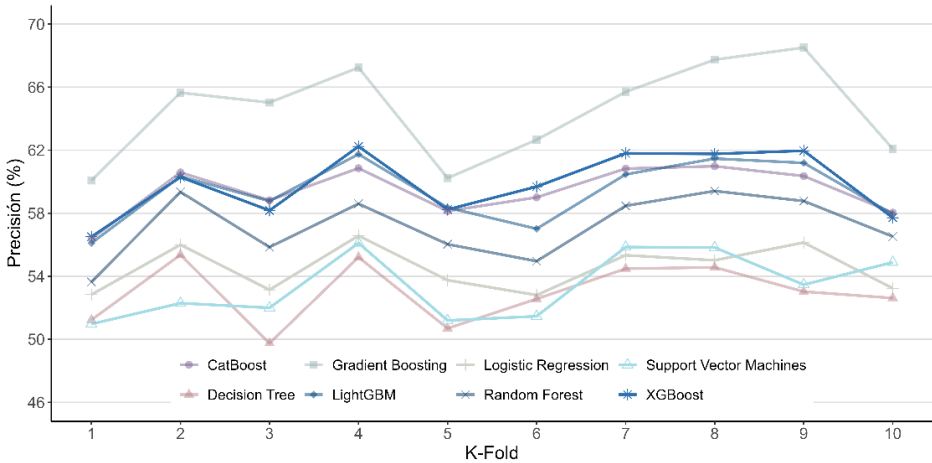


Figura 3 – Métrica Precisión en los 10 k-folds

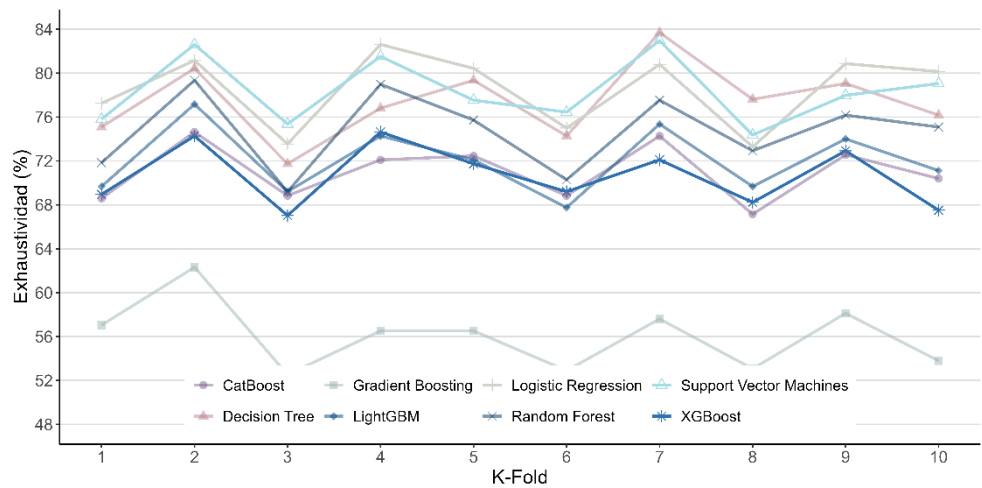


Figura 4 – Métrica Exhaustividad en los 10 k-folds

Para seleccionar el modelo óptimo, los hiperparámetros ajustados durante la etapa de validación cruzada fueron evaluados en el conjunto de datos de *test*. La Tabla 3 resume el desempeño de los modelos implementados, considerando métricas como *F1-score*, precisión, exhaustividad y exactitud.

Modelo	F1-score (%)	Precisión (%)	Exhaustividad (%)	Exactitud (%)
Regresión logística	65.42	54.72	81.33	74.10
Árboles de decisión	63.85	54.25	77.57	73.53
Máquina de Soporte Vectorial	63.99	52.94	80.90	72.57
Gradient boosting machine	62.84	64.72	61.07	78.24
Bosque Aleatorio	66.21	58.57	76.12	76.58
LightGBM	67.44	60.62	75.98	77.89
XGBoost	67.54	61.55	74.82	78.33
CatBoost	67.23	60.65	75.40	77.85

Tabla 3 – Comparación de modelos sobre el dataset de test

El modelo *XGBoost* fue identificado como el más adecuado, alcanzando un *F1-score* de 67.54 %, lo que refleja un balance óptimo entre precisión (61.55 %) y exhaustividad (74.82 %). Aunque la Regresión Logística obtuvo la mayor exhaustividad (81.33 %), su baja precisión resultó en un menor *F1-score*. De manera similar, *Gradient Boosting Machine* destacó en precisión (64.72 %), pero a expensas de una exhaustividad considerablemente menor.

Estos resultados evidenciaron que el modelo *XGBoost* logra el mejor rendimiento global al equilibrar métricas clave, lo que lo hace particularmente adecuado para predecir la probabilidad de ser beneficiario del programa Juntos en un contexto de datos desbalanceados.

Asimismo, el análisis de interpretabilidad del modelo mediante valores *SHAP* (*SHapley Additive exPlanations*) propuesto por Lundberg y Lee (2017), permite identificar las variables con mayor impacto sobre la probabilidad de pertenecer al programa Juntos. Como se muestra en la Figura 5, características como residir en una zona rural, tener un bajo nivel educativo y utilizar cocina a leña se asocian con un aumento significativo en la probabilidad estimada por el modelo, lo que sugiere que estas condiciones son altamente predictivas de la elegibilidad al programa. En contraste, características asociadas a mejores condiciones de vida, como el acceso a agua potable o vivir en viviendas con paredes de ladrillo, contribuyen negativamente a dicha probabilidad. Además, variables como edad y región de residencia mostraron un menor impacto relativo. Estos hallazgos no solo respaldan la capacidad del modelo para capturar patrones relevantes en poblaciones vulnerables, sino que también ofrecen evidencia empírica sobre los determinantes sociales que podrían estar influyendo en los criterios de focalización del programa.

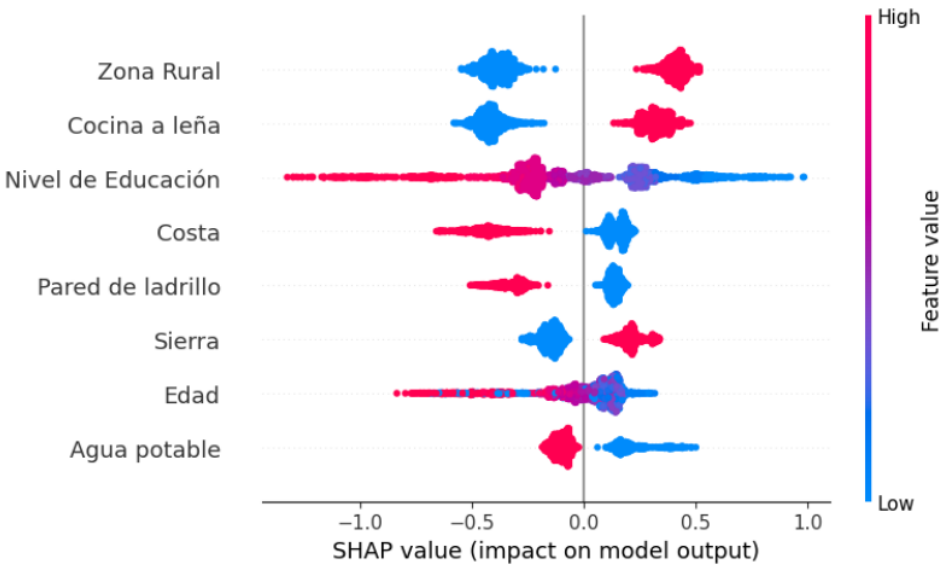


Figura 5 – Shap values del modelo XGBoost

5. Conclusiones

El presente estudio evaluó distintas técnicas de *machine learning* para predecir la probabilidad de ser beneficiario del programa Juntos en un contexto de datos desbalanceados. Para abordar este desafío, se aplicaron métodos como validación cruzada

y optimización bayesiana para encontrar la mejor combinación de hiperparámetros, priorizando el *F1-score* como métrica clave al equilibrar precisión y exhaustividad. Este enfoque es especialmente relevante en la gestión de programas sociales, donde la clasificación errónea de hogares elegibles puede generar costos sociales significativos.

Los resultados indicaron que *XGBoost* presentó el mejor desempeño, lo que resalta su capacidad para identificar beneficiarios en programas sociales. Su integración en procesos de clasificación automatizada podría contribuir a la modernización de la gestión pública al mejorar la distribución de transferencias monetarias con criterios basados en datos.

No obstante, la implementación de estos modelos requiere considerar desafíos éticos fundamentales: la posible amplificación de sesgos históricos presentes en los datos y la necesidad de mecanismos de auditoría que garanticen equidad en las decisiones automatizadas, particularmente para poblaciones vulnerables

Este estudio aporta evidencia sobre la utilidad de las técnicas de *machine learning* en la selección de beneficiarios, proporcionando un enfoque que puede fortalecer la toma de decisiones en políticas públicas. No obstante, su capacidad predictiva podría potenciarse con la integración de información macroeconómica regional y datos geoespaciales, lo que permitiría capturar dinámicas socioeconómicas más precisas y adaptar mejor la identificación de beneficiarios a distintos contextos territoriales.

Como futuras líneas de investigación, se recomienda explorar arquitecturas de *deep learning* y modelos híbridos que permitan capturar patrones más complejos en los datos. Esto permitiría desarrollar sistemas más adaptativos y precisos en la identificación de beneficiarios, especialmente en escenarios de alta incertidumbre.

Agradecimientos

Al Grupo de Investigación Ágora (HUM-648) de la Universidad d Huelva (España) por su asesoramiento científico-metodológico y su cooperación institucional.

Referencias

- Abhishek, K., & Abdelaziz, M. (2023). *Machine Learning for Imbalanced Data: Tackle imbalanced datasets using machine learning and deep learning techniques*. Packt Publishing.
- Aiken, E. L., Bedoya, G., Blumenstock, J. E., & Coville, A. (2023). Program targeting with machine learning and mobile phone data: Evidence from an anti-poverty intervention in Afghanistan. *Journal of Development Economics*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2022.103016>
- Autenrieth, M., Levine, R. A., Fan, J., & Guarcello, M. A. (2021). Stacked ensemble learning for propensity score methods in observational studies. *Journal of Educational Data Mining*, 13(1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.5048425>
- Banerjee, A., & Duflo, E. (2019). *Good Economics for Hard Times: Better Answers to Our Biggest Problems* (1st Ed.). Public Affairs.

- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Breiman, L., Friedman, J., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (1984). Introduction To Tree Classification. En J. Kimmell & A. Cava (Eds.). *Classification and Regression Trees*, (pp. 27–72). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781315139470>
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, (pp. 13–17). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Chen, T. S. (2018). *Evaluating Conditional Cash Transfer Policies with Machine Learning Methods*. <https://arxiv.org/abs/1803.06401>
- Crespo, C. (2020). Two become one: Improving the targeting of conditional cash transfers with a predictive model of school dropout. *Economía*, 21(1). <https://doi.org/10.1353/eco.2020.0011>
- Corporación Andina de Fomento. (2018). Programas de transferencias monetarias condicionadas de dinero en efectivo: ¿solución mágica para mejorar la salud y la educación de las personas?
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20, 273–297. <https://doi.org/10.1007/BF00994018>
- Dietrich, S., Malerba, D., & Gassmann, F. (2024). Predicting social assistance beneficiaries: On the social welfare damage of data biases. *Data & Policy*, 6(e3). <https://doi.org/10.1017/dap.2023.38>
- Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *The Annals of Statistics*, 29(5), 1189 – 1232. <https://doi.org/10.1214/aos/1013203451>
- Gardner, J. R., Kusner, M. J., Xu, Z. E., Weinberger, K. Q., & Cunningham, J. P. (2014). Bayesian optimization with inequality constraints. In *Proceedings of the 31st International Conference on Machine Learning*, (pp. 937–945). JMLR
- Goller, D., Lechner, M., Moczall, A., & Wolff, J. (2020). Does the estimation of the propensity score by machine learning improve matching estimation? The case of Germany's programmes for long term unemployed. *Labour Economics*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.labeco.2020.101855>
- Hosmer, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). Interpretation of the Fitted Logistic Regression Model. In D. Balding, N. A. C. Cressie, G. M. Fitzmaurice, H. Goldstein, I. M. Johnstone, G. Molenberghs, D. W. Scott, A. F. M. Smith, R. S. Tsay & S. Weisberg (ed.). *Applied Logistic Regression* (pp. 49–88). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118548387.ch3>

- Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q., & Liu, T. Y. (2017). LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree. In *Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems*, (pp. 3149-3157). Curran Associates Inc.
- Lee, B. K., Lessler, J., & Stuart, E. A. (2010). Improving propensity score weighting using machine learning. *Statistics in Medicine*, 29(3), 337–346. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sim.3782>
- Linden, A., & Yarnold, P. R. (2018). Estimating causal effects for survival (time-to-event) outcomes by combining classification tree analysis and propensity score weighting. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, 24(2). <https://doi.org/10.1111/jep.12859>
- Liu, F. T., Ting, K. M., & Zhou, Z.-H. (2008). Isolation Forest. In *2008 Eighth IEEE International Conference on Data Mining*, (pp. 413–422). <https://doi.org/10.1109/ICDM.2008.17>
- Lundberg, S. M., & Lee, S.-I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30.
- Maciel, F. A., & Duarte, D. (2023). The impact of cash transfer participation on unhealthy consumption in Brazil. *Health Policy OPEN*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.hpopen.2022.100087>
- McBride, L., & Nichols, A. (2018). Retooling poverty targeting using out-of-sample validation and machine learning. *World Bank Economic Review*, 32(3). <https://doi.org/10.1093/wber/lhw056>
- Nufus, R. D. S., Susetyo, B., & Sartono, B. E.. (2024). Exploring the Potential Impact of Ginger Consumption on the Duration of COVID-19 Recovery: A Propensity Score Matching using Random Forest. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1359(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1359/1/012139>
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel V. Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer P. Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825–2830.
- Peñarreta, M., & Armas, R. (2024). Educación financiera en jóvenes universitarios ecuatorianos: Una aplicación de Machine Learning. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (E71), 528 – 542.
- Prokhorenkova, L., Gusev, G., Vorobev, A., Dorogush, A. V., & Gulin, A. (2018). Catboost: Unbiased boosting with categorical features. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2018-December.
- Sokolova, M., & Lapalme, G. (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. In *Information Processing and Management*, (pp. 427–437). <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002>

- Tito, A. E. A., Condori, B. O. H., & Vera, Y. P. (2023). Comparative analysis of Machine Learning Techniques for the prediction of cases of university dropout. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (e51), 84-98. <https://doi.org/10.17013/risti.51.84-98>
- Tu, C. (2019). Comparison of various machine learning algorithms for estimating generalized propensity score. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 89(4). <https://doi.org/10.1080/00949655.2019.1571059>
- Watkins, S., Jonsson-Funk, M., Brookhart, M. A., Rosenberg, S. A., O'Shea, T. M., & Daniels, J. (2013). An empirical comparison of tree-based methods for propensity score estimation. *Health Services Research*, 48(5). <https://doi.org/10.1111/1475-6773.12068>
- Zhao, P., Su, X., Ge, T., & Fan, J. (2016). Propensity score and proximity matching using random forest. *Contemporary Clinical Trials*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.cct.2015.12.012>

Transformando la Oftalmología: Plataforma Ágil y Accesible para Diagnóstico Cromático

Mayra Carrión-Toro¹, Marco Santórum¹, David Morales-Martínez¹,
Juan López-Rodríguez, Julián Galindo Losada¹, Patricia Acosta-Vargas²

mayra.carrion@epn.edu.ec; marco.santorum@epn.edu.ec; david.morales03@epn.edu.ec;
juan.lopez08@epn.edu.ec; julian.galindo@epn.edu.ec; patricia.acosta@udla.edu.ec

¹ Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería de Sistemas, 170525, Quito, Ecuador.

² Universidad De Las Américas, Intelligent and Interactive Systems Laboratory, 170125, Quito, Ecuador.

DOI: 10.17013/risti.57.19-38

Resumen: Este trabajo aborda el panorama en evolución de la oftalmología mediante el desarrollo e implementación de SIONDAL, una plataforma digital de información en salud diseñada para evaluar y detectar deficiencias oftalmológicas, particularmente en la visión cromática y la agudeza visual. Con el objetivo de superar las limitaciones de las pruebas físicas tradicionales, como el test de Ishihara y el test de Farnsworth-Munsell, se adoptó un enfoque metodológico basado en el marco ágil Scrum. Este permitió una planificación iterativa y una colaboración continua con profesionales clínicos, asegurando la alineación funcional y técnica del sistema con las necesidades reales del entorno médico. La plataforma web fue desarrollada con especial énfasis en la usabilidad y accesibilidad, evaluadas mediante dos metodologías complementarias: (1) una evaluación de usabilidad basada en el Cuestionario de Usabilidad de Lewis (SUS), aplicada a usuarios finales, cuya media de resultados alcanzó un 95,71 % de aceptación; y (2) una evaluación de accesibilidad conforme a las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) 2.1, utilizando la herramienta WAVE, obteniendo un cumplimiento del 97,13 % en las páginas analizadas. Los resultados obtenidos evidencian que SIONDAL constituye una solución digital eficaz, accesible y centrada en el usuario, que optimiza los procesos de administración, ejecución y seguimiento de pruebas oftalmológicas, al tiempo que refuerza los principios de sostenibilidad, calidad y equidad en el diseño de tecnologías para la salud.

Palabras-clave: Oftalmología; eSalud; Sistema de información de salud; Usabilidad; Accesibilidad.

Transforming Ophthalmology: An Agile and Accessible Platform for Chromatic Diagnosis

Abstract: This study addresses the evolving landscape of ophthalmology through the development and implementation of SIONDAL, a digital health information platform designed to assess and detect ophthalmologic deficiencies, particularly in color vision and visual acuity. To overcome the limitations of traditional physical

tests—such as the Ishihara and Farnsworth-Munsell tests—a methodological approach based on the agile Scrum framework was adopted. This enabled iterative planning and continuous collaboration with clinical professionals, ensuring both functional and technical alignment of the system with real-world medical needs. The web-based platform was developed with a strong emphasis on usability and accessibility, evaluated through two complementary methods: (1) a usability assessment using the System Usability Scale (SUS), applied to end users, which yielded an average acceptance score of 95.71%; and (2) an accessibility evaluation based on the Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1, conducted using the WAVE tool, achieving 97.13% compliance across the analyzed pages. The results demonstrate that SIONDAL constitutes an effective, accessible, and user-centered digital solution that enhances the administration, execution, and monitoring of ophthalmologic tests, while reinforcing principles of sustainability, quality, and equity in digital health technology design.

Keywords: Ophthalmology; eHealth; Health Information System; Usability; Accessibility.

1. Introducción

El avance tecnológico actual ha despertado el interés de diversas organizaciones por mejorar la eficiencia y calidad de los servicios ofrecidos, especialmente en los centros de atención médica centrados en la salud humana. Sin embargo, este progreso también ha revelado desafíos significativos en la aplicación de exámenes altamente efectivos, como los relacionados con la oftalmología, debido al tiempo considerable requerido para su preparación y ejecución.

La oftalmología, una disciplina dedicada al estudio del ojo y el cuidado de la visión (RAE, 2024), enfrenta la necesidad de proporcionar información rápida y precisa a los pacientes. Es esencial optimizar los procesos relacionados con la aplicación de pruebas oftalmológicas, tanto las que se usan comúnmente como aquellas que rara vez se aplican debido a su preparación prolongada.

En oftalmología, se evalúan factores como la agudeza visual, el campo visual y la distinción cromática (Opeluce Team, 2022). Cada uno de estos factores requiere pruebas específicas y recursos apropiados. Por ejemplo, para evaluar la agudeza visual, se ha optado por utilizar optotipos digitales, que ofrecen ventajas como durabilidad y flexibilidad de ubicación en contraste con sus versiones físicas (Molina, 2008). Uno de los métodos más empleados para identificar deficiencias en la percepción del color es el test de Farnsworth-Munsell (Beauchamp et al., 1999). Este test, en su forma tradicional, consta de 84 piezas donde el tono del color varía ligeramente, las cuales se presentan al paciente para que las ordene según su similitud cromática (Arana & Castillo, 2003).

La realización manual de esta prueba suele llevar hasta 16 minutos, sin contar el tiempo necesario para preparar y organizar las piezas por parte del especialista (E. Rivera et al., 2017). Además, una vez aplicada la prueba, es necesario realizar varios cálculos para obtener el resultado final, cuyo tiempo puede variar dependiendo de las habilidades matemáticas del evaluador. Aunque el test es altamente eficiente en términos de resultados, su complejidad y dificultad en la aplicación pueden limitar su viabilidad en el mercado actual.

Por otro lado, el test más empleado para el análisis de la visión cromática y considerado por muchos como la mejor, es el test Ishihara, basado en láminas pseudoisocromáticas. Aunque altamente fiable, este test también requiere recursos físicos, como hasta 38 láminas, y puede detectar deficiencias congénitas con una fiabilidad de entre el 90% y el 95% (Arana & Castillo, 2003). Esta evaluación implica emplear elementos físicos como láminas, piezas e imágenes, lo que resulta en mayores gastos, problemas de transporte, prolongación del tiempo de aplicación y menor disponibilidad en contraste con la utilización de una versión digital (Fernández Jiménez-Ortiz, 2018).

La gestión de historias clínicas en formato físico representa otra dificultad que impacta en la gestión del tiempo. La búsqueda de registros específicos puede resultar en retrasos de hasta 35 minutos, y la emisión de copias puede aumentar estos tiempos entre 15 a 25 minutos adicionales (Morales Fernández, 2019).

Para abordar estos desafíos, este documento propone el desarrollo de una herramienta de software que optimice los procesos relacionados con la detección y clasificación de deficiencias oftalmológicas, específicamente en agudeza visual y discriminación cromática. Esta solución digitalizará los tests de Farnsworth-Munsell e Ishihara, eliminando así la necesidad de recursos físicos y mejorando la eficiencia en la preparación, ejecución y administración de las pruebas oftalmológicas.

Esta propuesta se suma a otros proyectos desarrollados como herramientas inclusivas que buscan agilizar la atención médica y mejorar la accesibilidad a los servicios de salud, tal como se ha evidenciado en iniciativas anteriores (Inácio et al., 2022; Li et al., 2021; Ludwig et al., 2016; Pulido et al., 2022; Vilela et al., 2023). Estos avances subrayan la importancia de utilizar la tecnología no solo para optimizar los procesos médicos, sino también para ofrecer soluciones más accesibles y eficientes en la atención oftalmológica y otras áreas de la medicina.

El artículo está estructurado de la siguiente manera: en la Sección 2, se profundiza en los avances de la informática en medicina, con énfasis en la creación de sistemas de salud electrónicos, además de destacar la importancia de los Test de Farnsworth-Munsell y Test de Ishihara. La Sección 3 aborda el proceso de desarrollo de la propuesta, desde su diseño hasta su evaluación. En la Sección 4, se analizan los resultados encontrados, centrándose especialmente en la usabilidad y accesibilidad del proyecto. Finalmente, la Sección 5 presenta las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

2. Marco Teórico

El uso de tecnologías digitales en salud ha evolucionado rápidamente en las últimas dos décadas, transformando la manera en que se diagnostican y tratan múltiples afecciones médicas (León, 2020; The Galaxy Community, 2022). Esta transformación incluye la automatización de pruebas clínicas, el desarrollo de sistemas expertos y la implementación de plataformas accesibles para personas con discapacidad (Yani, 2018). A pesar de estos avances, existe una brecha significativa en la digitalización de herramientas diagnósticas en oftalmología en Latinoamérica, particularmente aquellas relacionadas con la evaluación de deficiencias en la visión del color, como el daltonismo.

2.1. Informática en la Medicina

La informática médica implica el procesamiento automático de la información mediante sistemas computacionales y dispositivos electrónicos. Su incorporación en la práctica médica ha representado un avance cualitativo significativo, logrando nuevos métodos de análisis eficaces. Las mejoras en el procesamiento informático aplicado a la salud han incrementado la rapidez, precisión y eficiencia del diagnóstico, así como la eficacia de los tratamientos en diversas especialidades clínicas (Ahmad et al., 2021).

A nivel internacional, numerosos artículos han abordado el papel de la informática en la medicina, abarcando especialidades como cardiología, odontología, traumatología, radiología y oftalmología, entre otras. Es evidente que estos sistemas no reemplazarán la relación tradicional médico-paciente, pero sí mejorarán y optimizarán los tiempos de consulta (Guillén-Mendoza et al., 2017; Sevilla Rubio, 2019), lo cual es crucial para reducir los tiempos de espera de los pacientes (Gómez Pérez, 2019).

En el nuevo milenio, la medicina de precisión ha ganado relevancia gracias a los sistemas informáticos, que permiten analizar y comparar una mayor cantidad de datos en menos tiempo, extrayendo información útil para el diagnóstico y tratamiento (Hamamoto et al., 2020). La incorporación de las tecnologías de la información (TI) en las ciencias de la salud se ha convertido en una tendencia generalizada (Cubillas Mercado et al., 2019). La introducción de las TI ha transformado los esquemas tradicionales de transmisión de conocimientos pues el uso de computadoras no solo se limita a la investigación, sino que también es un recurso importante para la atención al paciente, permitiendo el intercambio continuo y actualizado de información y datos (Pérez Martinot, 2017).

Ejemplos concretos de este avance se pueden observar en el desarrollo de una plataforma para la realización de evaluaciones psicológicas, la cual ha demostrado de manera prometedora cómo los sistemas digitales pueden agilizar la toma de pruebas, además de mejorar el seguimiento y el contacto con los pacientes (Inácio et al., 2022). En el campo de la oftalmología, se ha identificado la necesidad de herramientas digitales que permitan la detección temprana de problemas visuales, especialmente en pacientes con discapacidad visual. Estas herramientas complementan los métodos tradicionales al facilitar un tratamiento oportuno y un seguimiento más preciso de cada caso clínico (Pulido et al., 2022).

Entre los avances recientes, destaca una aplicación que digitaliza dos pruebas optométricas clave —el Test de Mirada Preferencial y el Test de Sensibilidad al Contraste—, modernizando su administración y mejorando la evaluación de la agudeza visual y la sensibilidad al contraste (A. Gómez & Alonso, 2023). Asimismo, en Colombia se desarrolló una plataforma orientada a resolver las limitaciones que enfrentan los terapeutas en la gestión de información clínica. Frente a soluciones externas insuficientes, se propuso un sistema web propio que permita una administración integral y personalizada de los datos de los pacientes (González Salazar & Vigoya Bolívar, 2023).

Por otra parte, la automatización del diagnóstico ocular a través de plataformas móviles incluye pruebas diagnósticas, captura e interpretación de imágenes, integración de resultados y presentación en interfaces accesibles. Aunque aún se requieren avances, especialmente en el reconocimiento de imágenes e integración diagnóstica, estas

tecnologías podrían mejorar el acceso, reducir costos y aumentar la precisión en la atención oftalmológica (Vilela et al., 2023).

Estos desarrollos reflejan el potencial de las tecnologías de la información para transformar el diagnóstico y tratamiento médico, optimizando la atención y elevando la calidad de los servicios de salud.

2.2. Daltonismo

El daltonismo es una deficiencia en la percepción del color, clasificada tradicionalmente como congénita o adquirida. La forma congénita se presenta desde el nacimiento, afecta a ambos ojos y disminuye gradualmente la percepción visual. En contraste, la deficiencia adquirida puede afectar a uno o ambos ojos, reduciendo la percepción en ciertas áreas de la visión. Sin embargo, se ha reportado que el tipo congénito es más prevalente que el adquirido (M. M. Rivera et al., 2018). Aproximadamente el 8% de los hombres y el 0.5% de las mujeres nacen con deficiencia en la visión del color, lo que significa que alrededor de 300 millones de personas en todo el mundo tienen deficiencias cromáticas heredadas (Ishihara, 1918).

Esta alteración provoca dificultades en tareas que requieren diferenciar tonalidades de colores, limitando el estudio de especialidades como aviación, bomberos, carreras militares y farmacia. No obstante, estudios han demostrado que no existe correlación entre inteligencia y daltonismo en el nivel secundario (Salih et al., 2020).

Para la evaluación de la visión cromática, la mayoría de los estándares y profesionales utilizan dos pruebas analógicas: el test de 38 láminas de Ishihara y el test de 100 tonalidades de Farnsworth-Munsell (Carneiro et al., 2019; León, 2020; Sevilla Rubio, 2019).

2.3. Test de Ishihara

Desde su primera publicación en 1918 por el Dr. Shinobu Ishihara, la prueba de Ishihara se ha extendido globalmente y sigue siendo ampliamente utilizada para evaluar la visión del color (Ishihara, 1918). Este método cualitativo es altamente efectivo para detectar defectos cromáticos, especialmente los congénitos o leves, lo que lo convierte en una de las pruebas más populares. La prueba de Ishihara es reconocida principalmente para diagnosticar déficits congénitos rojo-verde (protanopia, deuteranopia, protanomalia y deuteranomalia), aunque no es adecuada para detectar tritanopia (déficit azul-amarillo) (GIMA, 2021; Rodríguez-Carmona et al., 2021).

En el test de Ishihara se utilizan cuatro tipos de láminas, cada una con una función específica. Las láminas transformadas muestran respuestas diferentes según la deficiencia cromática del observador. Las láminas con número desaparecido son discernibles solo por aquellos sin problemas de visión cromática, mientras que las láminas con dígito oculto son visibles solo para observadores con anomalías. Las láminas cualitativas ayudan a afinar el diagnóstico, determinando si se trata de una anomalía o una enfermedad (Zarazaga et al., 2019). La prueba suele presentarse en un libro con láminas de puntos coloridos que forman números, facilitando su uso: simplemente se le pide al sujeto que identifique el número en cada lámina, ver Figura 1 (Yanto et al., 2022).

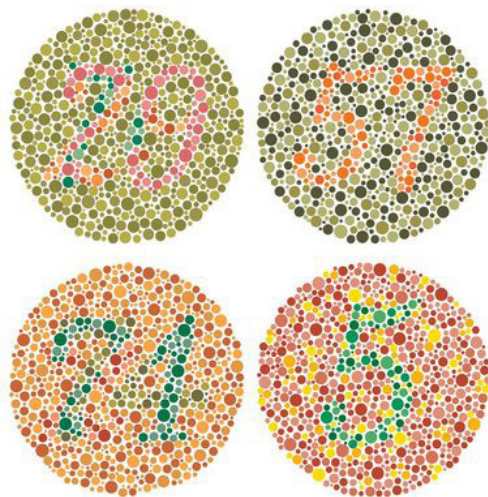


Figura 1 – Láminas del test de Ishihara (Instituto Oftalmológico Hoyos, 2024)

Para una interpretación precisa, es esencial que un especialista interactúe con el paciente, entendiendo cómo visualiza las láminas. Estas láminas están diseñadas para ser un instrumento rápido y eficaz en el diagnóstico preliminar de deficiencias cromáticas (Birch, 1997; Cole, 2007; Dain, 2004). Aunque presentan ventajas significativas, el formato en papel tiene desventajas como el desvanecimiento de colores con el tiempo y la susceptibilidad a daños físicos. Por ello, se recomienda la digitalización de la prueba para minimizar errores (Yanto et al., 2022).

2.4. Test de Farnsworth-Munsell

El test de Farnsworth-Munsell es una prueba utilizada para diagnosticar deficiencias en la percepción del color. Consta de 84 piezas con ligeras variaciones en el tono, que se presentan al paciente para que las ordene según su similitud cromática (Arana & Castillo, 2003). Debido a la complejidad de esta prueba, los pacientes pueden tardar hasta 16 minutos en completarla, sin considerar el tiempo necesario para la preparación de las piezas por parte del especialista (E. Rivera et al., 2017).

La tarea principal del sujeto consiste en ordenar las piezas a lo largo de rectas de confusión de los dicrómatas. Para el proceso de ordenamiento, los tonos se dividen en cuatro secciones (cajas), ver Figura 2. Cada caja contiene 21 tonos dentro de los rangos especificados, además de dos piezas fijas. Los tonos inmóviles se sitúan al inicio y al final de cada caja como referencia (Universidad de Navarra, 2021). Para verificar el orden impuesto por el sujeto, cada tono tiene un valor indicativo de su posición correcta. El método de cálculo para asignar la puntuación al paciente se basa en el método por construcción. Este método establece que la distancia perceptual entre dos fichas consecutivas es constante, e igual a la mínima diferencia perceptible (mdp) por un observador (Luque et al., 2001).



Figura 2 – Test de Color de Farnsworth-Munsell (Colorlite, 2024)

Aunque esta prueba es más difícil de aplicar y desarrollar que el test de Ishihara, ofrece una mayor capacidad diagnóstica. Si el especialista sospecha de una alteración adquirida en la visión del color, se recomienda realizar la prueba monocularmente (usando un solo ojo).

3. Metodología

Para el desarrollo del sistema se adoptó un enfoque iterativo e incremental basado en metodologías ágiles, con énfasis en la experiencia del usuario como factor clave de calidad (O. T. Gómez et al., 2010). El oftalmólogo, en calidad de usuario final, participó activamente como sujeto evaluador durante todo el proceso, validando continuamente los avances funcionales.

Se empleó el framework SCRUM para facilitar la comunicación continua con los stakeholders y asegurar entregas parciales en periodos cortos, lo que permitió una rápida adaptación a cambios y una mejor comprensión de los requisitos (Schwaber & Sutherland, 2020). En este contexto, se desarrolló la plataforma SIONDAL, que digitaliza dos pruebas visuales esenciales: el Test de Ishihara y el Test de Farnsworth-Munsell. Aunque el sistema no realiza una clasificación detallada del tipo de alteración cromática, sí proporciona un diagnóstico general sobre los tonos que el paciente no logra distinguir.

El proceso de desarrollo se estructuró en cuatro etapas: requerimientos, diseño, implementación y evaluación. En la etapa de requerimientos se recopilaban datos mediante entrevistas, reuniones y visitas de campo. El diseño incluyó la elaboración de prototipos y el modelado de la base de datos. La implementación se ejecutó por medio de sprints que permitieron entregas continuas y funcionales. Finalmente, la evaluación se centró en comprobar la usabilidad y accesibilidad del sistema desarrollado.

3.1. Requerimientos

En la fase inicial se realizó una investigación para comprender los requisitos del sistema y la metodología de aplicación de los test de Ishihara y Farnsworth-Munsell. Esto permitió diseñar una entrevista estructurada al Product Owner, cuyas preguntas fueron definidas previamente y compartidas con antelación. La entrevista reveló que el

diagnóstico automático es viable con el test de Farnsworth-Munsell, pero no con el de Ishihara, que requiere interpretación experta.

Además, se establecieron algunas restricciones para la plataforma SIONDAL. El diagnóstico generado por el test de Farnsworth-Munsell debe ser editable para que el especialista pueda optimizarlo, añadiendo o eliminando información según sea necesario. En cuanto al test de Ishihara, los resultados no identificarán el tipo de daltonismo del paciente, ya que el test puede personalizarse en términos de número y orden de las láminas. Las respuestas obtenidas en base a las preguntas planteadas facilitaron la generación de las historias de usuario épicas, ver Figura 3, y a partir de estas se derivaron las historias de usuario.

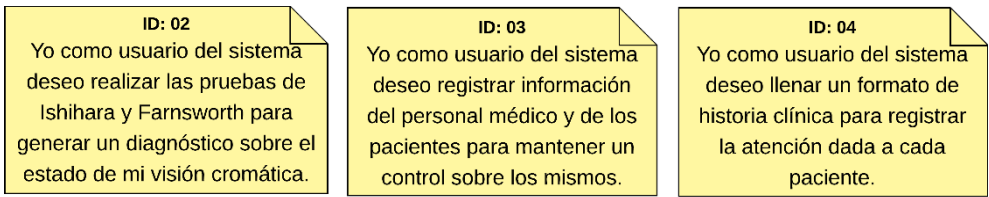


Figura 3 – Historias de usuario épicas

3.2. Diseño

Una vez terminada la elicitación de requerimientos se procedió a diseñar las interfaces y la arquitectura de la plataforma. Los resultados obtenidos en esta etapa proporcionaron una comprensión detallada de los entregables que se produjeron durante la fase de implementación, sirviendo como referencia esencial para el equipo de desarrollo. Para el desarrollo de la plataforma SIONDAL se utilizó una arquitectura específica, como se muestra en la Figura 4.

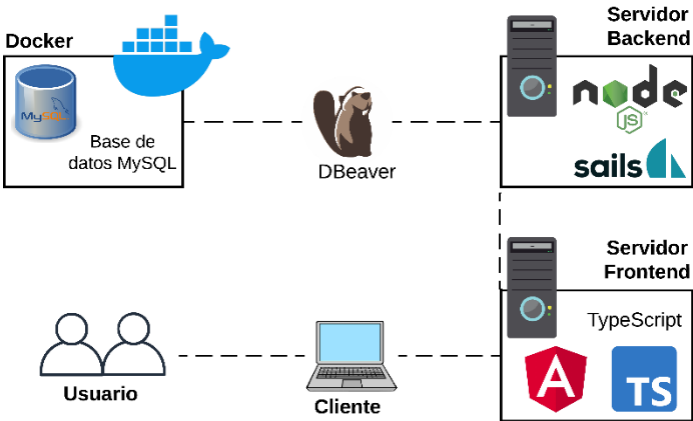


Figura 4 – Arquitectura de la plataforma SIONDAL

El sistema conto con una base de datos MySQL alojada en un contenedor Docker. El servidor backend, que utiliza tecnologías como Node.js y Sails.js, se conectó a esta base de datos mediante DBeaver. Para acceder a los recursos proporcionados por el backend, se implementó un servidor frontend utilizando TypeScript y Angular. Finalmente, un dispositivo terminal actuó como cliente, permitiendo a los usuarios interactuar con el sistema.

3.2.1. Diseño de arquitectura

Se implementó una base de datos relacional para gestionar eficientemente grandes volúmenes de información médica. Ver Figura 5. La tabla del centro médico centraliza las relaciones con pacientes, personal e imágenes, mientras que la historia clínica, con más atributos, se vincula directamente con los pacientes y los resultados de las pruebas de Farnsworth Munsell e Ishihara.

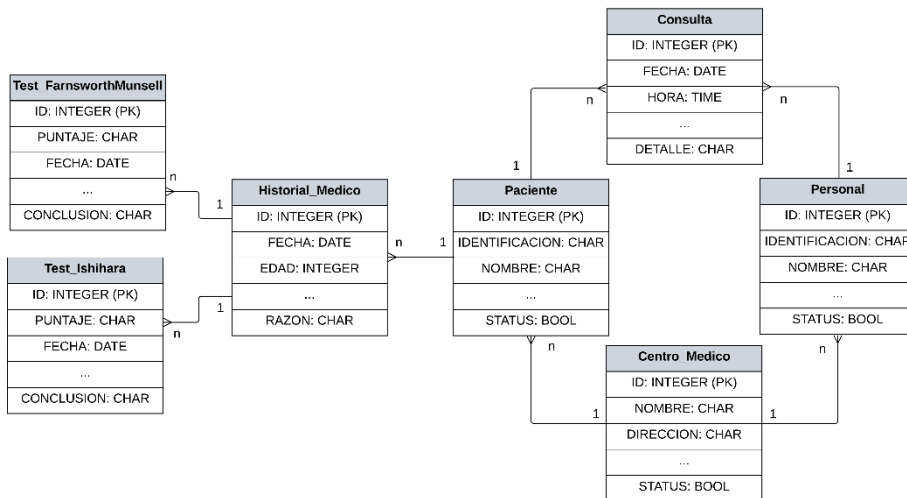


Figura 5 – Diagrama relacional de la base de datos de la plataforma SIONDAL

Como componente clave de la arquitectura utilizada, se implementó un servidor backend con tecnologías como Node.js y Sails.js. Este backend gestiona la capa de acceso a datos en aplicaciones o dispositivos, procesando las peticiones del servidor frontend y manejando tanto los datos recibidos como los enviados (Chapaval, 2025). Se utilizó Sails.js, basado en el framework Express, que facilita la gestión de peticiones en tiempo real mediante Socket.io y la creación de APIs RESTful (Sails JS, 2023). Además, se desarrolló una API en el servidor backend que recibe solicitudes del frontend y devuelve los recursos solicitados en formato JSON.

En el servidor frontend, encargado de la parte visual de la aplicación web, se definieron las interfaces, la estructura y la lógica necesarias para el correcto funcionamiento del sistema. Se utilizó AngularJS, un framework open-source desarrollado por Google, que

facilita la creación de aplicaciones web al evitar la repetición de código, ser modular y escalable, y utilizar TypeScript como lenguaje principal de programación (Angular JS, 2023).

3.2.2. *Diseño de interfaces*

El diseño de interfaces comenzó basándose en los requerimientos identificados, definiendo las principales entidades del sistema. Inicialmente, se creó un mockup utilizando la herramienta Figma, una aplicación web especializada en el diseño de proyectos. La principal ventaja de Figma es que proporciona un entorno con todas las herramientas necesarias para diseñar interfaces de usuario y simular su funcionalidad (Figma, 2024).

La primera versión de las interfaces fue evaluada utilizando las heurísticas de usabilidad de Jakob Nielsen, mejorando significativamente las interfaces originales mediante la adición de títulos informativos, mensajes de ayuda y error, y la información del usuario activo en el sistema.

3.3. Implementación

En esta fase, se integraron todos los fundamentos teóricos y procesos previamente descritos, facilitando la aplicación del Framework Scrum. La implementación comenzó con la base de datos, el componente esencial del sistema y el núcleo de todas las conexiones. Se estructuró en nueve sprints, cada uno con una duración de una a dos semanas. Los módulos para la gestión de personal y pacientes se desarrollaron primero debido a su simplicidad, mientras que los módulos para los test de Farnsworth-Munsell e Ishihara se abordaron en sprints posteriores.

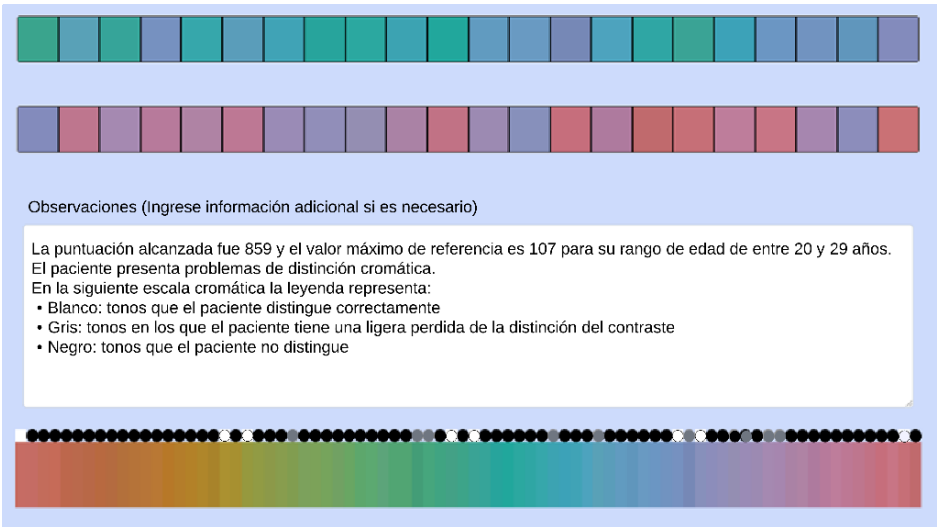


Figura 6 – Resultados del test de Farnsworth-Munsell digitalizado

La visualización de los resultados fue optimizada. Al finalizar el test de Farnsworth-Munsell, se presenta una conclusión en un campo de texto editable, permitiendo al personal médico agregar observaciones pertinentes. Además, se incluye una escala cromática que muestra, mediante tonos, las áreas donde el paciente tiene dificultades para distinguir colores: blanco para tonos distinguidos sin problemas, gris para dificultad leve y negro para tonos no distinguibles, ver Figura 6.

La prueba de Ishihara experimentó modificaciones significativas en su interfaz. Se mejoró la disposición de las imágenes para que el sujeto evaluado pueda enfocarse en una imagen a la vez. Las láminas se muestran en la pantalla con un tamaño mayor y de manera secuencial, mejorando la experiencia del usuario. A continuación, se presenta la Figura 7, que muestra la vista actualizada.



Figura 7 – Test de Ishihara digitalizado

El proceso de desarrollo fue verificado mediante pruebas unitarias, de integración y regresión, garantizando la estabilidad del sistema y la incorporación adecuada de nuevas funciones. La validación final se realizó con pruebas de aceptación orientadas al cumplimiento de los requisitos del usuario.

3.4. Evaluación

La ONU describe el diseño universal como una estrategia que busca crear productos, entornos, programas y servicios utilizables por todas las personas, sin necesidad de adaptaciones o diseños especializados (ONU, 2016).

La evaluación de usabilidad es crucial en el desarrollo de productos digitales, permitiendo detectar y abordar problemas que los usuarios puedan enfrentar. La accesibilidad, definida como la facilidad con la que las personas pueden utilizar una aplicación de software, se evaluó siguiendo las pautas establecidas por el Consorcio World Wide Web (W3C) y las Pautas de Accesibilidad al Contenido Web (WCAG) 2.1. (W3C, 2023). Se

aplicó un enfoque combinado para evaluar la accesibilidad en el software, utilizando tanto una herramienta automática como una evaluación manual realizada por expertos en accesibilidad.

3.4.1. Evaluación de Usabilidad

Esta sección detalla la evaluación de usabilidad de la plataforma web oftalmológica, cuyo objetivo es reducir el tiempo, la complejidad y los costos asociados con las pruebas de agudeza visual y distinción cromática. La evaluación siguió el protocolo propuesto por Abhay Rautela (Rautela, 2020) y utilizó el cuestionario de Lewis (Lewis, 2018). Este enfoque permitió evaluar si se lograron los objetivos propuestos para la plataforma oftalmológica, el protocolo se ilustra en la Figura 8.

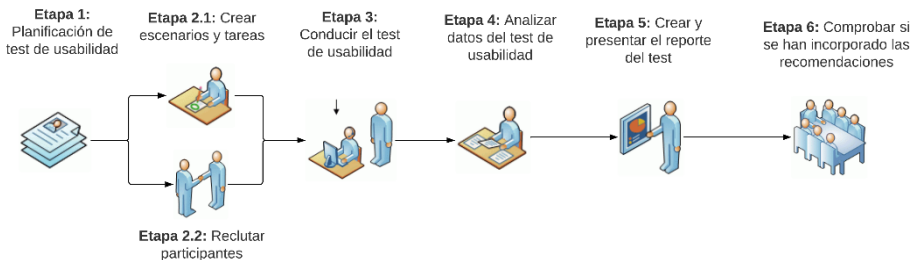


Figura 8 – Protocolo de evaluación de usabilidad

La evaluación contó con 15 usuarios, como recomienda Laura Faulkner, al realizar una evaluación de usabilidad con mínimo cinco usuarios, los resultados de los problemas de usabilidad detectados oscilan entre el 55% y el 85% (Faulkner, 2003). Durante la evaluación, un experto en usabilidad proporcionó una introducción al sistema y dos oftalmólogos y un optometrista guiaron a los usuarios en las pruebas. Los participantes completaron las tareas asignadas dentro del sistema y evaluaron cada pregunta del cuestionario de usabilidad utilizando una escala Likert de 7 puntos (Muguira, 2023), ver Tabla 1.

Escala	Descripción
1	Totalmente en desacuerdo
2	En desacuerdo
3	Levemente en desacuerdo
4	Ni de acuerdo ni en desacuerdo
5	Levemente de acuerdo
6	De acuerdo
7	Totalmente de acuerdo
N/A	No Aplica (N/A)

Tabla 1 – Escala de Likert

Al finalizar la evaluación, se analizaron los resultados y se contabilizaron los problemas de usabilidad identificados, además de considerar e incorporar las observaciones y recomendaciones proporcionadas por los evaluadores al equipo de desarrollo.

3.4.2. Evaluación de Accesibilidad

El rápido desarrollo de la tecnología de la información y la comunicación ha impactado significativamente en la oftalmología (Li et al., 2021). Por consiguiente, resulta fundamental diseñar y evaluar plataformas digitales accesibles que respondan a las diversas necesidades, optimizando tanto tiempos como costos en los servicios de salud. Este estudio se centró en la evaluación de diez interfaces web de la plataforma, que incluían funciones de gestión de pacientes y la administración de pruebas de distinción cromática.

Para evaluar el nivel de accesibilidad de la plataforma, se aplicaron las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) 2.1 (W3C, 2023) junto con la herramienta WAVE, con el objetivo de alcanzar el nivel AA de conformidad. El proceso contempló nueve fases, ver Figura 9, que incluyeron desde la definición de criterios hasta la verificación final de las mejoras. Se evaluaron interfaces relacionadas con la gestión de pacientes y la aplicación de pruebas cromáticas.

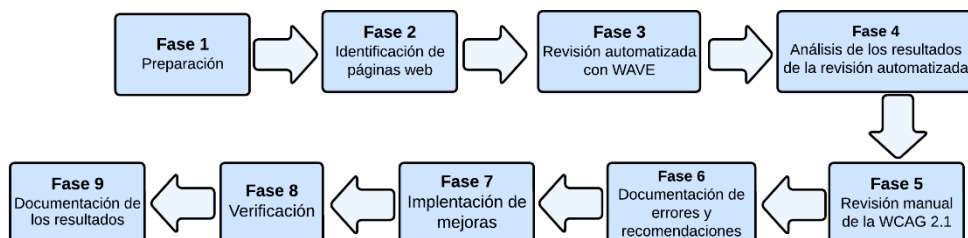


Figura 9 – Protocolo de evaluación de accesibilidad

La metodología combinó un análisis automatizado con WAVE —para identificar problemas como etiquetas ausentes, encabezados mal estructurados y bajo contraste— y una revisión manual por expertos, quienes priorizaron los hallazgos según su impacto, ver Figura 10. Posteriormente, se implementaron correcciones, se verificó su efectividad y se documentaron los resultados para futuras mejoras.

3.5. Limitaciones, desafíos y perspectivas futuras

Durante el desarrollo de la plataforma SIONDAL se enfrentaron diversos desafíos técnicos y operativos. Uno de los principales fue la automatización del diagnóstico: mientras se logró implementar un diagnóstico editable para el test de Farnsworth-Munsell, la interpretación del test de Ishihara aún requiere el criterio del especialista, evidenciando las limitaciones para digitalizar pruebas con alta carga subjetiva. Como proyección futura, se plantea incorporar inteligencia artificial para apoyar el diagnóstico, en complemento con la evaluación clínica.



Figura 10 – Evaluación de accesibilidad con herramienta Wave

Otro desafío relevante fue asegurar la accesibilidad y usabilidad conforme a las pautas WCAG 2.1, lo que implicó revisar interfaces, ajustar la navegación y mejorar el contraste visual, extendiendo los tiempos de desarrollo previstos.

Entre las principales debilidades se encuentra la necesidad de calibrar correctamente el dispositivo que ejecuta los test, garantizando la fidelidad cromática. Aunque esta configuración se realiza una sola vez, se recomiendan revisiones periódicas mínimas.

Como evolución futura, se prevé integrar modelos de aprendizaje automático para clasificar patrones de alteración cromática, mejorar la interpretación de resultados y establecer un sistema de soporte a la decisión clínica, lo cual fortalecería la precisión diagnóstica y la autonomía del sistema en contextos con limitada supervisión especializada.

4. Resultados

La plataforma oftalmológica SIONDAL fue desarrollada con éxito, cumpliendo los objetivos establecidos mediante la digitalización de pruebas clave de agudeza visual y discriminación cromática. Diseñada con un enfoque intuitivo, la herramienta mejoró significativamente la productividad del centro médico, optimizando el flujo de trabajo, acortando los tiempos de consulta y elevando la calidad de atención. La evaluación simultánea de pacientes, a través de tests digitales, permitió ahorrar tiempo y recursos físicos.

La digitalización redujo notablemente el tiempo de aplicación de las pruebas en comparación con los métodos tradicionales, automatizando el registro de resultados en las historias clínicas digitales y eliminando procesos de transcripción manual. Además, se logró un ahorro sustancial en materiales, al prescindir de las láminas impresas del test de Ishihara y los componentes físicos del test de Farnsworth-Munsell.

La incorporación de diagnóstico automatizado brindó apoyo clínico al profesional, mejorando la precisión y rapidez sin reemplazar su intervención, recomendándose siempre la validación por parte de un especialista.

La usabilidad de la plataforma fue evaluada mediante la escala System Usability Scale (SUS) adaptada por Lewis, aplicada a 15 usuarios finales que ejecutaron tareas relacionadas con gestión de pacientes, administración de pruebas y generación de reportes. Los resultados obtenidos fueron altamente favorables, con un puntaje de usabilidad del 95,71%, clasificado como “Excelente” según la escala de Bangor (Bangor et al., 2009). La Figura 11 muestra la distribución de las puntuaciones. Durante el proceso de retroalimentación se identificaron dificultades menores de navegación e interpretación de íconos, las cuales fueron corregidas mediante rediseños iterativos y nuevas rondas de pruebas.

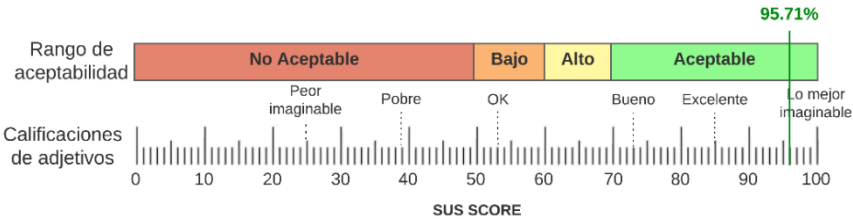


Figura 11 – Escala de Bangor

La evaluación de accesibilidad se realizó sobre 10 interfaces clave del sistema, empleando la herramienta automatizada WAVE junto con una revisión manual basada en las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) 2.1, nivel AA. Las páginas evaluadas incluían módulos de registro, gestión clínica y aplicación de pruebas oftalmológicas.

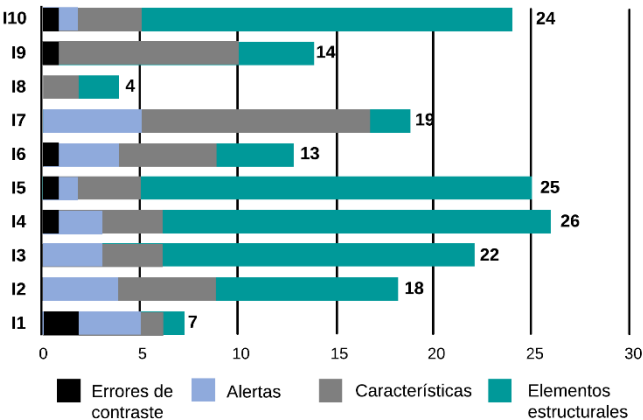


Figura 12 – Resultados de evaluación de accesibilidad

El análisis arrojó un cumplimiento del 97.13 % con las WCAG 2.1. Entre los principales errores detectados inicialmente estuvieron problemas de contraste de color, etiquetas faltantes en formularios y jerarquías incorrectas en encabezados HTML. Todos estos errores fueron documentados, priorizados e intervenidos conforme al protocolo de accesibilidad descrito en la sección de metodología (ver Figura 12). La verificación final, posterior a las correcciones, confirmó el cumplimiento con el estándar establecido.

5. Conclusiones y Trabajo Futuro

En conclusión, el desarrollo de la plataforma SIONDAL representa un avance sustancial en la digitalización de pruebas oftalmológicas, al integrar de forma efectiva herramientas como el test de Farnsworth-Munsell y el test de Ishihara en una solución digital accesible, intuitiva y clínicamente robusta. Esta plataforma no solo automatiza procesos clave, sino que también mejora la calidad de atención y optimiza la experiencia del usuario final.

Las pruebas tradicionales, si bien ampliamente utilizadas, presentan limitaciones relacionadas con el desgaste físico, la dependencia de condiciones lumínicas y el manejo manual de resultados. En cambio, las versiones digitalizadas implementadas en SIONDAL ofrecen administración simplificada, resultados automatizados y una integración directa con historias clínicas electrónicas. No obstante, se mantiene la necesidad de calibración de pantalla para preservar la fidelidad del color, y la supervisión profesional sigue siendo esencial para validar los diagnósticos.

El uso del marco ágil Scrum permitió un desarrollo flexible y centrado en el usuario, con entregas incrementales y validaciones constantes. La plataforma fue evaluada con el System Usability Scale (versión de Lewis), alcanzando un 95% de satisfacción, y con base en las pautas WCAG 2.1, alcanzó un 97,13% de cumplimiento en accesibilidad. Estos resultados evidencian una solución sólida, eficaz y alineada con estándares internacionales de calidad en salud digital.

Como proyección a futuro, se propone ampliar sus capacidades mediante funciones como exportación de resultados, envío digital de informes y una mayor integración con sistemas de mensajería clínica. Estas mejoras permitirán no solo fortalecer el diagnóstico de deficiencias visuales, sino también posicionar a clínicas oftalmológicas con una ventaja competitiva significativa en entornos altamente exigentes.

Referencias

- Ahmad, Z., Rahim, S., Zubair, M., & Abdul-Ghafar, J. (2021). Artificial intelligence (AI) in medicine, current applications and future role with special emphasis on its potential and promise in pathology: present and future impact, obstacles including costs and acceptance among pathologists, practical and philosophical considerations; A comprehensive review. *Diagnostic Pathology*, 16(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s13000-021-01085-4>
- Angular JS. (2023). Angular JS. <https://docs.angularjs.org/guide>
- Arana, G., & Castillo, D. (2003). Alteraciones de la visión al color en pacientes presbítas.

- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of usability studies*, 4(3), 114–123. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2835587.2835589>
- Beauchamp, M. S., Haxby, J. V., Jennings, J. E., & DeYoe, E. A. (1999). An fMRI version of the Farnsworth–Munsell 100-Hue test reveals multiple color-selective areas in human ventral occipitotemporal cortex. *Cerebral cortex*, 9(3), 257–263. <https://doi.org/10.1093/cercor/9.3.257>
- Birch, J. (1997). Efficiency of the Ishihara test for identifying red-green colour deficiency. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 17(5), 403–408.
- Carneiro, R., Toscano, J. C., & Díaz, T. (2019). Los desafíos de las TIC para el cambio educativo.
- Chapaval, N. (2025, junio 3). Qué es Frontend y Backend: características, diferencias y ejemplos. <https://platzi.com/blog/que-es-frontend-y-backend/>
- Cole, B. L. (2007). Assessment of inherited colour vision defects in clinical practice. *Clinical and experimental optometry*, 90(3), 157–175. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2007.00135.x>
- Colorlite. (2024). Farnsworth Munsell 84 Hue Test. <https://www.colorlitelens.com/farnsworth-munsell-100-color-blind-test-more>
- Cubillas Mercado, J. J., Quero Haro, M., Ramos Rodriguez, M. B., Ramos, M. I., Lopez, W., & Gonzalez Conejo, J. M. (2019). Use of the mobile application of Salud Responde for the optimisation of health resources. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2019.03.003>
- Faulkner, L. (2003). Beyond the five-user assumption: Benefits of increased sample sizes in usability testing. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 35, 379–383. <https://doi.org/10.3758/BF03195514>
- Fernández Jiménez-Ortiz, H. (2018). Valoración de la discromatopsia adquirida mediante nueva aplicación informática en pacientes con neuropatías ópticas desmielinizantes. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/15717>
- Figma. (2024). Figma. <https://www.figma.com/>
- GIMA. (2021). Ishihara Colour Test– Book of 38 plates. <https://www.gimaitaly.com/>
- Gómez, A., & Alonso, A. (2023). Aplicación para apoyo a terapias y diagnóstico visual (Bachelor). Universidad de la Salle.
- Gómez, O. T., López, P. P. R., & Bacalla, J. S. (2010). Criterios de selección de metodologías de desarrollo de software. *Industrial data*, 13(2), 70–74. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81619984009>
- Gómez Pérez, R. P. (2019). Process management to reduce waiting times in the outpatient clinic at the Carlos Andrade Marín Hospital (Universidad Andina Simón Bolívar). <http://hdl.handle.net/10644/6587>

- González Salazar, S. A., & Vigoya Bolívar, M. Á. (2023). Plataforma para diagnóstico y seguimiento de terapia visual. Universidad de la Salle.
- Guillén-Mendoza, R. V, Arteaga-Espinoza, S. X., & Figueroa-Suárez, J. A. (2017). Las tecnologías de información y comunicación (TIC's) en odontología. *Polo del Conocimiento*, 2(4), 120–128. <https://doi.org/10.23857/pc.v2i4.120>
- Hamamoto, R., Suvarna, K., Yamada, M., Kobayashi, K., Shinkai, N., Miyake, M., Takahashi, M., Jinnai, S., Shimoyama, R., & Sakai, A. (2020). Application of artificial intelligence technology in oncology: Towards the establishment of precision medicine. *Cancers*, 12(12), 3532. <https://doi.org/10.3390/cancers12123532>
- Inácio, D., Cardoso, A., & Lopes, E. (2022). Uma arquitetura de sistema específica para testes psicológicos computadorizados apoiados por técnicas de computação afetiva. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (47), 128–141. <https://doi.org/10.17013/risti.47.128-141>
- Instituto Oftalmológico Hoyos. (2024). Test Colores - ishihara. <https://iohoyos.com/pruebas-oftalmologicas/test-colores-ishihara/>
- Ishihara, S. (1918). Tests for color blindness. *American Journal of Ophthalmology*, 1(5), 376.
- León, F. J. N. (2020). Educación médica continua: oportunidades de innovación en la era digital. *Revista Médica Hondureña*, 88(Supl. 1), 41–44.
- Lewis, J. R. (2018). Measuring perceived usability: The CSUQ, SUS, and UMUX. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 34(12), 1148–1156. <https://doi.org/10.1080/10447318.2017.1418805>
- Li, J.-P. O., Liu, H., Ting, D. S. J., Jeon, S., Chan, R. V. P., Kim, J. E., Sim, D. A., Thomas, P. B. M., Lin, H., & Chen, Y. (2021). Digital technology, tele-medicine and artificial intelligence in ophthalmology: A global perspective. *Progress in retinal and eye research*, 82, 100900. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2020.100900>
- Ludwig, C., Shan, M., Nguyen, N. P., Choi, D., Ku, V., & Lam, C. (2016). The Future of Automated Mobile Eye Diagnosis. *Journal of Mobile Technology in Medicine*, 5, 44–50. <https://doi.org/10.7309/jmtm.5.2.7>
- Luque, M., De Fez, M., & Diez, M. (2001). Directrices para la administración y puntuación del test Farnsworth-Munsell de 100 tonos. *Ver y oír*, 413–420. <http://hdl.handle.net/10045/18427>
- Molina, N. P. (2008). Comparación de la efectividad de los optotipos Snellen y Bailey Lovie para medir la agudeza visual en pacientes entre cinco y doce años con ambliopía refractiva y ambliopía estrábica. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 6(10), 19–28. <https://ciencia.lasalle.edu.co/svo/vol6/iss10/2/>
- Morales Fernandez, S. I. (2019). Sistema informático basado en el diagnóstico clínico para la gestión documental en los consultorios de oftalmología, 2019. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/39579>

- ONU. (2016). Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. <https://www.coe.int/es/web/compass/convention-on-the-rights-of-persons-with-disabilities>
- Opeluce Team. (2022, mayo 15). Examen de la vista: ¿en qué consiste y cuáles son los tipos más comunes? <https://www.opeluce.com.pe/blog/examen-de-la-vista/>
- Pérez Martinot, M. (2017). Uso actual de las tecnologías de información y comunicación en la educación médica. *Revista medica herediana*, 28(4), 258–265.
- Pulido, D. A. A., Quintero, P. A. A., & Reina, F. A. (2022). Prototipo electrónico BlindTI como herramienta de aprendizaje para niños en condición de discapacidad visual. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (48), 5–22. <https://doi.org/10.17013/risti.48.5-22>
- RAE. (2024). Definición Oftalmología. <https://dle.rae.es/oftalmolog%C3%ADa>
- Rautela, A. (2020). The Usability Testing Process. En *Cone Trees*. <https://www.conetrees.com/articles/the-usability-testing-process-diagram/>
- Rivera, E., Martínez, S. E., & López, R. E. (2017). Comparación de la efectividad del test Farnsworth Munsell 100 Hue computarizado frente a su versión manual estándar. *Revista Ciencias de la Salud y Educación Médicas*, 1(1), 36–44.
- Rivera, M. M., Díaz, A. P., Reich, J. C., Gallegos, J. P. P., & Zezzatti, A. O. (2018). Identificador de semáforos mediante un algoritmo PSO como clasificador de color en conjunto con detección de área de interés mediante algoritmo K-means. *Big Data Analytics: Una perspectiva multidisciplinaria para la mejora del proceso de toma de decisiones en las organizaciones*, 275.
- Rodriguez-Carmona, M., Evans, B. E. W., & Barbur, J. L. (2021). Color vision assessment-2: Color assessment outcomes using single and multi-test protocols. *Color Research & Application*, 46(1), 21–32. <https://doi.org/10.1002/col.22598>
- Sails JS. (2023). Sails JS. <https://sailsjs.com/>
- Salih, A. E., Elsherif, M., Ali, M., Vahdati, N., Yetisen, A. K., & Butt, H. (2020). Ophthalmic wearable devices for color blindness management. *Advanced Materials Technologies*, 5(8), 1901134. <https://doi.org/10.1002/admt.201901134>
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). La guía definitiva de Scrum: las reglas del juego. <https://repositorio.uvm.edu.ve/handle/123456789/59>
- Sevilla Rubio, J. C. (2019). La salud digital en cardiología y electrocardiografía: presente y futuro. *Enfermería en cardiología: revista científica e informativa de la Asociación Española de Enfermería en Cardiología*, 78, 29–36.
- The Galaxy Community. (2022). The Galaxy platform for accessible, reproducible and collaborative biomedical analyses: 2022 update. *Nucleic Acids Research*, 50, W345–W351.
- Universidad de Navarra. (2021). Test de Farnsworth - Munsell. <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/test-farnsworth>

- Vilela, M. A. P., Arrigo, A., Parodi, M. B., & da Silva Mengue, C. (2023). Smartphone Eye Examination: Artificial Intelligence and Telemedicine. *Telemedicine and e-Health*, 30(2), 341–353. <https://doi.org/10.1089/tmj.2023.0041>
- W3C. (2023). WCAG 2.1. <https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/>
- Yani, A. (2018). Utilization of technology in the health of community health. *Promotif: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(1), 97–103. <https://doi.org/10.56338/pjkm.v8i1.235>
- Yanto, A. B. H., Fauzi, A., Maulana, A., Permana, R., & Utami, D. Y. (2022). Color Blind Detection Application Design Using The Ishihara Method Using The Android OS Platform. *INFOKUM*, 10(5), 227–235. <https://infor.seaninstitute.org/index.php/infokum/article/view/889>
- Zarazaga, A. F., Vásquez, J. G., & Royo, V. P. (2019). Revisión de los principales test clínicos para evaluar la visión del color. *Archivos de la sociedad española de oftalmología*, 94(1), 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.oftal.2018.08.006>

Impacto del pensamiento computacional desde una mirada interdisciplinaria en la educación superior

Horacio Gómez Rodríguez¹, María Obdulia González Fernández¹,
César Eduardo Aceves Aldrete¹

horacio.gomez@cualtos.udg.mx; ogonzalez@cualtos.udg.mx; caceves@cualtos.udg.mx

¹ Universidad de Guadalajara, Av. Juárez 976, Col Americana, Americana, 44100 Guadalajara, Jal., México.

DOI: 10.17013/risti.57.39–54

Resumen: Este estudio muestra los resultados de una intervención para desarrollar habilidades de pensamiento computacional (PC) en 39 estudiantes universitarios de diversas carreras. Se empleó una metodología cuantitativa descriptiva con un diseño correlacional para fortalecer la cohesión e interdisciplinariedad en la resolución de los problemas. Se midió el nivel de PC a partir de ocho elementos. El instrumento de evaluación partió de una serie de preguntas y ejercicios que los estudiantes resolvieron una vez que se terminó el taller denominado Tecnologías para todos (TPT). Los resultados muestran una correlación positiva entre las carreras, destacando los estudiantes de ciencias de la computación, quienes desarrollaron con mayor facilidad esta habilidad. Se concluye que el PC es una competencia esencial para el aprendizaje interdisciplinar, y se resalta la importancia del aprendizaje cooperativo para lograr aprendizajes significativos.

Palabras-clave: pensamiento computacional; aprendizaje interdisciplinario; competencias digitales; educación superior.

Impact of Computational Thinking from an Interdisciplinary Perspective in Higher Education

Abstract: This study presents the results of an intervention aimed at developing computational thinking (CT) skills in 39 university students from various academic disciplines. A descriptive quantitative methodology with a correlational design was employed to strengthen cohesion and interdisciplinarity in problem-solving. The level of CT was measured based on eight elements. The evaluation instrument consisted of a series of questions and exercises that students completed after finishing the workshop titled Technologies for All (TPT). The results show a positive correlation across disciplines, with computer science students demonstrating the greatest ease in developing this skill. It is concluded that CT is an essential competency for interdisciplinary learning, highlighting the importance of cooperative learning in achieving meaningful learning outcomes.

Keywords: computational thinking; interdisciplinary learning; digital skills; higher education.

1. Introducción

El desarrollo de las tecnologías de la comunicación y de la información TIC es global, por ende se demanda de un conjunto de competencias digitales. Por lo que los puestos de trabajo demandan cada vez más competencias digitales avanzadas de acuerdo al Foro Económico Mundial (2020). Estas tendencias revelan la importancia de la integración del PC en todas las áreas de conocimiento como una capacidad en los estudiantes de nivel superior.

El PC, es definido como un proceso cognitivo en el que se involucran un conjunto de capacidades mentales que permiten el resolver problemas complejos mediante la aplicación de estrategias informáticas (Wing, 2006; Ortega y Asensio, 2021). Algunas de estas habilidades se encuentran la descomposición, el reconocimiento de patrones, la abstracción, y el diseño algorítmico. A partir de estas capacidades, el ser humano es capaz de abordar problemáticas complejas en diversos contextos profesionales.

Las habilidades antes mencionadas se consideran transversales y claves para la educación superior (Villa et al., 2020), debido a que se relacionan directamente con las competencias digitales. Así se fortalecen habilidades de orden superior como la capacidad de análisis, la algorítmica, y resolución de problemas. Autores como Zapata (2015); Rosas et al. (2017) afirman que el pensamiento crítico es adyacente a las habilidades de abstracción y descomposición, el reconocimiento de patrones y el diseño algorítmico (Pérez, 2021), puesto que ayuda a generar soluciones innovadoras sumadas a estas habilidades, cuando se trabaja en PC se fomentan habilidades blandas como la colaboración, el pensamiento crítico y la creatividad (Zacharis y Niros, 2020).

Se resalta la importancia del proceso de abstracción como una habilidad esencial para la construcción y representación computacional crucial para un entorno educativo interdisciplinario (Acevedo et al., 2022). Dicha interdisciplinariedad en la educación superior no solo enriquece el aprendizaje individual, sino que también prepara a los estudiantes para abordar problemas complejos de manera integral. Según Pearson Latam (2023) el combinar las disciplinas logra en el estudiante que plantee soluciones potentes y acordes a los problemas actuales en un mundo en constante cambio global.

De acuerdo con Acevedo et al. (2022) afirma que el PC no solo es un elemento clave de la mejora educativa, además contribuye al desarrollo integral para la construcción de una ciudadanía libre y democrática para enfrentar desafíos, destacando la necesidad de preparar estudiantes críticos e independientes para resolver problemas de manera lógica.

El PC es transversal, al integrar la informática y las ciencias cognitivas, permitiendo el abordaje de problemas desde diferentes áreas. Por lo cual el PC impacta de manera importante, tanto en las disciplinas tecnológicas, como aquellas que no lo son, al fomentar la integración y el desarrollo para mejorar las competencias (Guamán et al., 2019). Ejemplo de ello son titulaciones como Negocios Internacionales que integra el PC para optimizar estrategias comerciales mediante análisis predictivos, mientras que en Veterinaria permite diseñar algoritmos que ayudan en diagnósticos basados en síntomas del animal. Por lo que el fomentar el PC computacional apoya a los estudiantes a mejorar sus habilidades tecnológicas y fortalecer sus habilidades para el trabajo en equipo y la resolución de problemas de manera estructurada.

El PC se asocia con el aprendizaje STEAM (Ciencia, tecnología, ingeniería, matemáticas y Arte), puesto que se ha comprobado su efectividad para mejorar el aprendizaje de las matemáticas en estudiantes universitarios (Vilchez y Ramón, 2024). Así mismo existe evidencia de resultados positivos al evaluar el aprendizaje de los estudiantes, tal es el caso de los estudios de George et al. (2023), Rosas et al. (2017) y Laura y Bedregal (2022) quienes demostraron un rendimiento académico positivo al implementar aplicaciones basadas en la educación 4.0 y la programación.

Existen experiencias en las que se involucra el aprendizaje de la programación y la robótica con el fin de desarrollar un PC Del Álamo et al. (2021), y consideran que las habilidades PC son una evolución del pensamiento lógico y crítico. Otra de las estrategias pedagógicas relacionadas con el PC son aquellas que apuestan por el aprendizaje activo, (González et al., 2021); donde se defiende que el aprendizaje se da a partir de la manipulación de diversos materiales en la que implica plantear ideas y resolver problemas, como es el caso del uso de robots y herramientas computacionales. Por su parte, Hijon et al. (2024) menciona que la tecnología permite construir activamente el conocimiento mediante la experimentación y la reflexión.

Es a través de las diversas interacciones entre docentes y estudiantes que el estudiante va construyendo su conocimiento. Por lo que la relevancia del PC también radica en su capacidad para fomentar competencias colaborativas y de resolución de problemas. Según Rodríguez et al. (2021), el desarrollo del PC es una oportunidad para que los universitarios construyan significativamente las habilidades tecnológicas emergentes, destacando las diferentes áreas disciplinares.

Este artículo tiene como objetivo analizar el impacto del taller TPT en pro de habilidades de PC en un contexto interdisciplinario con universitarios. Así mismo comprobar como la interdisciplinariedad es una oportunidad para construir modelos para el desarrollo de habilidades del siglo XXI (Carvajal, 2010).

Por lo que se presenta una propuesta de intervención educativa, que se considera innovadora al promover el PC de manera interdisciplinar con diferentes estudiantes de educación superior de las carreras de ingenierías, medicina, psicología y las ciencias económica, administrativa. Se parte del principio de que el trabajo colaborativo e interdisciplinar (Adell et al., 2019), fortalece las habilidades al generar soluciones más completas y creativas a los retos planteados en el taller. La evaluación de esta propuesta busca el proporcionar herramientas y formas de diseños de intervención del PC en el nivel superior.

2. Metodología

El diseño metodológico de la investigación es de carácter descriptivo, correlacional, a partir de una propuesta de intervención educativa mediante el taller interdisciplinar denominado TPT, valorando su efectividad y relación con el desarrollo de habilidades de PC entre los diferentes programas educativos. Las variables que fueron consideradas para la mediación fueron: género, carrera académica y tipo de dispositivo tecnológico.

Las hipótesis planteadas para este trabajo son:

- Existe una relación entre el desarrollo de los componentes del PC y el trabajo interdisciplinario entre diferentes carreras.
- El tipo de dispositivo tecnológico influye sobre el desempeño en la resolución de problemas de PC.

Los talleres de integración que ofrece la universidad, buscan fomentar el PC y el desarrollo de las habilidades transversales, promoviendo la interacción entre disciplinas y fortalecer las competencias de los estudiantes de educación superior.

2.1. Participantes

El contexto del estudio fue con alumnos de diferentes carreras del nivel superior, los participantes fueron estudiantes de los talleres de formación integral, a partir de la técnica de muestreo intencional de sujetos voluntarios compuesta por 39 estudiantes inscritos en los talleres durante el periodo académico 2024B, seleccionados mediante un muestreo por conveniencia. Este criterio consideró la inscripción activa en los talleres y la disponibilidad de los estudiantes para participar en el estudio. La distribución por carreras fue la siguiente (ver tabla 1).

Carrera	Número de estudiantes	Porcentaje (%)
Ingeniería en Computación	26	66.7%
Medicina	5	12.8%
Psicología	2	5.1%
Veterinaria	1	2.6%
Negocios Internacionales	2	5.1%
Odontología	1	2.6%
Contaduría	1	2.6%
Abogacía	1	2.6%
Total	39	100%

Tabla 1 – Distribución áreas de conocimiento

La tabla refleja el resultado de cada una de las carreras, cantidad de estudiantes y los porcentajes que tomaron el curso de TPT, lo cual subraya el interés de las actividades relacionadas con el PC. Sin embargo, la diversidad académica en los talleres muestra su capacidad para atraer a estudiantes de disciplinas no tecnológicas, enriqueciendo el ambiente interdisciplinario y fomentando el intercambio de perspectivas entre los alumnos al trabajar en equipo para resolver actividades.

2.2. Instrumentos de recolección de información

Para dicho estudio se adaptó el Test de PC TPC diseñado por Román (2015). El instrumento consta de 28 ítems distribuidos en cinco dimensiones como son: Concepto computación (Direcciones básicas, ciclos, condicionales, funciones simples); Entornos de interfaz (el laberinto); Estilos de alternativas de respuestas (Visual por flechas y visual por bloques); Existencia o inexistencia de anidamientos y Tarea requerida

(secuenciación, complemento y depuración). La distribución de los ítems son 24 preguntas y 6 problemas. Además de agregar dos preguntas para medir la autopercepción del rendimiento en el curso.

El instrumento empleado fue diseñado para estudiantes de secundaria, lo cual hubo la necesidad de adaptarlo al nivel universitario y adecuarlo a las características de la población que asistía al taller, puesto que evaluar el PC debe de considerar como indicadores que midan tanto las habilidades técnicas y capacidades de aplicación de conceptos computacionales contextualizados. (Rojas y García, 2020). La validación del instrumento se realizó Román (2015) obteniendo resultados positivos. Así mismo se realizó pruebas de correlación entre preguntas para el test adaptado en adultos demostrando una relación positiva moderada entre varias las preguntas, destacándose las correlaciones más fuertes entre las preguntas 19 y 22, lo que sugiere que estas pueden estar evaluando habilidades similares. También hay algunas correlaciones negativas débiles, lo que indica que ciertas preguntas podrían estar midiendo diferentes aspectos del PC.

2.3. Procedimiento

Fase 1. Diseño e implementación de la experiencia

Para el diseño de la implementación se diseñaron ocho sesiones con el objetivo de desarrollar el PC a partir de los ocho elementos que propone Román (2015) como son: Abstracciones y generalizaciones de patrones (incluidos modelos y simulaciones); Procesamiento sistemático de información; Sistemas de símbolos y representaciones; Nociones algorítmicas de flujo de control; Descomposición estructurada de problemas (modularización); Pensamiento iterativo, recursivo y paralelo; Lógica condicional; Limitaciones de eficiencia y desempeño; Depuración y detección sistemática de errores.

En la tabla 2 se describe la planificación de cada una de las actividades en el taller.

Actividad	Descripción
<i>Introducción al pensamiento computacional</i>	Se explicaron los conceptos básicos y se presentaron ejemplos cotidianos.
<i>Resolviendo problemas con pseudocódigo</i>	Se escribieron soluciones a problemas simples utilizando pseudocódigo.
<i>Identificación de patrones</i>	Se analizaron conjuntos de datos o situaciones para identificar patrones y
<i>Diseño de algoritmos</i>	Se crearon algoritmos paso a paso para resolver problemas.
<i>Uso de herramientas computacionales</i>	Se usó software de programación básico como Scratch para implementar algoritmos.
<i>Reto de lógica y razonamiento</i>	Se resolvieron acertijos y problemas lógicos para fortalecer habilidades de razonamiento y pensamiento estructurado.
<i>Proyectos grupales en Scratch</i>	Los estudiantes trabajaron en equipo para diseñar una solución computacional a un problema real, desde la planificación hasta la implementación.
<i>Evaluación y retroalimentación</i>	Reflexión grupal sobre los aprendizajes, retos enfrentados y posibles mejoras en los procesos de resolución de problemas.

Tabla 2 – Planificación de actividades

Fase 2. Recolección de la información

El formulario fue administrado de manera presencial durante los talleres TPT. La aplicación se realizó en una sesión controlada de 30 minutos, asegurando condiciones uniformes para todos los participantes.

Fase 3. Análisis e interpretación

Para la interpretación de los datos se empleó las técnicas de estadística descriptiva, y correlacional utilizando el software estadístico de Julios AI para las correlaciones de las variables: Tipo de dispositivo-PC; Desempeño en preguntas - problemas; Dimensión del PC - programa educativo.

3. Resultados

3.1. Género y tecnología

El 84,6% de la muestra eran estudiantes varones, mientras que el 15.4% restante eran mujeres. Este desequilibrio podría deberse a factores culturales y sociales asociados con la naturaleza de los talleres utilizados. La baja proporción de mujeres que establece la necesidad de intervenciones que les alienten a participar en actividades asociadas con el PC en sí, aquí presentada y discutida para ciertos trabajos anteriores utilizados para aumentar el progreso en el nivel superior con antelación.

La totalidad de estudiantes que accedieron a la plataforma del taller con un celular se encuentra en un 79.5%; mientras que solo la cifra restante de un 20.5% utilizó una computadora. Por esta razón, se vuelve relevante identificar la necesidad de alinear las actividades del taller con las posibilidades tecnológicas, con el objetivo de maximizar la accesibilidad y la tasa de participación entre los alumnos. Dado que la información obtenida comprende varios resultados, se puede analizar la relación entre las variables y, en consecuencia, descubrir el progreso del PC dividido por carrera, género, dispositivo electrónico y otros factores.

En promedio, los hombres logran una calificación aproximadamente de 0.78 en preguntas y 0.41 en problemas, mientras que las mujeres tienen valores ligeramente menores. Sin embargo, la desviación estándar es bastante baja. Este hecho implica que la mayoría de las calificaciones se encuentran alrededor de los promedios, lo que sugiere que su rendimiento es bastante coherente dentro de cada grupo de género.

Los resultados por distribución en relación con el dispositivo utilizado muestran que los estudiantes que usan computadora tienen un rendimiento más alto en comparación con otros dispositivos. Esto se puede deber a la facilidad de uso y la familiaridad de usar computadoras para tareas académicas o simplemente porque la actividad en cuestión se presta más a una pantalla y un teclado más grande.

Los estudiantes que eligieron computadoras tienen una puntuación media de 0.75 para las preguntas, lo que es más alto que la puntuación promedio de otros tipos de dispositivos. La elección del dispositivo influye en el rendimiento del usuario en las tareas computacionales, y puede ser que se trate de factores ergonómicos o de interfaz. La correlación entre preguntas y problemas es débil de 0.29, puesto que evalúan diversos aspectos del PC.

Los resultados de correlación por carrera revelan una variabilidad significativa en el rendimiento. Sin embargo, al ser una muestra pequeña de algunos programas educativos, representa una interpretación de esta estadística menos concluyente. Los promedios se encuentran en un espectro mucho más amplio en diferentes carreras, lo que indica que las habilidades previas o directas de un campo específico podrían afectar los resultados. Esto parece sugerir que la formación académica inherente de la carrera de una persona podría jugar un papel significativo en cómo abordan y resuelven los problemas de computadoras los estudiantes. Los problemas muestran correlaciones más débiles entre sí (ver figura 1). El “PROBLEMA II - ROBOT” y “PROBLEMA III - SEGWAY” muestran la correlación positiva más fuerte; hay algunas correlaciones negativas entre problemas, sugiriendo que evalúan diferentes aspectos del PC.

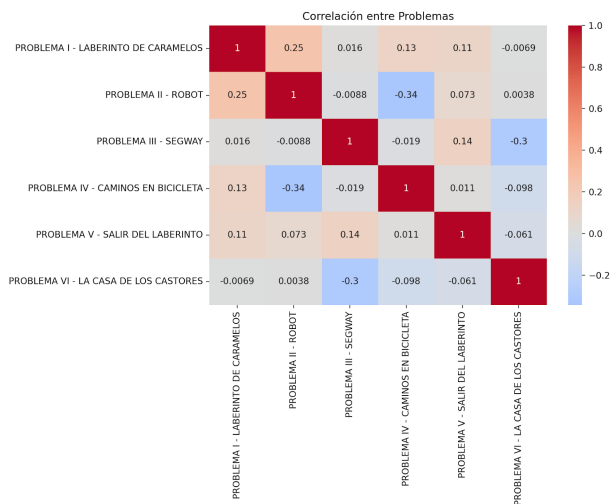


Figura 1 – Correlación entre problemas

La figura 2 muestra cómo los estudiantes de Ingeniería en Computación realizan cada uno de los problemas en comparación con las demás carreras. Los estudiantes obtuvieron su mejor puntuación en ‘PROBLEMA V – SALIR DEL LABERINTO’ de aproximadamente 0.73, lo cual es significativamente más alto que muchas otras carreras. Pero los alumnos tuvieron un rendimiento más competitivo, en particular en comparación con Contaduría y Negocios Internacionales, que tienen puntuaciones más bajas en la mayoría de los problemas; sin embargo, en “PROBLEMA IV - CAMINOS EN BICICLETA”, su puntuación fue de aproximadamente 0.19, lo que indica que hay áreas donde necesitan mejorar.

Se han identificado varios factores distintos que influyen en el rendimiento o la percepción de las tareas de resolución de problemas de PC. Estos hallazgos podrían ser útiles para los educadores y los diseñadores de currículos, quienes podrían tratar de estructurar experiencias de aprendizaje de tal manera que puedan abordar las desventajas y capitalizar las fortalezas asociadas con varios grupos de estudiantes.

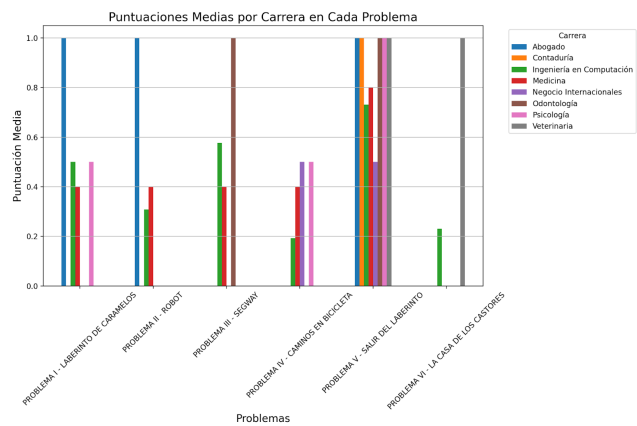


Figura 2 – Puntuaciones medias por carrera en cada problema

3.2. Correlación entre dimensiones y carreras

Las preguntas y los problemas fueron clasificados en categorías de acuerdo a las dimensiones del PC, de acuerdo a la tabla 3.

Dimensión	Número de Pregunta*/ Problema**
Abstracciones y generalizaciones de patrones (incluidos modelos y simulaciones)	*p3
Procesamiento sistemático de información; Sistemas de símbolos y representaciones	p4, p7, p9
Nociones algorítmicas de flujo de control	p1, **pp1, pp2, pp3, pp4, pp5, pp6
Descomposición estructurada de problemas (modularización)	p17, p18, p19,p21, p22, p23
Pensamiento iterativo, recursivo y paralelo	p5, p10, p15, p16, p21, pp5
Lógica condicional	p12, p13
Limitaciones de eficiencia y desempeño	p14, p16
Depuración y detección sistemática de errores	p2,p6, p8,p11,p20, p22, p24

*p Pregunta

**pp Problemas

Tabla 3 – Distribución de ítems por dimensión del PC

En la figura 3 se muestra un mapa de calor referente a la correlación entre categorías, se observa una correlación fuerte positiva entre la mayoría de las categorías, esto indica que los estudiantes que tienen un buen desempeño en una categoría tienden a tener buen desempeño en las demás. Las categorías 6 y 7 muestran una correlación más fuerte entre ellas, mientras que la categoría 3 tiene una correlación más débil con las demás.

En cuanto al desempeño por carrera, se obtuvo que Ingeniería en Computación fue la carrera que mantuvo un desempeño consistentemente alto en todas las categorías, en especial en la categoría 1 con 96.15% y en la categoría 2 con 92.31%. Médico Cirujano y Partero, también mostró un desempeño sobresaliente, con 100% en las categorías 1 y 2. En cambio, las carreras de Abogado y Psicología mostraron un desempeño más bajo en categoría 1 con 0%, pero mejor desempeño en las demás categorías.

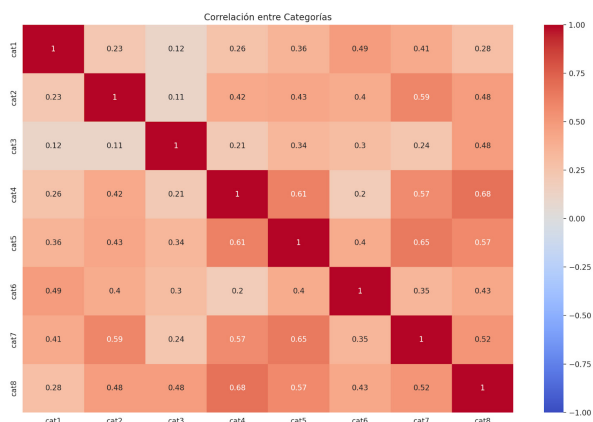


Figura 3 – Correlación entre categorías del PC

Es notable que en la categoría 3, la cual contiene los problemas prácticos, todas las carreras mostraron variabilidad, lo cual sugiere que esta categoría representa un desafío mayor independientemente de la carrera.

Es posible hacer el análisis por carrera, como se describe a continuación:

- Ingeniería en Computación: 96.15% en categoría 1, 92.31% en categoría 2, 78.85% en categoría 6 y 84.62% en categoría 7.
- Médico Cirujano y Partero: 100% en categorías 1 y 2, 96% en categoría 8.
- Psicología: 0% en categoría 1, 100% en categoría 2.
- Abogado: 0% en categoría 1.
- Contaduría: 80% en categoría 8, resultados moderados en las demás.
- Negocios Internacionales: 100% en categoría 1, 21.43% en categoría 3.
- Odontología y Veterinaria: fortalezas en algunas categorías, resultados variables en otras.

Los resultados muestran que ciertas habilidades de PC pueden estar desarrolladas en carreras del área de ingenierías, otras competencias se distribuyen de manera más uniforme entre las diferentes disciplinas. El desempeño entre categorías muestra la necesidad de un enfoque más integral en la enseñanza del PC, específicamente en la resolución de problemas prácticos de la categoría 3, donde todas las carreras muestran áreas de mejora.

La fuerte correlación entre ciertas categorías también sugiere que podrían existir habilidades básicas que, una vez desarrolladas, contribuyen al mejoramiento del

desempeño en diversas dimensiones del PC. Esto podría ser útil para el diseño de programas educativos que buscan fortalecer estas competencias de manera eficaz.

3.3. Autoevaluación de Competencias

En relación con la percepción de los estudiantes sobre su rendimiento y habilidades, los gráficos (ver figura 4) reflejan una autovaloración mayormente positiva. Ambas evaluaciones muestran una distribución relativamente normal. La mayoría de los participantes se evalúan a sí mismos con puntuaciones entre 7 y 8 en una escala de 10, tanto en su rendimiento en pruebas como en sus habilidades en informática. Esta autoconfianza en sus competencias digitales es relevante, ya que facilita su participación en talleres que requieren el uso de herramientas tecnológicas o metodologías basadas en plataformas digitales.

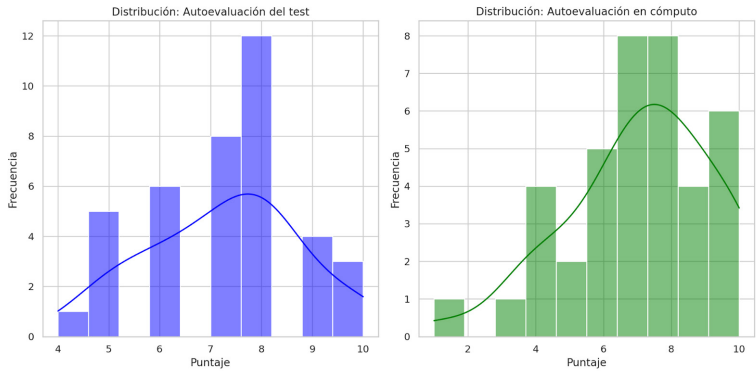


Figura 4 – Distribución de la autoevaluación

4. Discusión

El análisis de los resultados obtenidos indican que la importancia del PC como una competencia esencial necesaria en la educación interdisciplinaria útil en el contexto de la educación superior. Después de analizar los hallazgos obtenidos, se observan patrones significativos que muestran los logros logrados y aquellas líneas que necesitan mayor atención.

El taller TPT permitió reconocer la relevancia de evaluar el PC a los estudiantes del nivel universitario. Algunas evidencias encontradas en los estudiantes de diferentes disciplinas presentan patrones de aprendizaje que impacta en cada una de sus carreras, y demostraron que la formación previa y la experiencia con el conocimiento disciplinar y habilidades influyeron en el resultado en la resolución de los problemas prácticos. Los estudiantes de la especialidad de Ingeniería en Computación obtuvieron mejores resultados que los alumnos de otras carreras, con un 66.7% en especial en el área algorítmica. Seguidos por Médico Cirujano y Partero con 12.8%, Psicología con 5.1%, y Negocios Internacionales con el 5.1%. Los resultados mostraron un progreso más uniforme, pero se demostraron soluciones originales centradas en la creatividad y la

innovación. Este enfoque permitió demostrar cómo las perspectivas no técnicas pueden aportar información importante de manera significativa al desarrollo del PC.

Al realizar el análisis de los resultados de la evaluación del PC en un contexto interdisciplinario, permitió identificar los beneficios del proceso de integración en varios programas académicos. Los talleres colaborativos ayudaron en el intercambio de ideas y estrategias entre estudiantes de diferentes carreras; reconocer los patrones de aprendizaje en de las habilidades técnicas, si no también las habilidades blandas, como los son el trabajo colaborativo y la comunicación. Por lo anterior, el PC se vuelve una herramienta clave para diseñar programas educativos más inclusivos, efectivos y de acuerdo a las necesidades de una población estudiantil de distintas carreras.

Un hallazgo clave fue la significativa brecha de género en la participación estudiantil: el 84.6% de los participantes fueron hombres, mientras que solo el 15.4% fueron mujeres. Este dato refleja una tendencia persistente en la enseñanza del PC y subraya la necesidad de implementar políticas y metodologías que promuevan la equidad en el acceso a estas competencias, fomentando la inclusión de mujeres en campos tecnológicos. Es esencial ofrecer talleres de estrategias pedagógicas en el nivel medio superior que incentiven la participación femenina en las ingenierías, especialmente ante la brecha de género observada en algunas competencias digitales. Aunque los hombres aún predominan en estos espacios, se debe garantizar una inclusión equitativa en la educación tecnológica (Adell et al., 2019).

A pesar de los logros, el estudio tiene ciertas limitaciones que deben tenerse en cuenta en la investigación futura. La muestra estuvo compuesta, principalmente, por estudiantes de disciplinas tecnológicas que se desarrollaron durante 12 sesiones, lo que podría afectar los resultados obtenidos. Además, sería relevante medir el rendimiento del PC a lo largo de un período más grande de tiempo.

El uso de herramientas tecnológicas influye en el rendimiento académico de los alumnos, por lo que futuras investigaciones pueden explorar cómo la inteligencia artificial y la realidad aumentada impactan el aprendizaje de los estudiantes. También permitieron mejorar la enseñanza de las tecnologías, al ofrecer experiencias diferentes. Campbell (2022) señalan que las simulaciones y entornos virtuales fomentan la participación entre los estudiantes, fortalecen la comprensión y facilitan la aplicación de lo aprendido en la vida real. Además, estas experiencias ayudan a desarrollar nuevas habilidades claves y exigencias para enfrentar los nuevos desafíos en constante evolución del mundo laboral.

El estudio también revela una variación considerable en el desempeño en función del tipo de dispositivo empleado para realizar el test. Los alumnos que usaron una computadora lograron en promedio 0.75 puntos en pruebas de PC, mientras que los usuarios que utilizaron sus dispositivos móviles alcanzaron solo 0.41 puntos. El resultado indica que el uso de herramientas más robustas, como las computadoras, puede potenciar el aprendizaje y la resolución de problemas, lo que plantea la importancia de garantizar el acceso justo a dispositivos adecuados en los entornos educativos.

Ogebo y Ramnarain (2022) subrayan la importancia de la descomposición, la abstracción y el diseño para solucionar problemas en ambientes de trabajo tecnológicos. Incluir estas competencias en la educación superior mejora las oportunidades laborales y promueve la formación de profesionales más competentes. La estrategia educativa del

PC puede fusionar la tecnología con la reflexión (Balladares et al., 2016). Su análisis facilita entender el efecto de las TIC en el aprendizaje interdisciplinario y la adquisición de nuevas competencias en diversas áreas.

Con las actividades prácticas desarrolladas en el taller de TPT se identificaron diferencias en el rendimiento para cada una de las carreras, mientras que los estudiantes de Ingeniería en Computación destacaron en la categoría de abstracción y generalización (96.15%), los alumnos de Médico Cirujano y Partero mostraron un 100% de desempeño en el análisis de datos, y los de Negocios Internacionales lograron un 100% en optimización de procesos. Estas actividades grupales pueden ayudar a vincular los conceptos teóricos del PC para mejorar el aprendizaje. Además, el uso de actividades interdisciplinarias y tecnologías avanzadas dentro del taller beneficiaron la construcción activa del conocimiento (ver tabla 4).

Disciplina	Habilidades desarrolladas	Impacto observado
Ingeniería en computación	Diseño algorítmico, resolución de problemas complejos	Mejora en la eficiencia de programación y optimización de procesos
Medicina	Análisis de datos clínicos, abstracción	Mejora en la capacidad de análisis y precisión en diagnósticos mediante simulaciones
Psicología	Modelado computacional de conductas	Desarrollo de simulaciones precisas para estudios de comportamiento
Negocios Internacionales	Optimización de procesos, análisis de patrones	Habilidad para identificar tendencias y optimizar estrategias comerciales
Veterinaria	Resolución de casos clínicos	Aplicación de algoritmos para diagnósticos y planificación de tratamientos

Tabla 4 – Impacto del PC en diferentes disciplinas

Se aplicó la prueba de inferencial de chi-cuadrada para correlacionar la variable de Sexo y carrera con el nivel de PC, obteniendo como resultado para carrera χ^2 3.195.833 y el P valor de 4.13 E-05 y para sexo el χ^2 2.991.477 y P valor de 83.704. Para la variable Carrera, varias dimensiones (1, 2, 5, 6, 7) y el Total muestran valores de $p < 0.05$, lo que indica asociación estadísticamente significativa. Para la variable Sexo, ningún contraste pasó el umbral de 0.05; la evidencia de asociación es débil o nula.

5. Conclusión

Este estudio ha demostrado la pertinencia para evaluar el impacto que tiene el PC en el desarrollo de las habilidades clave en la educación superior con un impacto importante. La implementación del taller TPT permitió evaluar el PC, es una herramienta para mejorar las habilidades analíticas, algorítmicas y de solución de problemas, las cuales obtienen los estudiantes de perfiles diferentes. Para lograr lo anterior, se realizaron prácticas que permitieron la implementación del PC en distintos contextos de la vida real, demostrando así sus capacidades para adaptarse a las necesidades específicas de distintas áreas académicas.

Los talleres culturales que se ofertan en el Centro Universitario de los Altos, permitió encontrar hallazgos relevantes de la comunidad estudiantil; el taller TPT, atrajo a estudiantes de diferentes carreras pero siendo mayoría hombres y de la carrera de Ingeniería en Computación. Una de las ventajas que presenta este taller, es el uso de dispositivos móviles y computadoras, lo que facilita la participación de muchos estudiantes al no enfrentar una barrera técnica. Con esto también se logra el desarrollo de vínculos entre la comunidad universitaria al fortalecerlos y promoverlos.

Evaluar el PC en grupos de estudiantes, de diferentes carreras, es una forma de identificar patrones de aprendizaje y competencias iniciales; por lo que la importancia no solamente se refieren a disciplinas tecnológicas, sino que también pueden tener ventajas en otras áreas debido a que las competencias desarrolladas permiten resolver problemas desde un enfoque integral. También promovió la colaboración interdisciplinaria, lo que fortaleció tanto sus habilidades técnicas como su capacidad de trabajo en equipo, creatividad y comunicación, competencias esenciales, lo cual refuerza la idea de que la enseñanza debe ampliarse a diferentes áreas del conocimiento, fomentando un enfoque interdisciplinario en su implementación.

De acuerdo a los resultados de la correlación de la chi cuadrada se demostró que no existe diferencia significativa entre el sexo y el desarrollo del PC que se corrobora con el estudio sobre género y STEM de Rodríguez et al. (2024), donde las estudiantes de ingeniería reconocen su capacidad para afrontar con éxito los estudios puesto que comentan que las comparativas intergéneros sobre el rendimiento académico no les afectan.

Evaluar el PC en alumnos de distintas disciplinas es clave para diseñar entornos educativos inclusivos que los permita preparar para el mercado laboral y la era digital. Los resultados de este estudio son una base para futuras investigaciones de algunas prácticas educativas en diferentes áreas y su impacto que ofrecen en el éxito académico y profesional. Este enfoque no solo fortalece las nuevas habilidades de los estudiantes, sino que también mejora su rendimiento al fomentar la creatividad y la integración del nuevo aprendizaje.

Al integrar el PC en la educación superior es esencial para preparar a los alumnos y nuevas oportunidades para analizar el impacto en la educación. Es importante evaluar si estos resultados pueden aplicarse en otros contextos y su efecto en la empleabilidad y el desempeño académico. La implementación de estrategias pedagógicas accesibles permite a los estudiantes de carreras y géneros diferentes adquirir las competencias profesionales y transversales necesarias para mejorar la formación integral y preparar a las nuevas generaciones de los estudiantes para el mercado laboral.

5.1. Limitaciones del estudio

Una de las limitaciones encontradas es la forma en la que se seleccionó la muestra y el número de participantes, puesto que al ser una muestra censal intencionada de aquellos estudiantes que eligieron de manera voluntaria a partir de los talleres que la universidad ofrece cada semestre. Por lo que la muestra fue de carácter no probabilístico por conveniencia, lo que representa una limitante para generalizar los resultados. Como prospectiva se puede solventar utilizando una técnica de muestreo por conglomerados por grupos homogéneos agrupado por carreras.

5.2. Investigaciones futuras

Los hallazgos de este estudio abren nuevas posibilidades para profundizar en la investigación del PC en la educación superior, especialmente en contextos interdisciplinarios. La realización de estudios longitudinales para analizar cómo evoluciona el PC a lo largo del tiempo y saber si es posible adquirirla de forma específica con la integración de nuevos talleres académicos. Además, facilita el estudio de su transferencia al ámbito profesional, tanto en entornos tecnológicos, lo que contribuiría a comprender su impacto en la empleabilidad de los estudiantes egresados, considerando su aplicación a lo largo de su formación universitaria y después su integración en entornos profesionales.

Por otro lado, ampliar el alcance de futuras investigaciones a diferentes instituciones públicas y privadas permitiría identificar diferentes factores culturales, tecnológicos y académicos que pueden compartir y la forma que influyen en el desarrollo del PC. Evaluar estas competencias en diferentes contextos ayudaría a revelar desigualdades estructurales y las barreras digitales que existen y limitan el acceso equitativo a la tecnología y la educación digital. Balladares et al. (2016) destacan que la brecha digital no solo restringe el acceso a herramientas tecnológicas, sino que también amplifica las desigualdades en la adquisición de habilidades técnicas y académicas, dificultando la participación equitativa en programas educativos que dependen de estos recursos.

Referencias

- Acevedo Borrega, J., Valverde Berrocoso, J., & Garrido Arroyo, M. d. C. (2022). Computational Thinking and Educational Technology: A Scoping Review of the Literature. *Education Sciences*, 12(1), 1-16. <https://doi.org/10.3390/educsci12010039>
- Adell Segura, J., Llopis Nebot, M. Á., Esteve Mon, F. M., & Valdeolivas Novella, M. G. (2019). El debate sobre el pensamiento computacional en educación. *RIED Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 22(1), 197-213. <https://doi.org/10.5944/ried.22.1.22303>
- Balladares Burgos, J. A., Avilés Salvador, M. R., & Pérez Narváez, H. O. (2016). Del pensamiento complejo al pensamiento computacional: retos para la educación contemporánea. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, (21), 143-159. <https://doi.org/10.17163/soph.n21.2016.06>
- Campbell Rodríguez, V. M. (2022). La importancia del pensamiento computacional en la educación superior. *Brazilian Journal of Development*, 8(6), 48418-48435. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n6-377>
- Carvajal Escobar, Y. (2010). Interdisciplinariedad: desafío para la educación superior y la investigación. *Revista Luna Azul*, (31), 155-169. <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321727233012.pdf>

- Del Álamo Venegas, J. J., Alonso Díaz, L., Yuste Tosina, R., & López Ramos, V. (2021). La dimensión educativa de la robótica del desarrollo del pensamiento al pensamiento computacional en el aula. *Campo Abierto*, 40(2), 221-233. <https://doi.org/10.17398/0213-9529.40.2.221>
- Foro Económico Mundial. (2020, octubre 22). ¿Cuáles son las 10 mejores habilidades laborales para el futuro? El Foro Económico Mundial. <https://acortar.link/dwiSeB>
- George Reyes, C. E., Ruiz Ramírez, J. A., & López Caudana, E. O. (2023). Aprendizaje de los componentes del pensamiento computacional mediado por una aplicación virtual de la Educación 4.0 en el entorno del pensamiento complejo. *Educación*, 59(2), 281-300. 10.5565/rev/educar.1645
- González Fernández, M. O., Alejandra González Flores, Y., & Muñoz López, C. (2021). Panorama de la robótica educativa a favor del aprendizaje STEAM. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(2), 2301-1-2301-19. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i2.2301
- Guamán Gómez, V. J., Daquilema Cuásquer, B. A., & Espinoza Guamán, E. E. (2019). El pensamiento computacional en el ámbito educativo. *Sociedad & Tecnología*, 2(1), 59-67. <https://doi.org/10.51247/st.v2i1.69>
- Hijón Neira, R., Pizarro, C., French, J., & Palacios Alonso, D. (2024). Computational Thinking Measurement of CS University Students. *Applied Sciences*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/app14125261>
- Laura Ochoa, L., & Bedregal Alpaca, N. (2022). Incorporation of Computational Thinking Practices to Enhance Learning in a Programming Course. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(2), 194-200. <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0130224>
- Ogegbo, A. A., & Ramnarain, U. (2022). A systematic review of computational thinking in science classrooms. *Studies in Science Education*, 58(2), 203-230. <https://doi.org/10.1080/03057267.2021.1963580>
- Ortega Ruipérez, B., & Asencio, M. (2021). Evaluar el Pensamiento Computacional mediante Resolución de Problemas: Validación de un Instrumento de Evaluación. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 14(1), 153-171. <https://doi.org/10.15366/riee2021.14.1.009>
- Pearson Latam. (2023, abril 14). *La importancia de la interdisciplinariedad en la educación superior*. <https://acortar.link/soyAjsx>
- Pérez, J. (2021). Percepción de estudiantes universitarios sobre el pensamiento computacional. *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, 19(1), 111-127. <https://doi.org/10.4995/redu.2021.15491>
- Rodríguez Abitia, G., Ramírez Montoya, M. S., López Caudana, E. O., & Romero Rodríguez, J. M. (2025). Factores para el desarrollo del pensamiento computacional en estudiantes de pregrado. *Campus Virtuales*, 14(1). <http://uajournals.com/ojs/index.php/campusvirtuales/article/view/893>

- Rodríguez, C., Caro, M. D. L. M. I., & García, L. M. (2024). El discurso de las estudiantes de ingeniería ante las normas sociales de género. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (56), 98-113.
- Rojas López, A., & García Peñalvo, F. J. (2020). Evaluación de habilidades del pensamiento computacional para predecir el aprendizaje y retención de estudiantes en la asignatura de programación de computadoras en educación superior. *RED, Revista de Educación a Distancia*, 20(63), 1-39. <https://doi.org/10.6018/red.409991>
- Román González, M. (2015). Computational thinking test: design guidelines and content validation. En *Proceedings edulearn15*, 2436-2444.
- Rosas, M. V., Zúñiga, M. E., Fernández, J., & Guerrero, R. A. (2017). El pensamiento computacional en el ámbito universitario. *Laboratorio de Computación Gráfica*, 696-699.
- Vilchez Guizado, J., & Ramón Ortiz, J. A. (2024). Influencia del pensamiento computacional y visual en el aprendizaje de la matemática en estudiantes universitarios. *Información tecnológica*, 35(4). <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-07642024000400013>
- Villa Ochoa, J. A., Castrillón Yepes, A., Duque Quintero, S., Duque Quintero, M., Fernández Peña, M., Linares Lejárraga, S., & Costabel, L. (2020). Temasy Tendencias de Investigación en América Latina a La Luz Del Pensamiento Computacional En Educación Superior. In G. Toledo Lara (Ed.), *Políticas, Universidad e innovación: retos y perspectivas* (pp. 235-248). J.M Bosch. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1dvov33.14>
- Wing, J. M. (2006). *Jeannette M. Wing y el Pensamiento Computacional*. How I Learned Code. <https://acortar.link/1AnLjS>
- Zacharis, K. V., & Niros, A. D. (2020). Computational Thinking: Activities. *Handbook of Research on Tools for Teaching Computational Thinking in P-12 Education*, 140-158. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4576-8.ch006>
- Zapata Ros, M. (2015). Pensamiento computacional: Una nueva alfabetización digital. *RED, Revista de Educación a Distancia*, (46). <http://www.um.es/ead/red/46>

Alfabetización mediática e informacional y las TIC en la educación superior de Ecuador y El Salvador

Romero-Romero Jhison E.¹, Hernando Gómez Ángel², Islas Carmona Octavio³

jromeror@ups.edu.ec; angel.hernando@dpsi.uhu.es; octavio.islas@itesm.mx

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 010105, Azuay, Ecuador.

² Universidad de Huelva, Huelva, 21001, Huelva, España.

³ Tecnológico de Monterrey, Monterrey, 64010, Monterrey, México.

DOI: 10.17013/risti.57.55-71

Resumen: Las TIC han transformado la educación facilitando el acceso a la información y la comunicación, impactando la alfabetización mediática e informacional (AMI). Sin embargo, el sistema educativo enfrenta desafíos para adaptarse a la evolución digital, lo que requiere innovaciones pedagógicas y formación en el uso efectivo de las TIC. Esta investigación, parte de un estudio doctoral, emplea un enfoque cuantitativo-cualitativo, aplicando métodos teóricos y empíricos en un análisis descriptivo, longitudinal y de campo. Utiliza instrumentos validados para investigar estudiantes de comunicación en Ecuador y El Salvador, aplicando métodos estadísticos comparativos para identificar diferencias significativas en la integración de las TIC en el aprendizaje. Los hallazgos revelan que, pese a la disponibilidad tecnológica, su aplicación educativa sigue siendo un desafío. Se resalta el papel crucial de los docentes en la integración efectiva de las TIC en el currículo, fomentando habilidades en AMI para preparar los estudiantes en un mundo digitalizado.

Palabras-clave: Alfabetización mediática; Educomunicación; TIC; Ecuador; El Salvador; Alfabetización informacional.

Media and Information Literacy and ICT in Higher Education in Ecuador and El Salvador

Abstract: ICTs have transformed education by facilitating access to information and communication, impacting media and information literacy (MAI). However, the educational system faces challenges in adapting to the digital evolution, which requires pedagogical innovations and training in the effective use of ICT. This research, part of a doctoral study, employs a quantitative-qualitative approach, applying theoretical and empirical methods in a descriptive, longitudinal and field analysis. It uses validated instruments to investigate communication students in Ecuador and El Salvador, applying comparative statistical methods to identify significant differences in the integration of ICTs in learning. The findings reveal that, despite the availability of technology, its educational application remains

a challenge. The crucial role of teachers in the effective integration of ICTs in the curriculum is highlighted, fostering AMI skills to prepare students for a digitalized world.

Keywords: Media Literacy; Educommunication; TIC, Ecuador; El Salvador; Media education.

1. Introducción

En la era digital, la incorporación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) ha redefinido la forma en que las personas acceden, procesan y utilizan la información. Su impacto se extiende a la educación, el entretenimiento y la administración, facilitando el acceso global al conocimiento y promoviendo nuevas estrategias de enseñanza.

El sistema educativo, sin embargo, no ha evolucionado al mismo ritmo que la sociedad, lo que genera la necesidad de reformas curriculares y metodológicas para equilibrar esta situación. La innovación pedagógica se vuelve esencial para preparar a los estudiantes en un contexto digital en constante cambio (UNESCO, 2013). En este proceso, el docente desempeña un papel central, requiriendo el desarrollo de competencias en el uso de mass media y TIC para responder al vertiginoso avance de la sociedad digital.

El docente debe adaptarse a nuevos entornos de aprendizaje, sustituyendo progresivamente los recursos tradicionales por herramientas digitales que fomenten el análisis crítico de la información. Este proceso de adaptación lo convierte en migrante digital (López Carballo, 2020). Si bien las TIC se asocian a avances recientes en comunicación, computadoras e internet, la búsqueda de herramientas para la comunicación ha sido una constante en la historia humana; el punto de inflexión que consolidó el impacto de las TIC fue el desarrollo de Internet y la *World Wide Web*, que facilitaron la expansión de estas tecnologías y su aplicación en diversos sectores (Bonilla-del-Rio *et al.*, 2018).

Las reformas educativas han subrayado la importancia de la integración de TIC en el micro diseño curricular, otorgando al docente un papel clave en su implementación en las aulas (Herrera Tapias *et al.*, 2018). Sin embargo, la sola disponibilidad de estas tecnologías no garantiza su uso efectivo.

La Alfabetización Mediática e Informacional (AMI) es fundamental en este contexto, ya que permite a los individuos acceder, evaluar, utilizar y crear información de manera crítica y ética. La relación entre el conocimiento de TIC y el nivel de alfabetización mediática es determinante para el desarrollo de habilidades críticas en la interpretación y producción de contenido informativo.

El artículo se estructura en ocho secciones que abordan de manera progresiva, inicia con una contextualización histórica sobre el surgimiento y expansión de las TIC en el siglo XX, seguido de su impacto en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Luego, se analiza la gestión del conocimiento como eje transformador en entornos educativos digitales, y se identifican claves fundamentales para promover la alfabetización mediática. El texto también examina el papel de la conectividad en el sistema educativo, con especial

atención a la brecha digital y los desafíos que enfrenta América Latina para reducirla. A continuación, se describe la metodología de investigación utilizada y se presentan los resultados, que incluyen un análisis comparativo del nivel de conocimiento sobre TIC en estudiantes universitarios de Ecuador y El Salvador, así como su dominio de las dimensiones asociadas a la AMI. Finalmente, se exponen las conclusiones y las referencias bibliográficas que sustentan el estudio.

2. Inicio de las TIC en la educación

Las TIC han revolucionado la sociedad como lo hizo la imprenta, integrando Internet, automatización y herramientas digitales; hoy son esenciales, transformando la comunicación, el aprendizaje y el trabajo (Bozada Rivera *et al.*, 2022).

2.1. Las TIC surgimiento y expansión en el siglo XX

La evolución de las TIC ha marcado hitos fundamentales en la educación y la sociedad. Tras la posguerra, el desarrollo de los primeros ordenadores impulsó su incorporación en las aulas a partir de los años sesenta, aunque en un inicio estaban limitados a centros de cómputo de gran tamaño (Tedre y Denning, 2016). En la década de 1980, la competencia entre Microsoft y Macintosh permitió la llegada de microcomputadoras personales a las escuelas, mientras que las macrocomputadoras se utilizaron en sectores gubernamentales y empresariales (Escorcia Saldarriaga *et al.*, 2020).

El desarrollo de ARPANET en 1969 sentó las bases del Internet moderno, concebido como una red de comunicación para el Departamento de Defensa de EE.UU. (Gómez *et al.*, 2019). A finales de los años setenta, se capacitó a docentes en programación, empleando el lenguaje BASIC en equipos como el Altair 8800 y el PET, con impacto en la educación inicial y media (Grande *et al.*, 2016).

En 1981, IBM lanzó la primera PC, revolucionando el acceso a la informática en países desarrollados, mientras que en Latinoamérica su adopción fue más tardía. Paralelamente, los teléfonos celulares se volvieron más accesibles, en los años 80, surgieron los primeros programas educativos y tutoriales de ofimática, facilitando la creación de aulas de informática (Begoña Gros, 2018).

Los años noventa estuvieron marcados por la expansión de la *World Wide Web*, consolidando un sistema de documentos hipertexto accesibles mediante navegadores web (Gómez *et al.*, 2019). Tanto administraciones públicas como privadas impulsaron la integración de TIC en la educación mediante dotaciones tecnológicas y programas de formación docente en EE.UU., Canadá, Europa y Asia (Tedre y Denning, 2016).

Desde el año 2000, la implementación de regulaciones y políticas educativas ha sido clave para estructurar la enseñanza de TIC en distintos niveles educativos. La Declaración de Qingdao de la UNESCO destacó la importancia de integrar competencias digitales en los currículos escolares para reducir desigualdades y mejorar la calidad educativa (Puche, 2018). Las TIC han transformado irreversiblemente la educación y la sociedad, ofreciendo amplias oportunidades de comunicación, pero también desafíos en cuanto a su regulación y uso seguro.

2.2. Las TIC en el contexto Educativo: inferencia y aprendizaje

La evolución de la sociedad digital ha introducido cambios significativos en la educación, destacando la multiculturalidad, la digitalización de la información y las redes socio-digitales como elementos clave. Sin embargo, estos factores no han sido integrados de manera efectiva en las aulas hasta el siglo XXI. Durante más de tres décadas, los sistemas educativos han intentado adaptar los planes y programas curriculares para incluir las TIC, con el objetivo de modernizar las políticas educativas y preparar a los estudiantes para la sociedad digital (Osuna-Acedo *et al.*, 2018).

El desafío actual no radica en enseñar el uso de la tecnología, ya que los nativos digitales adquieren habilidades en entornos no escolares, mientras que los migrantes digitales dependen de instrucciones convencionales (Escorcía Saldarriaga *et al.*, 2020). En cambio, el reto es desarrollar competencias mediáticas e informacionales, promoviendo la actitud crítica frente a los medios y fomentando la libertad de expresión; los docentes deben asumir la responsabilidad de incluir estas prácticas en sus estrategias didácticas, formando estudiantes reflexivos y autónomos (García-Ruiz y Contreras-Pulido, 2018).

No obstante, persiste una segunda brecha digital, reflejada en la desigualdad de acceso y uso de las TIC tanto entre países como dentro de una misma nación (Scheerder *et al.*, 2017). En Latinoamérica, la inclusión de las TIC ha sido desigual, marcada por disparidades socioeconómicas y políticas que afectan su integración en el ámbito educativo (Peña Crisostomo, 2020). A pesar de ello, las TIC representan herramientas inclusivas y asequibles para mejorar la enseñanza-aprendizaje, aunque aún enfrentan barreras en sectores vulnerables (Álvarez Araque, 2019).

El uso de la multimedia en educación no garantiza mejores estudiantes ni ciudadanos más críticos, ya que el acceso a las TIC no implica necesariamente alfabetización mediática; para una integración efectiva, los docentes deben ser facilitadores del aprendizaje y evitar la dependencia de intereses comerciales (Bozada Rivera *et al.*, 2022).

En este contexto, surge el docente prosumidor, capaz de crear y consumir contenidos educativos adaptados al entorno digital multipantalla, reconociendo el impacto de los medios (Bonilla-del-Río *et al.*, 2018). Las TIC han transformado las estructuras sociales, difuminando los límites entre lo real y lo virtual, y su eficacia depende de quién las desarrolla y controla, afectando educación, política y economía (Álvarez Araque, 2019). En el ámbito educativo, han flexibilizado los modelos de enseñanza, fomentado el aprendizaje autónomo y colaborativo (Begoña Gros, 2018), y consolidado la transición de la sociedad de la información a la sociedad del conocimiento.

3. Gestión del conocimiento y educación

Las transformaciones tecnológicas del siglo XXI han redefinido la vida social y la comunicación, acortando distancias entre países y facilitando una conexión global que influye en cómo las personas procesan la información, configuran sus creencias y modifican sus comportamientos (Masip *et al.*, 2020). En este entorno digital, la gestión del conocimiento se ha vuelto un proceso dinámico de exploración, integración e interacción, donde los individuos socializan saberes, favoreciendo el aprendizaje colaborativo y continuo (Rodríguez-Ponce *et al.*, 2022). Internet y la Web han sido claves

en esta evolución, potenciando el desarrollo educativo, la comunicación y la innovación en múltiples ámbitos.

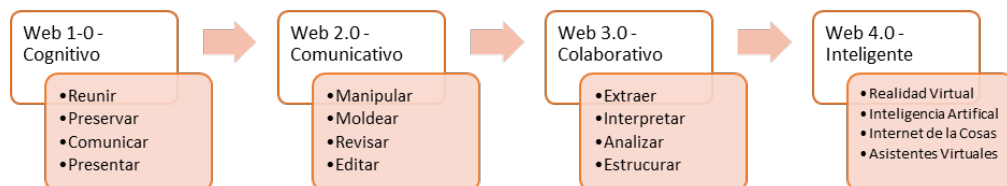


Figura 1 – Evolución de la Web. Fuente: Adaptado de Gómez Zúñiga *et al.* (2019)

El avance de las TIC ha atravesado distintas etapas evolutivas, desde un enfoque lineal hasta la Web Semántica y la Revolución 4.0, redefiniendo herramientas comunicacionales y educativas para adaptarse a cada fase (Begoña Gros, 2018; Pazmiño Sáenz *et al.*, 2022). Esta evolución [figura 1] refleja la creciente integración de la tecnología en el conocimiento y la educación (Gómez Zúñiga *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2022).

La evolución de la web se basa en el contenido, acceso y optimización de la información, dando lugar a distintas generaciones tecnológicas. Actualmente, la Web 4.0 destaca por priorizar la experiencia del usuario, integrando inteligencia artificial y web semántica para mejorar plataformas, productos y servicios. Su innovación radica en ofrecer interacciones más personalizadas y eficientes (Kollmann, 2020).

4. Claves para educar en alfabetización mediática

La integración tecnológica en la educación requiere procesos formativos fundamentados en la Educomunicación, con el objetivo de desarrollar competencias mediáticas que permitan a los estudiantes interactuar crítica y activamente con los medios digitales (Aguaded *et al.*, 2018).

En América Latina, esta tarea enfrenta el desafío de una persistente brecha digital, que no solo limita el acceso a la tecnología, sino también su uso significativo, condicionado por desigualdades socioeconómicas y culturales. Para abordar esta realidad, es esencial una articulación efectiva entre docente, currículo y estudiante: el docente debe actuar como prosumidor, creando y adaptando contenidos mediante una pedagogía mediática que fomente el pensamiento crítico (Bonilla-del-Río *et al.*, 2018); el currículo debe integrar los medios como contenido, herramienta didáctica y medio de expresión; y el estudiante debe desarrollar habilidades para gestionar y evaluar información en un entorno comunicativo complejo (García-Ruiz y Contreras-Pulido, 2018).

A nivel internacional, diversas iniciativas han promovido programas de Alfabetización Mediática e Informativa (AMI) para formar docentes y actualizar los planes de estudio, buscando una educación más equitativa y de calidad (Alcolea-Díaz *et al.*, 2020; Osuna-Acedo *et al.*, 2018). Sin embargo, el acceso inmediato a la información y el uso intensivo de redes sociales han favorecido la circulación de contenidos no verificados, lo que hace urgente fortalecer habilidades críticas que permitan interpretar mensajes,

identificar desinformación y utilizar las redes sociales de forma ética y responsable (Beltram-Flandoli y Samaniego-Eguiguren, 2021).

A pesar de la influencia de la digitalización y las redes sociales, los entornos de aprendizaje aún no incluyen estas dimensiones en su desarrollo curricular (Ortiz-Ruiz, 2021). La alfabetización mediática no solo implica comprender mensajes digitales, sino también interpretar símbolos, como emoticones, anuncios publicitarios y videos virales, así como distinguir entre información confiable y *fake news* (Masip *et al.*, 2020).

Desde inicios del siglo XX, diversos modelos educativos han buscado integrar eficazmente las TIC en la enseñanza, promoviendo un uso pedagógico significativo de la tecnología (Osuna-Acedo *et al.*, 2018; Mateus *et al.*, 2019; Garro-Rojas, 2020). En este contexto, surge el concepto de “Profesor 4.0”, un docente con competencias digitales certificadas, capaz de implementar estrategias innovadoras que lo distinguen del modelo tradicional (López Carvallo, 2020). Por ello, resulta fundamental incorporar la Educomunicación en los currículos escolares, con un enfoque en la formación crítica y el análisis ideológico de los medios, para que la alfabetización digital no se limite al consumo pasivo, sino que promueva la participación activa y consciente en la sociedad digital (Aguaded *et al.*, 2018).

Algunas claves importantes para educar en alfabetización mediática se sintetizan a continuación (Osuna-Acedo *et al.*, 2018; Alcolea-Díaz *et al.*, 2020):

1. Comprender la importancia de la AMI, destacando su importancia en la sociedad actual.
2. Incorporar la AMI en el currículo educativo, integrando los conocimientos en los planes de estudio desde edades tempranas, adaptando el contenido según la edad y nivel educativo de los estudiantes.
3. Desarrollar habilidades críticas a los estudiantes que les motiven a cuestionar la información, identificar sesgos y evaluar la credibilidad de las fuentes, analizando mensajes mediáticos y digitales.
4. Promover el uso ético de la tecnología, valorando los principios éticos relacionados con el uso de la tecnología y las redes sociales, adentrándose en temas como el respeto a la privacidad, la cyber seguridad y la responsabilidad en línea.
5. Identificar la desinformación, utilizando herramientas que permitan detectar noticias falsas, así como estrategias para verificar la autenticidad de la información antes de compartirla.

Al abordar estos aspectos, se puede construir una base sólida para la alfabetización mediática, equipando a los estudiantes con las habilidades necesarias para navegar de manera crítica en el mundo mediático y digital en constante evolución.

5. TIC y conectividad dentro del sistema educativo

Las TIC han transformado múltiples ámbitos de la sociedad moderna, incluyendo la economía, la salud, la educación y la cultura científica, lo que demanda una alfabetización mediática integral que vaya más allá de la simple lectura de textos impresos para

incorporar el análisis de lenguajes audiovisuales y digitales (López Carballo, 2020; Garro-Rojas, 2020). Esta educación mediática debe centrarse en la gestión crítica de medios, la reducción de brechas culturales y la conexión de los contenidos mediáticos con la realidad social, fomentando un uso responsable de las TIC. Sin embargo, en América Latina, la promesa de la “Sociedad de la Información” como un camino hacia el progreso universal se ha visto frustrada, dando lugar a nuevas formas de exclusión y desigualdad, lo que subraya la necesidad de políticas públicas enfocadas en infraestructura y acceso digital para mitigar estas brechas (Escuder, 2019).

5.1. La brecha digital y el proceso educativo

En las últimas décadas, la tecnología ha favorecido avances en salud, educación e información, pero también ha generado nuevas formas de exclusión, como la brecha digital que limita el acceso equitativo a sus beneficios (Escuder, 2019). A pesar del rápido crecimiento de la telefonía móvil, Internet y aplicaciones digitales, persisten desigualdades significativas, especialmente en América Latina, donde muchas escuelas carecen de infraestructura adecuada (Scheerder *et al.*, 2017). Esta situación se agrava cuando factores como la falta de electricidad o conectividad impiden el uso educativo de las tecnologías, restringiendo así el desarrollo personal y socioeconómico (Escuder, 2019; Olaya Rojas, 2020). A nivel mundial, más del 90% de los habitantes en países desarrollados tienen acceso a Internet [Figura 2].

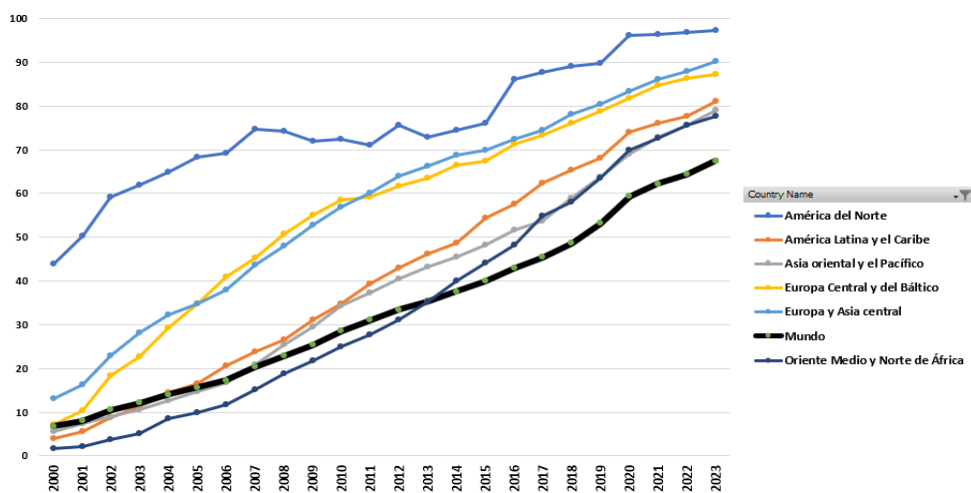


Figura 2 – Personas que usan Internet (%de la Población).
Fuente: El Autor en base a los datos del Banco Mundial (2024).

En contraste, en América Latina y el Caribe, solo el 68% de la población está conectada; el 32% restante, equivalente a 205 millones de personas, sigue desconectado debido a deficiencias en infraestructura, pobreza y regulaciones inadecuadas (Banco Mundial, 2024).

La brecha digital se manifiesta en diversas formas: económica, geográfica, de género, educativa y recientemente según Islas-Carmona (2024), la brecha por velocidad y costo de banda ancha, ya que no basta con tener acceso a Internet; una conexión lenta limita sus beneficios. Las organizaciones internacionales reconocen la importancia de las TIC en la educación y la cultura, promoviendo infraestructura tecnológica y políticas adecuadas, sin embargo, cerrar la brecha digital no se reduce a proporcionar dispositivos y conexión, sino que requiere un proceso educativo integral que garantice una adopción efectiva y equitativa de la tecnología (Escuder, 2019).

5.2. Disminuir la brecha digital en Educación en Latinoamérica

A finales de la segunda década del siglo XXI, se evidenció la necesidad de reformar los sistemas educativos para integrar las TIC como un complemento esencial en la enseñanza. Los gobiernos de América Latina y el Caribe han promovido la inclusión de las TIC en las instituciones educativas, pero su éxito depende de tres factores: infraestructura de telecomunicaciones, accesibilidad a los servicios tecnológicos y desarrollo de competencias digitales. Para lograr este objetivo, se han desarrollado ambientes virtuales de aprendizaje (AVA) y objetos virtuales de aprendizaje (OVAS), fundamentales para la adaptación de los estudiantes a la era digital (Pérez Díaz, 2017; Olaya Rojas, 2020).

Uno de los mayores desafíos en la incorporación de las TIC es la resistencia al cambio, pues persiste la incertidumbre sobre su impacto en la educación y su relación con los métodos tradicionales de enseñanza (Peña Crisóstomo, 2020). Además, la carencia de competencias digitales como: la búsqueda de información en línea, la elaboración de documentos y la selección adecuada de datos, contribuyen al analfabetismo digital, afectando especialmente a los sectores con menor acceso a la tecnología (Marín y González-Piñal, 2011, citado por De Benito-Castanedo, 2017).

A pesar de estas barreras, Internet tiene el potencial de reducir desigualdades y fomentar el desarrollo socioeconómico en América Latina y el Caribe, ya que puede: impulsar el crecimiento económico, optimizar la gestión de recursos públicos y fomentar la inclusión social. En este sentido, la alfabetización en TIC debe contemplar varias dimensiones (De Benito-Castanedo, 2017):

- Alfabetización en herramientas: manejo de hardware y software.
- Alfabetización en recursos: acceso a la red y sus múltiples fuentes.
- Alfabetización socioestructural: comprensión del contexto en el que se produce la información.
- Alfabetización investigadora: uso académico de las TIC.
- Alfabetización en tecnologías emergentes: capacidad de adaptación a la innovación digital.
- Alfabetización crítica: evaluación de los beneficios y limitaciones de las TIC.

El acceso a la banda ancha móvil ha sido una alternativa para conectar a sectores no digitalizados, ya que sus costos son menores y requieren menos habilidades técnicas. Además, se han implementado modelos de conectividad más accesibles, como planes prepagos y servicios gratuitos, dirigidos a comunidades de bajos ingresos (Gómez Zúñiga *et al.*, 2019). Sin embargo, la brecha digital sigue siendo un reto, ya que el acceso a la

tecnología varía entre regiones y grupos sociales. Para reducirla, la OCDE/BID (2016) propusieron tres estrategias fundamentales que siguen vigentes:

1. Políticas de acceso que mejoren la asequibilidad y las habilidades digitales.
2. Regulación de mercado para fortalecer la competencia en servicios tecnológicos.
3. Inversión gubernamental en zonas de baja rentabilidad, pero alto impacto social.

Para disminuir la brecha digital en la educación, se han implementado diversas estrategias (Olaya Rojas, 2020):

- Diseño de estrategias digitales para mejorar la enseñanza.
- Regulación de la banda ancha móvil mediante instrumentos jurídicos.
- Participación de actores no gubernamentales en la expansión digital.
- Independencia de los órganos reguladores en la asignación de recursos tecnológicos.

Uno de los aspectos más relevantes en la reducción de la brecha digital es la conectividad en las escuelas, ya que, sin acceso a Internet, la educación digital queda limitada. En América Latina, se han realizado fuertes inversiones en programas que incluyen infraestructura tecnológica, equipamiento y formación docente (Alcolea-Díaz *et al.*, 2020). No obstante, la introducción de TIC en las escuelas debe ir acompañada de procesos de experimentación y evaluación, con el fin de garantizar su impacto real y evitar falsas expectativas (Puche, 2018).

La exclusión digital sigue siendo una problemática que afecta a millones de personas en América Latina, limitando su acceso a oportunidades educativas y de desarrollo. No integrar masivamente las TIC en la educación perpetuaría desigualdades y limitaría el potencial de los estudiantes en un mundo cada vez más digitalizado. Por ello, las políticas de inclusión tecnológica deben priorizar no solo la distribución de dispositivos y conectividad, sino también la formación en competencias digitales, permitiendo que la educación sea un motor de equidad y desarrollo social.

6. Metodología

Este estudio, desarrollado en el marco de una investigación doctoral en Comunicación, es de carácter aplicado, ya que se basa en resultados empíricos con objetivos concretos. Su enfoque descriptivo permite caracterizar la relación entre las TIC y la educación, así como su impacto en los niveles de AMI en América Latina. Se combinan métodos teóricos como análisis y síntesis, junto con enfoques deductivos e inductivos, para responder a las preguntas de investigación sobre la incidencia de las TIC en la formación académica.

El estudio se define como una investigación de campo, dado que emplea instrumentos de recolección de datos aplicados directamente a los sujetos del estudio, garantizando la participación del investigador sin influir en los resultados. Además, tiene un diseño longitudinal, ya que recopila información en los contextos delimitados entre marzo de 2022 y mayo de 2024, enfocándose en un mismo segmento de la población: estudiantes de carreras de comunicación.

Se adopta un enfoque mixto cuantitativo-cualitativo que permite tanto la medición de características de los actores como la triangulación metodológica, integrando diversos

métodos, fuentes y perspectivas analíticas. Se utiliza un muestreo probabilístico estratificado por conglomerados y se aplican cuestionarios diseñados para evaluar las competencias en AMI y TIC, validados mediante el método Delphi con 12 expertos y la prueba W de Kendall para medir la concordancia. Los instrumentos, administrados en línea a través de los enlaces Ecuador [<https://shorturl.at/IbAjw>] y El Salvador [<https://shorturl.at/FuinK>], generan datos que, tras ser depurados para garantizar su fiabilidad, son sometidos a análisis estadísticos comparativos. Finalmente, se aplica una prueba de hipótesis para determinar el nivel de conocimientos en TIC y su relación con la AMI, permitiendo establecer conclusiones sólidas sobre el impacto de las TIC en la formación académica de los estudiantes.

7. Resultados

Los resultados provienen del análisis estadístico desarrollado previa la depuración de las bases de datos, asegurando la coherencia y concordancia.

7.1. Análisis estadístico comparativo

El impacto de las TIC en la Alfabetización Mediática e Informacional (AMI) se evalúa a través de un análisis estadístico comparativo entre estudiantes de educación superior en Ecuador (1091) y El Salvador (473), con el objetivo de identificar diferencias significativas entre ambos grupos y determinar si estas son estadísticamente relevantes. La tabla 1 presenta los datos demográficos, los cuales no incide en los resultados sobre el conocimiento en TIC:

Sexo	Ecuador	El Salvador
<i>Femenino</i>	50,3%	47,7 %
<i>Masculino</i>	49,7%	52,3 %
Año – Curso - Nivel	Ecuador	El Salvador
<i>1er. Año (1º - 2º Ciclo)</i>	38,0%	25,4%
<i>2do. Año (3º - 4º Ciclo)</i>	21,0%	31,3%
<i>3er. Año (5º - 6º Ciclo)</i>	25,9%	13,5%
<i>4to Año (7º - 8º Ciclo)</i>	12,0%	11,8%
<i>5to Año (9º - 10º Ciclo)</i>	0,0%	16,9%
<i>Egresado</i>	3,0%	1,1%
Edad	Ecuador	El Salvador
<i>Menos de 17</i>	3,39%	1,27%
<i>17-18</i>	38,13%	8,88%
<i>18-19</i>	15,95%	18,18%
<i>19-20</i>	7,97%	19,24%
<i>20-21</i>	8,80%	18,18%
<i>más de 21</i>	25,76%	34,25%

Tabla 1 – Datos demográficos de los estudiantes

Aspectos Claves:

- Variables analizadas: Nivel de conocimiento en TIC y porcentaje de logro en las dimensiones evaluadas.
- Prueba de hipótesis: Se aplica para medias entre dos o más proporciones en cada dimensión.
- Hipótesis:
Ho: No existen diferencias significativas entre los grupos.
H1: Existen diferencias en los niveles de conocimiento de TIC y AMI.
- Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$ (95% de confianza).
- Interpretación: Se basa en el valor de z, determinando la aceptación o rechazo de la hipótesis nula.

7.2. Nivel de conocimiento sobre TIC de estudiantes universitarios de Ecuador y El Salvador

Las dimensiones e indicadores utilizados para evaluar el grado de conocimiento en TIC (Roque Rodríguez, 2023) se presentan en la Tabla 2, considerando las características individuales de cada indicador en el contexto de estudio.

Dimensión/ Indicador	Ecuador	El Salvador
1. Conocimientos Técnicos y Teóricos		
a. Fundamentos de TIC	Avanzado	Avanzado
b. Programación y Desarrollo de Software	Medio	Avanzado
c. Redes y Comunicaciones	Medio	Medio
d. Seguridad Informática	Medio	Básico
2. Habilidades Prácticas		
a. Resolución de Problemas Técnicos	Medio	Medio
b. Gestión de Proyectos TIC	Básico	Medio
c. Uso de Herramientas y Plataformas	Medio	Medio
3. Capacidades Analíticas y de Gestión		
a. Análisis de Datos	Medio	Medio
b. Gestión de Información	Medio	Avanzado
4. Conocimientos en Innovación y Tendencias		
a. Nuevas Tecnologías	Avanzado	Avanzado
b. Transformación Digital	Medio	Básico
5. Habilidades Blandas y Competencias Personales		
a. Comunicación y Colaboración	Medio	Medio
b. Adaptabilidad y Aprendizaje Continuo	Medio	Medio

Tabla 2 – Nivel de Indicadores sobre conocimiento en TIC Ecuador y El Salvador

La Tabla 3, elaborada a partir del análisis de la base de datos y de las preguntas formuladas, expone los niveles de conocimiento en TIC en Ecuador y El Salvador. En términos generales, la mayoría de los estudiantes se ubican en un nivel intermedio, con un 77,9 % en Ecuador y un 62,94 % en El Salvador, lo que representa una diferencia de 14,6 puntos porcentuales. Sin embargo, esta brecha se equilibra con una mayor proporción de estudiantes salvadoreños en los niveles básico (+8,58 %) y avanzado (+6,38 %), lo cual repercute de forma significativa en el desarrollo de competencias en Alfabetización Mediática e Informacional (AMI).

Nivel de Conocimiento en TICS	Ecuador	El Salvador	Diferencia
Avanzado	13,7%	20,08%	+6.38
Medio	77,9%	62,94%	-14.96
Básico	8,4%	16,98%	+8.58

Tabla 3 – Nivel General sobre conocimiento de TIC Ecuador y El Salvador

7.3. Conocimiento respecto a las dimensiones sobre las AMI y competencias mediáticas

Se realiza un análisis estadístico inferencial nominal, agrupando las preguntas según cada dimensión para establecer la relación entre las variables de estudio. Posteriormente, los resultados se sistematizan y comparan en la tabla 4.

Dimensión	Ecuador		El Salvador	
	Valor	Nivel	Valor	Nivel
Tecnología	2,80	Medio	2,70	Medio
Lenguaje	3,09	Medio	2,98	Medio
Ideología y valores	2,74	Medio	2,71	Medio
Proceso de producción y difusión	2,96	Medio	2,78	Medio
Estética	3,04	Medio	2,95	Medio
Procesos de recepción y de interacción	2,24	Bajo	2,13	Bajo

Tabla 4 – Comparación valor del logro por dimensiones [Ecuador – El Salvador]

Dado el número de estudiantes en Ecuador y El Salvador, se aplica una prueba de hipótesis por comparación de proporciones, siguiendo el procedimiento estadístico correspondiente:

- Formulación de Hipótesis: Ho: No existen diferencias significativas entre las proporciones de estudiantes de Ecuador y El Salvador. H1: Existen diferencias significativas entre las proporciones de ambos grupos.
- Se establece un $\alpha = 0.05$, aplicando una prueba bilateral (dos colas). Los datos depurados y organizados se presentan en la Tabla 4.

- Posteriormente se realiza la comparación de medias en IBM-SPSS, obteniendo los valores de Z y P-Valor. Con base en la comparación de medias, se desarrolla la tabla 5 que muestra el comportamiento de las variables y sus diferencias.
- Los resultados indican que el estadístico Z cae en la zona de rechazo de H_0 en cinco de las seis dimensiones, validando la hipótesis alternativa (H_1), excepto en la dimensión Ideología y Valores, donde no se identificaron diferencias significativas.

País\Dimensión	Valor	Proporción	Pc	P_Value	z
Tecnología Comparación de Medias					
Ecuador	2,80	60%	0,09	0.04613	1,9942
El Salvador	2,70	56%	Acepta H _i		
Lenguaje Comparación de Medias					
Ecuador	3,09	69%	0,12	0.04641	1,9912
El Salvador	2,98	66%	Acepta H _i		
Ideología y valores Comparación de Medias					
Ecuador	2,74	58%	0,03	0.405	0.83
El Salvador	2,71	57%	Acepta H _o		
Proceso de producción y difusión Comparación de Medias					
Ecuador	2,96	65%	0,18	0.04679	1,9956
El Salvador	2,78	57%	Acepta H _i		
Estética Comparación de Medias					
Ecuador	3,04	68%	0,09	0.04613	1,9942
El Salvador	2,95	65%	Acepta H _i		
Procesos de recepción y de interacción Comparación de Medias					
Ecuador	2,24	42%	0,11	0.04704	1,9951
El Salvador	2,13	38%	Acepta H _i		

Tabla 5 – Prueba de hipótesis por dimensión Ecuador – El Salvador

8. Conclusiones

Si bien existe una relación entre el conocimiento en TIC y el nivel de AMI, esta investigación confirma que un nivel medio o avanzado en TIC no garantiza un dominio sólido en los aspectos fundamentales de la AMI.

La implementación de programas educativos que combinen TIC y AMI es clave para promover un aprendizaje más inclusivo y efectivo. Sin embargo, la alfabetización debe abordarse en ambos procesos para garantizar su impacto real.

Una educación mediática bien estructurada puede fortalecer el conocimiento en TIC mediante la formación continua, capacitando a los estudiantes para convertirse en ciudadanos críticos e informados, capaces de navegar y contribuir eficazmente en un entorno digital.

La integración de la AMI en los currículos no solo mejora las competencias digitales, sino que también fomenta el pensamiento crítico y la participación activa en la sociedad, habilidades esenciales en la era digital.

En ambos países, es fundamental fortalecer las habilidades en AMI para que los estudiantes evolucionen de un nivel medio a un nivel avanzado, alineándose con los estándares de formación profesional en comunicación en América Latina.

A pesar de los beneficios de la interrelación entre TIC y AMI, persisten desafíos como la brecha digital, que limita el acceso equitativo a la tecnología y restringe las oportunidades de desarrollo en competencias mediáticas.

La evolución acelerada de la tecnología exige una capacitación continua, lo que requiere políticas educativas flexibles y dinámicas, capaces de adaptarse a los cambios y garantizar la actualización de habilidades digitales y mediáticas.

Referencias

- Aguaded, I., Renés-Arellano, P., Rodríguez-Rosell, M., & Caldeiro-Pedreira, M. (2018). Educlips: proyecto de alfabetización mediática en el ámbito universitario. *Lumina*, 12(1). 17-39. <https://doi.org/10.34019/1981-4070.2018.v12.21485>
- Alcolea-Díaz, G., Reig, R., & Mancinas-Chávez, R. (2020). Currículo de Alfabetización Mediática e Informacional de la UNESCO para profesores desde la perspectiva de la Estructura de la Información. *Comunicar*, 62, 103-114. <https://doi.org/10.3916/C62-2020-09>
- Álvarez Araque, W. O. (2019). *Formación docente en TIC para reducir la brecha digital cognitiva entre instituciones educativas del contexto rural y urbano en el municipio de Duitama – Boyacá* (Tesis Maestría, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia).
- Banco Mundial (2024). *Unión Internacional de Telecomunicaciones, Informe sobre el Desarrollo Mundial de las Telecomunicaciones/TIC y base de datos. Personas que usan Internet (%de la Población)*. <https://shorturl.at/s6A7T>
- Begoña Gros, S. (2018). *Evolución y retos de la educación virtual: construyendo el e-learning del siglo XXI*. Editorial UOC
- Beltram-Flandoli, A. M., & Samaniego-Eguiguren, J. M. (2021). *Media and digital literacy: From particularities to encounters and possibilities*, En 16th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), <https://dx.doi.org/10.23919/CISTI52073.2021.9476428>
- Bonilla-del-Río, M., García-Ruiz, R., & Escoda, A. P. (2018). Los dispositivos móviles en el aula. Oportunidades y retos para el desarrollo de la competencia mediática. En R. García-Ruiz, A. Pérez-Escoda y M. D. Guzmán-Franco (Coords). *Dispositivos móviles en el aula. Docentes y estudiantes prosumidores en la era digital*. (pp. 10-30). Egregius Ediciones.

- Bozada Rivera, N. M., Loor Revollo, R. F., Ortiz Hernández, M. M., & Clavel Quintero, Y. (2022). Impacto de las tecnologías de la información y comunicación en la educación. *Journal TechInnovation*, 1(2), 18–25. <https://doi.org/10.47230/Journal.TechInnovation.v1.n2.2022.18-25>
- De Benito-Castanedo, J. (2017). Análisis bibliográfico sobre la brecha digital y la alfabetización en nuevas tecnologías. *Revista Electrónica Educare*, 21(2), 1-10. <https://doi.org/10.15359/ree.21-2.9>
- Escorcía Saldarriaga, G., Murray Lasso, M. A., Velasco Sánchez, E. R., Badilla-Saxe, E., Quinn, M., Calderón Alzati, E., & Vicario Solórzano, M. (2020). *Constructores de conocimiento: Papert y su visión*. Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet (CUDI).
- Escuder, S. (2019). Regionalización de la brecha digital. Desarrollo de la infraestructura de las TIC en Latinoamérica y Uruguay. *PAAKAT: revista de tecnología y sociedad*, 9(17). <https://doi.org/10.32870/pk.a9n17.356>
- García-Ruiz, R., & Contreras-Pulido, P. (2018). La escuela prosumidora: del recurso didáctico al contenido curricular. En R García-Ruiz, A. Pérez-Rodríguez & A. Torres-Toukoumidis. (Eds). *Educación para los nuevos Medios. Claves para el desarrollo de la competencia mediática en el entorno digital*, (pp 27-42). Editorial Universitaria Abya-Yala
- Garro-Rojas, L. (2020). Alfabetización mediática en América Latina. Revisión de literatura: temas y experiencias. *Revista Educación*, 44(1), 520-532. <https://doi.org/10.15517/revedu.v44i1.37708>
- Gómez Zúñiga, R., González Mina, J., & Rueda Ortiz, R. (2019). *Jóvenes, máquinas y software: Reinventar los usos para educar mejor*. Programa Editorial UNIVALLE.
- Grande, M., Cañón, R., & Cantón, I. (2016). Tecnologías de la información y la comunicación: Evolución del concepto y características. *IJERI: International Journal of Educational Research and Innovation*, (6), 218–230. <https://rb.gy/3g595t>
- Herrera Tapias, B. A., Guerrero Cuentas, H. R., & Ramírez Molina, R. I. (2018). *Investigación como estrategia pedagógica: Una mirada desde la educación, escuela y transformación de la comunidad global*. Corporación Universidad de la Costa.
- Islas-Carmona, O. (2024). Digital 2024: *La velocidad y el costo de la banda ancha, nuevas brechas por considerar*. El Universal. <https://l1nq.com/SHfaY>
- Kollmann T. (2020) Grundlagen des Web 1.0, Web 2.0, Web 3.0 und Web 4.0. En T. Kollmann (Eds). *Handbuch Digitale Wirtschaft*. (pp 133-155). Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-17291-6_8
- Liu, X., Liu, B., Han, C., & Li, W. (2022). Construction of an IoT customer operation analysis system based on big data analysis and human-centered artificial intelligence for web 4.0. *Journal of Intelligent Systems*, 31(1), 927-943. <https://doi.org/10.1515/jisys-2022-0067>

- López Carballo, Á. (2020). *Educación en alfabetización mediática para la nueva sociedad de la información* (Tesis de Grado en Periodismo, Universidad de Sevilla). <https://rb.gy/79dzjk>
- Masip, P., Suau, J., & Ruiz-Caballero, C. (2020). Percepciones sobre medios de comunicación y desinformación: ideología y polarización en el sistema mediático español. *Profesional de La Información*, 29(5). <https://doi.org/10.3145/epi.2020.sep.27>
- Mateus, J. C., Andrada, P., & Ferrés, J. (2019). Evaluar la competencia mediática: una aproximación crítica desde las perspectivas pedagógica, política y metodológica. *Revista de Comunicación*, 18(2), 287-301. <https://doi.org/10.26441/RC18.2-2019-A14>
- OCDE/BID (2016). *Políticas de banda ancha para América Latina y el Caribe: un manual para la economía digital*. OECD-Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264259027-es>
- Olaya Rojas, D. D. (2020). *La brecha digital en el contexto escolar Latinoamericano. Un análisis de la producción académica* (Tesis Doctoral – Universidad Antonio de Nariño).
- Ortiz-Ruiz, Y. T. (2021). Accesibilidad Web: Evaluación de Portales Educativos en Chile y España. En F. Vera, S. García, A. Ferriz (Eds). *Congreso Internacional de Tecnología, Aprendizaje y Educación-CITAE*. (pp. 37-47). Centro Transformar SpA y Revista Electrónica Transformar
- Osuna-Acedo, S., Frau-Meigs, D., & Marta Lazo, C. (2018). Educación Mediática y Formación del Profesorado. Educomunicación más allá de la Alfabetización Digital. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 91(32), 29-42. <https://rb.gy/jsbzld>
- Pazmiño Sáenz, R. E., Salazar Álvarez, M. J., Guerrero Aguirre, J. A., Villacis Rodríguez, N. H., & Yulan Camaño, M. K. (2022). Gestión del conocimiento de los docentes sobre la formulación de contenidos educativos en la Educación Superior en el Ecuador. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 4(1), 230–242. <https://rb.gy/lygtzy>
- Peña Crisostomo, A. S. (2020). *Brecha digital en la Institución Educativa 7087 El Nazareno 2019* (Tesis Doctoral, Universidad César Vallejo)
- Pérez Díaz, E. S. (2017). *El conocimiento digital como capital intelectual y ventaja competitiva en instituciones financieras* (Tesis Postgrado, Universidad Autónoma de Querétaro).
- Puche, J. (2018). Innovación Didáctica en la Docencia Universitaria con apoyo de TIC: La Aplicación Socrative. En M. J. Durán Medina y I. Durán Valero (Coords). *TIC actualizadas para una nueva docencia universitaria*. (pp. 647-656). McGrawHill-Educations.

- Roque Rodríguez, E. (2023). Indicadores e índices para evaluar el uso y apropiación tecnológica en docentes de licenciatura. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación Y El Desarrollo Educativo*, 14(27). <https://doi.org/10.23913/ride.v14i27.1735>
- Rodríguez-Ponce, E., Pedraja-Rejas, L., Muñoz-Fritis, C., & Araneda-Guirriman, C. (2022). Gestión del conocimiento y cultura organizacional en instituciones de educación superior chilenas. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 30(2), 266-278. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052022000200266>
- Scheerder, A., Van Deursen, A., y Van Dijk, J. (2017). Determinants of internet skills, uses and outcomes. A systematic review of the second-and third-level digital divide. *TelemaTIC and InformaTIC*, 34(8), 1607-1624. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.07.007>
- Tedre, M., & Denning, P. J. (2016). The long quest for computational thinking. En *Actas de la 16ª Conferencia Internacional Koli Calling sobre Investigación en Educación en Computación*. (pp. 120-129). <https://doi.org/10.1145/2999541.2999542>
- UNESCO [United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization] (2013). *Situación Educativa de América Latina y el Caribe: Hacia la educación de calidad para todos al 2015*. Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe. OREALC/UNESCO. <https://rb.gy/cz2sa9>

Realidad aumentada y educación inclusiva para la comunidad sorda: Una revisión sistemática

Rita Valenzuela-Romero¹, Miryam Vera-Alcázar², Florencia Herrera-Córdova³

rvalenzuelar@unsa.edu.pe; mveraa@unsa.edu.pe; 04432420.fherrerera@unam.edu.pe

¹ Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Avenida Venezuela S/N, Arequipa, 0400, Arequipa- Perú

² Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Avenida Venezuela S/N, Arequipa, 0400, Arequipa- Perú

³La Universidad Nacional de Moquegua, Pacocha 18611, Moquegua, 18001, Moquegua-Perú

DOI: 10.17013/risti.57.72-84

Resumen: La realidad aumentada (RA) ha surgido como una innovadora tecnología con el potencial de revolucionar la enseñanza de la lengua de señas, ofreciendo una experiencia educativa más interactiva, inmersiva y accesible. Este artículo pretende mostrar el análisis de estudios previos sobre el uso de la RA en la instrucción de la lengua de señas, destacando tanto los beneficios como los retos que presenta. A través de una revisión sistemática de la literatura, se evaluaron estudios relevantes, seleccionándose los que cumplían con las preguntas de investigación, criterios de inclusión y exclusión, y disponían del texto completo para ser evaluados. Del total de trabajos examinados el 70% de las aplicaciones de RA fueron programadas específicamente para este propósito. Uno de los mayores beneficios del uso de la RA en la enseñanza de la lengua de señas es la colaboración inclusiva y no solo una herramienta en procesos educativos para la comunidad sorda.

Palabras-clave: Realidad aumentada (RA); diseño de aplicaciones RA; innovación tecnológica en RA; colaboración y tecnologías inmersivas para personas sordas.

Augmented reality and inclusive education for the deaf community: A systematic review

Abstract: Augmented reality (AR) has emerged as an innovative technology with the potential to revolutionize sign language teaching, offering a more interactive, immersive and accessible educational experience. This article aims to identify and analyze previous studies on the use of AR in sign language instruction, highlighting both the benefits and challenges it presents. Through a systematic review of the literature, relevant studies were evaluated, selecting those that met the research questions, inclusion and exclusion criteria, and had the full text available to be evaluated. Of the total works examined, 70% of the AR applications were programmed specifically for this purpose. One of the greatest benefits of using AR in sign language teaching is inclusive collaboration, not just a tool in educational processes for the deaf community.

Keywords: Augmented reality (AR); AR application design; technological innovation in AR; collaboration and immersive technologies for deaf people.

1. Introducción

En la sociedad contemporánea, la igualdad de oportunidades para todas las personas es un valor fundamental (Bragg et al., 2019). En este contexto, la enseñanza de la lengua de señas se ha convertido en un área crucial para garantizar la comunicación efectiva y la plena participación de las personas sordas o con discapacidad auditiva en la vida cotidiana y en el ámbito educativo (Matthew L. Hall y Wyatte, 2019).

La integración de tecnologías emergentes, como la realidad aumentada, ha revolucionado la forma en que abordamos la enseñanza de la lengua de señas, ofreciendo nuevas perspectivas y oportunidades de aprendizaje (Goldin-Meadow & Brentari, 2017).

La realidad aumentada (RA) es una tecnología que integra componentes virtuales en el entorno físico, proporcionando una experiencia enriquecida y participativa (Soogund & Joseph, 2019). Su implementación en la enseñanza de la lengua de señas ha suscitado un creciente interés en la comunidad académica. Numerosos estudios y expertos han explorado las ventajas y el potencial de la RA como recurso pedagógico para la educación en la lengua de señas (Mohd Rum & Boilis, 2021).

La implementación de la realidad aumentada puede realizarse mediante diversos dispositivos, cada uno con sus propias ventajas y desventajas. Estos dispositivos abarcan desde teléfonos inteligentes y tablets, hasta gafas inteligentes, tabletas gráficas, lápices digitales, hologramas y equipos de proyección. Aunque los visores de realidad virtual están diseñados principalmente para la VR, algunos modelos también poseen capacidades de realidad aumentada (Zhan et al., 2020).

Además de los dispositivos específicos, las aplicaciones móviles y el software de escritorio también desempeñan un papel crucial en la aplicación de la realidad aumentada. La elección del dispositivo para enseñar el lenguaje de señas depende de varios factores, como la accesibilidad, la comodidad y el nivel de inmersión requerido. Cada uno de estos dispositivos tiene el potencial de enriquecer la experiencia de aprendizaje y facilitar la comunicación efectiva en el mundo de las personas sordas o con discapacidad auditiva (Salar et al., 2020).

En la investigación en mención llevamos a cabo una revisión sistemática de artículos relacionados con el uso de la realidad aumentada en la enseñanza de la lengua de señas. Nuestro objetivo es resaltar estudios que exploren la utilización de herramientas y tecnologías de realidad aumentada para la enseñanza y el aprendizaje de la lengua de señas, así como los beneficios de su implementación en entornos educativos inclusivos para estudiantes sordos y los desafíos tecnológicos que se presentan.

La importancia de tratar este tema radica en que la realidad aumentada tiene el potencial de transformar la forma en que se enseña la lengua de señas, haciendo el aprendizaje más interactivo y accesible. Esta tecnología puede facilitar una educación más inclusiva y efectiva para las personas sordas, permitiéndoles interactuar con el material educativo de maneras innovadoras. Además, al identificar los desafíos tecnológicos, es posible

desarrollar soluciones que mejoren aún más la experiencia de aprendizaje y contribuyan a la inclusión y accesibilidad en el ámbito educativo. La realidad aumentada (RA) ofrece un conjunto de potencialidades transformadoras para la enseñanza de la lengua de señas. Entre sus principales ventajas destaca su capacidad para crear experiencias de aprendizaje inmersivas y visualmente enriquecidas. A diferencia de los métodos tradicionales basados en videos o ilustraciones estáticas, la RA permite proyectar avatares tridimensionales interactivos que demuestran con precisión la configuración manual, el movimiento y los componentes no manuales de las señas (Mohd Rum & Boilis, 2021). Esta característica resulta particularmente valiosa, ya que la lengua de señas es una modalidad lingüística viso-gestual donde los detalles espaciales y cinéticos son determinantes.

2. Metodología de la revisión

La revisión fue un medio útil para sintetizar el trabajo existente en la literatura. Se llevó a cabo mediante un procedimiento sistemático para obtener los múltiples beneficios que nos proporciona una visión completa del estado del arte sobre el tema de investigación, así como nos permitió identificar brechas relevantes en la literatura y así recopilar evidencias para encargar investigaciones adicionales, evitando así la duplicación de esfuerzos.

Con el objetivo de encontrar estudios primarios relacionados al uso de la realidad aumentada y la enseñanza de la lengua de señas, hemos propuesto las preguntas de investigación (PI) que se describen en la Tabla 1. Así mismo para recuperar estudios primarios, hemos utilizado como estrategia un proceso de búsqueda automatizada realizado en tres bases de datos electrónicas (ver la Tabla 2). Además, hemos tenido en cuenta otros criterios importantes, como: (i) cobertura de la base de datos electrónica; (ii) facilidad para construir la búsqueda a través de campos y comandos disponibles en la base de datos electrónica; (iii) calidad de los resultados, que está relacionada con la precisión de los resultados obtenidos por el procedimiento de búsqueda automatizada; y (iv) versatilidad para exportar resultados (Dieste et al., 2009).

Basándonos en las preguntas de investigación definidas, se identificaron inicialmente dos términos clave principales, a saber, “realidad aumentada” y “lenguaje de señas”. Además, se consideraron posibles variaciones como sinónimos, texto en inglés y formas singulares/plurales, lo que resultó en la siguiente cadena de búsqueda:

(“enseñanza de lengua de señas” OR “sign language teaching”) AND (“realidad aumentada” OR “Augmented reality in deaf people” OR “Augmented Reality Applications” OR “Augmented Reality Development” OR “Augmented Reality in Education” OR “Augmented Reality Technology” OR “Augmented Visualizations” OR “Designing augmented reality” OR “Mixed Reality” OR “aplicaciones de realidad aumentada” OR “augmented reality” OR “desarrollo de realidad aumentada” OR “diseño de realidad aumentada” OR “realidad aumentada en educación” OR “realidad mixta” OR “tecnología de realidad aumentada” OR “visualizaciones aumentadas”)

Figura 1 – Términos clave

Aquí los términos clave principales se conectaron mediante el operador lógico AND. A su vez, se conectaron las posibles variaciones y sinónimos mediante el operador lógico OR.

Pregunta de investigación	Objetivo
<i>PI1: ¿Qué herramientas y tecnologías de realidad aumentada están disponibles actualmente para apoyar la enseñanza y el aprendizaje de la lengua de señas en entornos educativos?</i>	Identificar las herramientas y tecnologías de realidad aumentada que se utilizan o están disponibles para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la lengua de señas entornos educativos
<i>PI2: ¿Cuáles son los beneficios de la implementación de aplicaciones de realidad aumentada en entornos educativos inclusivos para estudiantes sordos?</i>	Velar el nivel de aceptación y usabilidad de estas tecnologías en estudiantes y en la educación de de la comunidad sorda en entornos inclusivos.
<i>PI3: ¿Qué desafíos tecnológicos deben superarse para implementar con éxito aplicaciones de realidad aumentada en la enseñanza de la lengua de señas?</i>	Identificar y analizar los obstáculos técnicos, pedagógicos y de accesibilidad en la implementación de la realidad aumentada (RA) como herramienta para la enseñanza de la lengua de señas

Tabla 1 – Preguntas de investigación y objetivos

Base de datos	URL
<i>Google Scholar</i>	https://scholar.google.com
<i>ISI Web of Science</i>	http://www.isiknowledge.com
<i>Scopus</i>	http://www.scopus.com

Tabla 2 – Bases de datos electrónicas usadas en el proceso de búsqueda automatizada

1. Se han considerado los siguientes criterios de inclusión (CI):
 - CI1: Estudios que abordan el uso de herramientas y tecnologías de realidad aumentada para la enseñanza y el aprendizaje de la lengua de señas en entornos educativos
 - CI2: Estudios que indican los beneficios de la implementación de la realidad aumentada en entornos educativos inclusivos para estudiantes sordos
 - CI3: Estudios que indican los desafíos tecnológicos de la realidad aumentada para la enseñanza de la lengua de señas
2. Se consideran los siguientes criterios de exclusión (CE):
 - CE1: Estudios duplicados
 - CE2: Estudios que no aborden temas de realidad aumentada para la enseñanza de la lengua de señas
 - CE3: Estudios que no fueron publicados en los últimos 5 años
 - CE4: Estudios que no sean en inglés o español
 - CE5: Estudios secundarios o terciarios

En esta revisión sistemática, un determinado estudio primario se considera relevante si no cumple ninguno de los criterios de exclusión mencionados anteriormente y cumple al menos uno de los criterios de inclusión. Cabe mencionar que tuvimos presente la calidad de los artículos seleccionados por ello los estudios primarios incluyeron estudios cuantitativos y cualitativos para los cuales se establecieron criterios de evaluación de calidad (QA) basados en las siguientes preguntas:

- QA1: ¿El objetivo está claramente definido?
- QA2: ¿El estudio realizó por lo menos un experimento para validar la respuesta?
- QA3: ¿Se identifican claramente qué herramientas y tecnologías de realidad aumentada están disponibles actualmente para la enseñanza de la lengua de señas?
- QA4: ¿Se identifican claramente cuáles son los beneficios de la realidad aumentada en la enseñanza de la lengua de señas?

La calificación de las preguntas se muestran en la Tabla 3.

Descripción	Peso
Sí	1.0
Parcialmente	0.5
No	0.0

Tabla 3 –Peso de las preguntas de calidad

3. Proceso de selección

Los estudios primarios fueron examinados, seleccionados y evaluados de acuerdo con el protocolo establecido, lo que resultó en un conjunto de estudios posiblemente relevantes.

La cadena de búsqueda genérica experimentó ajustes ligeros con el propósito de adecuarse a las particularidades de cada motor de búsqueda en cada una de las bases de datos electrónicas. Luego, se llevó a cabo el procedimiento de búsqueda automatizada en las bases de datos electrónicas seleccionadas, buscando todos los estudios que coincidieran con la cadena de búsqueda adaptada. Después de recuperar los estudios de las bases de datos electrónicas, se eliminaron los estudios indexados en más de una base de datos y luego se filtraron los estudios en función de los criterios de selección en función de la información disponible en el título, el resumen y las palabras clave.

La Figura 2 muestra los pasos para seleccionar los estudios primarios relevantes. Después de eliminar los estudios recuperados por dos o más bases de datos electrónicas, se evaluaron 92 estudios en función de su título, resumen y palabras clave, de acuerdo con los criterios de selección, lo que resultó en un conjunto de 27 estudios potencialmente relevantes. Se revisaron aquellos a los que se tenía acceso al documento completo y se aplicaron nuevamente los criterios de selección. Como resultado, se seleccionaron 10 estudios primarios como relevantes para esta revisión sistemática. Cabe aclarar que se encontraron muchos más artículos referentes a la realidad aumentada y la

enseñanza de la lengua de señas, pero en muchos de ellos solo se tenía acceso al resumen y no al contexto completo.

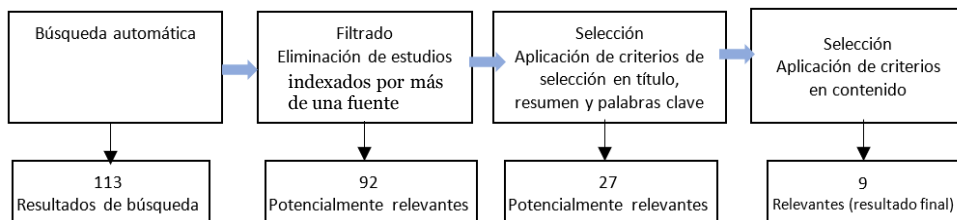


Figura 2 – Pasos de selección de estudios primarios

4. Resultados

Los resultados a mostrar parten de la revisión sistemática de la literatura realizada, teniendo en cuenta las preguntas de investigación y los datos extraídos/sintetizados. Primero, realizaremos una breve visión general de los estudios primarios seleccionados y luego las respuestas a cada pregunta de investigación basadas en el análisis de dichos estudios.

A. Revisión de los estudios primarios realizados

De los estudios seleccionados, tenemos que cuatro El análisis de la literatura revela que los estudios seleccionados provienen de diversas fuentes bibliográficas, destacándose cuatro publicaciones indexadas en ISI Web of Science, tres recuperadas mediante Google Scholar y dos encontradas en Scopus. Esta distribución evidencia un abordaje multidisciplinario del tema, aunque también sugiere cierta fragmentación en la disponibilidad de los estudios, ya que muchos solo estaban accesibles mediante resúmenes, limitando el análisis en profundidad. Además en cuanto a la distribución temporal, se identificó un artículo del año 2019, dos de 2021, cuatro de 2022 y dos de 2023. Esta tendencia indica un crecimiento progresivo en la investigación sobre realidad aumentada (RA) y enseñanza de lenguas de señas, particularmente en los últimos tres años, lo que podría asociarse al avance tecnológico y al mayor interés en metodologías educativas inclusivas. Por otro lado, respecto a los canales de publicación, tres estudios fueron presentados en conferencias, mientras que seis se publicaron en journals académicos.

Esto refleja un equilibrio entre la difusión en espacios de discusión inmediata como congresos y la validación mediante revistas especializadas. Sin embargo, un desafío recurrente fue la falta de acceso al contenido completo en varias fuentes, lo cual restringe la capacidad de evaluar aspectos metodológicos o resultados con mayor rigor.

También podemos ver algunas implicaciones y limitaciones ya que, aunque los hallazgos confirman el potencial de la Realidad aumentada en la enseñanza

de lenguas de señas, la escasez de artículos con acceso abierto especialmente en journals de alto impacto señala una barrera para la síntesis crítica. Futuras revisiones podrían beneficiarse de estrategias como la solicitud de documentos a autores o el uso de repositorios institucionales. Además, sería pertinente profundizar en estudios experimentales que contrasten la eficacia pedagógica de estas herramientas.

Año de publicación	Conferencia	Journal	Total, general
Año 2019		1	1
ISI Web of Science		1	1
Año 2020		1	1
Google Scholar		1	1
Año 2021	1	1	2
Google Scholar		1	1
Scopus	1		1
Año 2022	2	2	4
Google Scholar		1	1
ISI Web of Science	1	1	2
Scopus	1		1
Año 2023		2	2
Google Scholar		1	1
ISI Web of Science		1	1
Total, general	3	7	10

Tabla 4 – Revisión de los estudios primarios realizados

Se muestra la cantidad de artículos por fuente:

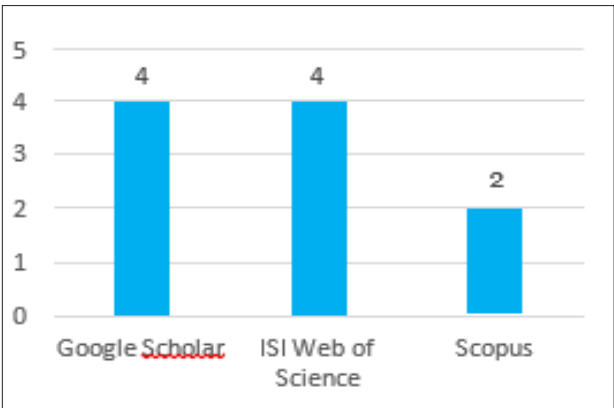


Figura. 3 – Cantidad de artículos por fuente

B. PI1 - Herramientas y tecnologías de realidad aumentada

La revisión de la literatura permitió identificar diversas herramientas y tecnologías de realidad aumentada (RA) empleadas en la enseñanza y aprendizaje de lenguas de señas, destacando aplicaciones móviles y soluciones basadas en marcadores. Un hallazgo relevante fue que el 90% de los estudios analizados utilizaron dispositivos móviles con sistema operativo Android como plataforma principal para implementar estas herramientas, lo que sugiere una preferencia por su accesibilidad, costo asequible y flexibilidad en entornos educativos. Según los datos reportados, estas aplicaciones alcanzaron una tasa de éxito superior al 90% en términos de eficacia pedagógica, lo que refuerza el potencial de la RA como recurso didáctico en este campo. Un caso destacado fue el estudio S6 (Huanca & Puño-Quispe, 2022), donde se evaluó el impacto de la RA en estudiantes de quinto grado de primaria mediante un diseño pretest-postest. Los resultados mostraron una diferencia significativa en las medias, con un incremento en el promedio de rendimiento de 49.36 a 75.32 puntos después de la intervención. Este avance no solo corrobora la efectividad de la RA en la percepción del aprendizaje, sino que también resalta su capacidad para mejorar el desempeño académico en contextos reales.

En cuanto al desarrollo técnico de estas aplicaciones, se observó que el 70% fueron programadas en C#, un lenguaje robusto y ampliamente utilizado en el desarrollo de soluciones interactivas. Asimismo, dos de los trabajos revisados (S2 y S8) reportaron el uso de Unity y Blender para la creación de modelos 3D y la integración de funcionalidades de RA. Estas herramientas demostraron ser esenciales para diseñar entornos inmersivos y facilitar la interacción usuario-aplicación, lo que podría explicar parte del éxito obtenido en los resultados académicos. A pesar de los hallazgos positivos, es importante considerar ciertas limitaciones como el sesgo tecnológico ya que la predominancia de Android en los estudios podría excluir evidencia sobre otras plataformas como por ejemplo iOS que también podrían ser efectivas. Otra limitación es la generalización de resultados ya que la mayoría de las pruebas se realizaron en contextos educativos específicos; se requieren más estudios en diversidad de poblaciones y niveles educativos. Finalmente, también se vería lo que es la sostenibilidad ya que no se analizó la escalabilidad o costos a largo plazo de estas soluciones.

Futuras investigaciones podrían explorar el impacto comparativo de distintas herramientas como la Realidad aumentada sin marcadores o lenguajes de programación, así como evaluar la retención del aprendizaje que se tiene a mediano plazo.

C. PI2 - Beneficios de la implementación de aplicaciones de realidad aumentada en entornos educativos inclusivos.

La mayoría de los artículos revisados indican que un beneficio del uso de la realidad aumentada para la enseñanza de la lengua de señas es la colaboración inclusiva, ya que puede facilitar la colaboración entre estudiantes sordos y oyentes al proporcionar herramientas de comunicación efectivas y experiencias de

aprendizaje compartidas (estudios S1, S2, S3, S6, S8)¹. Además, las aplicaciones de realidad aumentada permiten la personalización del aprendizaje al adaptarse a las necesidades individuales de los estudiantes sordos, permitiendo un aprendizaje más personalizado y efectivo (S1,S2,S9, S10)².

Tienen accesibilidad mejorada ya que las aplicaciones de RA pueden hacer que el contenido educativo sea más accesible para estudiantes sordos al proporcionar información visual y signos de lengua de señas, lo que facilita la comprensión y participación (S1,S2,S6)³.

Estimulan la creatividad e incrementan la concentración (S1)

D. PI3 – Desafíos tecnológicos

En algunos artículos concluían que los estudiantes deben tener acceso a dispositivos móviles compatibles con la realidad aumentada y conexiones de alta velocidad (estudios S8, S9, S10)⁴. La compatibilidad de plataformas es fundamental: las aplicaciones de realidad aumentada deben ser operativas en una amplia variedad de dispositivos móviles y sistemas operativos para llegar al mayor número posible de estudiantes. Asegurar esta compatibilidad es esencial para maximizar el acceso y la eficacia de las herramientas educativas de RA, permitiendo que un mayor número de estudiantes se beneficie de estas innovadoras tecnologías de aprendizaje. La diversidad de dispositivos y sistemas operativos subraya la necesidad de desarrollar soluciones versátiles que puedan adaptarse a diferentes entornos tecnológicos, promoviendo una educación más inclusiva y accesible para todos. El costo y la accesibilidad de los dispositivos de realidad aumentada representan desafíos significativos. Estos equipos pueden resultar onerosos, y no todos los dispositivos móviles son compatibles con esta tecnología. Aparatos como las gafas inteligentes y los hologramas suelen tener un precio elevado, lo cual limita su disponibilidad para una gran parte de la población. Además, la capacidad de muchos dispositivos móviles para soportar aplicaciones de realidad aumentada varía considerablemente, restringiendo su uso en contextos educativos y personales. Estas limitaciones tecnológicas nos llevan a reflexionar sobre la necesidad de desarrollar soluciones más asequibles y accesibles, permitiendo que un mayor número de personas puedan aprovechar los beneficios de la realidad aumentada (Zhan et al., 2020).

La accesibilidad es un aspecto crucial: los estudios sugieren que garantizar que las soluciones de RA sean accesibles para todos los estudiantes, incluidos aquellos con discapacidades, puede requerir esfuerzos adicionales en términos de diseño y desarrollo. Es fundamental que estas tecnologías se diseñen pensando en la inclusión, lo que implica un compromiso con la creación de herramientas que sean utilizables desde el ámbito de la lingüística aplicada, sin excepción. Al abordar estos desafíos de accesibilidad, se

¹ Consultar anexo A

² Consultar anexo A

³ Consultar anexo A

⁴ Consultar anexo A

pueden desarrollar soluciones de RA que verdaderamente beneficien a una población estudiantil diversa y promuevan una educación más equitativa.

4. Conclusiones

Al hacer la revisión de los artículos observamos que el dispositivo móvil es una de las herramientas más comunes para experimentar la realidad aumentada debido a su ubicuidad y facilidad de acceso. Los smartphones y tabletas modernos están equipados con cámaras de alta calidad y sensores que permiten interactuar con aplicaciones de realidad aumentada de manera efectiva. Además, su portabilidad los hace convenientes para llevar a cualquier lugar y usar en diversas situaciones. Sin embargo, si bien los dispositivos móviles son muy populares para la realidad aumentada, no necesariamente son la mejor herramienta en todos los contextos.

La elección de la herramienta adecuada para la realidad aumentada depende de los objetivos específicos y las necesidades de los lingüistas y usuario. Por lo tanto, la elección entre un dispositivo móvil y otros dispositivos de realidad aumentada dependerá de factores como la aplicación específica, el presupuesto, la comodidad y la inmersión requerida. Los dispositivos móviles son una excelente opción para muchas aplicaciones de realidad aumentada, pero no son la única opción disponible.

Según la literatura revisada, las aplicaciones de realidad aumentada ofrecen a los estudiantes la oportunidad de practicar y experimentar la lengua de señas de una manera interactiva y práctica, mejorando significativamente su retención y comprensión de los conceptos. Además, algunas de estas aplicaciones están diseñadas para adaptarse al nivel de habilidad individual de cada estudiante, permitiendo un aprendizaje personalizado y a su propio ritmo. Este enfoque individualizado es lingüísticamente beneficioso para el desarrollo de competencias en la lengua de señas, facilitando un proceso de aprendizaje más efectivo y accesible de habilidades psicolingüísticas.

La educación inmersiva ha demostrado ser una herramienta valiosa para la enseñanza de la lengua de señas, especialmente cuando se emplean dispositivos tecnológicos avanzados como la realidad aumentada (RA). Estos dispositivos permiten una experiencia de aprendizaje más interactiva y accesible, facilitando la inclusión de la comunidad sorda en los procesos educativos. La implementación de la RA y otras tecnologías inmersivas en la enseñanza de la lengua de señas no solo mejora la retención y comprensión de los estudiantes, sino que también fomenta una colaboración más inclusiva y efectiva. A pesar de algunos desafíos técnicos y la necesidad de más estudios completos, el creciente interés y los resultados positivos indican que estas tecnologías tienen un futuro prometedor en la educación inclusiva.

La implementación de la realidad aumentada (RA) en la enseñanza de lenguas de señas representa un avance pedagógico transformador, con ventajas tangibles que redefinen la educación inclusiva. Como demuestran los estudios analizados, esta tecnología no solo mejora significativamente los resultados de aprendizaje con casos documentados donde los promedios estudiantiles aumentaron hasta en 26 puntos porcentuales, sino que también rompe barreras comunicativas al ofrecer representaciones visuales interactivas accesibles tanto para estudiantes sordos como oyentes. Su efectividad radica en la capacidad de crear entornos inmersivos que estimulan el aprendizaje multisensorial,

combinando la accesibilidad de plataformas móviles como Android con herramientas de desarrollo asequibles (Unity, Blender). Más allá de sus beneficios técnicos, la RA emerge como un “igualador social” debido a que al integrarse en las aulas de educación regular, fomenta la participación activa de toda la comunidad educativa y promueve valores de empatía e inclusión.

El verdadero impacto de esta tecnología trasciende lo académico, posicionándose como catalizador de un cambio estructural en la educación. La viabilidad económica de sus soluciones -demostrada por la predominancia de aplicaciones desarrolladas en C# para dispositivos móviles de bajo costo- la convierte en una alternativa escalable para instituciones con recursos limitados. Además, su naturaleza innovadora está inspirando a profesionales de la lingüística y pedagogía a reinventar sus metodologías, creando un efecto multiplicador en el campo educativo. Los resultados no mienten: cuando herramientas como las aplicaciones basadas en marcadores se implementan sistemáticamente, no solo mejoran los indicadores de aprendizaje, sino que transforman las percepciones sobre la educación especial, alineándose perfectamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En este contexto, la adopción de la Realidad Aumentada deja de ser una opción tecnológica para convertirse en un imperativo ético para cualquier institución comprometida con la verdadera equidad educativa.

Referencias

- Carrecedo, J.P., & Martínez, C. L. (2020). Realidad aumentada: una alternativa metodológica en la educación primaria nicaragüense. *IEEE-RITA*, 7(2), 102–108.
- Chen, C-H., Lee, I-J., & Lin, L-Y. (2019). Augmented reality-based video-modeling storybook of nonverbal facial cues for children with autism spectrum disorder to improve their perceptions and judgments of facial expressions and emotions. *Computers and Human. Behaviour*, 16, 477–485. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2015.09.033>
- Chen, Ch.-H., Lee, I.-J., & Lin, L.-Y (2020). Augmented reality-based self-facial modeling to promote the emotional expression and social skills of adolescents with autism spectrum disorders. *Research in Developmental Disabilities*, 36, 396–403. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ridd.2014.10.015>
- Cheng, J., & Chang, C. (2021). Using computers in early childhood classrooms: teachers' attitudes, skills and practices. *Journal of Early Childhood Research*, 4(2), 269–288.
- Chiang, T.-H.-C., Yang, S.-J.-H., & Hwang, G.-J. (2019). An Augmented Reality-based Mobile Learning System to Improve Students' Learning Achievements and Motivations in Natural
- Cózar, R., del Moya, M., Hernández, J.A., & Hernández, J.R. (2020). Tecnologías emergentes para la enseñanza de las ciencias sociales. Una experiencia con el uso de realidad aumentada en la formación inicial de maestros. *Digital Education Review*, 27, 138–153.

- Dieste, O., Grimán, A., & Juristo, N. (2020). Developing search strategies for detecting relevant experiments. *Empirical Software Engineering*, 14(5), 513-539. <https://doi.org/10.1007/s10664-008-9091-7>
- Goldin-Meadow, S., & Brentari, D. (2021). Gesture, sign, and language: The coming of age of sign language and gesture studies. *Behavioral and Brain Sciences*, 40, e46. <https://doi.org/10.1017/S0140525X15001247>
- Huanca, A. C., & Puño-Quispe, L. (2022). Aplicación de la realidad aumentada en la percepción de aprendizaje en estudiantes de primaria. *SciELO Preprints*. <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.3784>
- Hsu, T. C. (2017). Learning english with augmented reality: Do learning styles matter? *Computers and Education*, 106, 137-149. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.12.007>
- Kitchenham, B. A., Budgen, D., & Pearl Brereton, O. (2020). Using mapping studies as the basis for further research – A participant- observer case study. *Information and Software Technology*, 53(6), 638-651. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2010.12.011>
- Hall, M. L., & Wyatte, C. (2019). Deaf children need language, not (just) speech. *First Language*, 39(4), 367-395. <https://doi.org/10.1177/0142723719834102>
- Ministerio de Educación del Perú. (2018). Tipología y caracterización de las escuelas privadas en el Perú. *Estudios breves* 39(3), 1-39.
- Mohd Rum, S. N., & Boilis, B. I. (2021). Sign Language Communication through Augmented Reality and Speech Recognition (LEARNSIGN). *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 69(4), 125-130. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I4P218>
- Salar, R., Arici, F., Caliklar, S., & Yilmaz, R. M. (2020). A Model for Augmented Reality Immersion Experiences of University Students Studying in Science Education. *Journal of Science Education and Technology*, 29(2), 257-271. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09810-x>
- Science Inquiry Activities. *Educational Technology & Society*, 17(4), 352-365. Recuperado de http://www.ifets.info/journals/17_4/24.pdf
- Zhan, T., Yin, K., Xiong, J., He, Z., & Wu, S.-T. (2020). Augmented Reality and Virtual Reality Displays: Perspectives and Challenges. *iScience*, 23(8), 101397. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101397>

Anexo A. Estudios seleccionados

ID	REFERENCIA
S1	Aditama, P.W., Putra, P.S.U., Yusa, I.M.M., Putra, I.N.T.A. (2021) <i>Designing augmented reality sibi sign language as a learning media</i> . (2021 Recuperado 30 de septiembre de 2023, de
S2	Bastos, I., Angelo, M., & Loula, A. (2019, agosto 29). <i>Recognition of Static Gestures Applied to Brazilian Sign Language (Libras)</i> . https://doi.org/10.1109/SIBGRAP.2015.26
S3	Cabanillas-Carbonell, M., Cusi-Ruiz, P., Prudencio-Gálvez, D., & Salazar, J. L. H. (2022). Mobile Application with Augmented Reality to Improve the Process of Learning Sign Language. <i>International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)</i> , 16 (11), Article 11. https://doi.org/10.3991/ijim.v16i11.29717
S4	Ghoul, O. E., & Othman, A. (2022). Virtual reality for educating Sign Language using signing avatar: The future of creative learning for deaf students. <i>2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)</i> , 1269-1274. https://doi.org/10.1109/EDUCON52537.2022.9766692
S5	Huanca, A. C., & Puño-Quispe, L. (2022). Aplicación de la realidad aumentada en la percepción de aprendizaje en estudiantes de primaria. <i>SciELO Preprints</i> . https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.3784
S6	Isuiza Pérez, D. D., Asto Huamán, L., Arangüena Yllanes, M. R., & Diaz Dumont, J. R. (2020). Aplicación Móvil educativa para facilitar el aprendizaje de la Lengua de Señas del Perú en personas sordomudas. <i>TAYACAJA</i> , 3(2).
S7	Mohd Rum, S. N., & Boilis, B. I. (2021). Sign Language Communication through Augmented Reality and Speech Recognition (LEARNSIGN). <i>International Journal of Engineering Trends and Technology</i> , 69 (4), 125-130. https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I4P218
S8	Perifanou, M., Economides, A. A., & Nikou, S. A. (2023). Teachers' Views on Integrating Augmented Reality in Education: Needs, Opportunities, Challenges and Recommendations. <i>Future Internet</i> , 15 (1), Article 1. https://doi.org/10.3390/fi15010020
S9	Rocha, T., Pinto, T., Carvalho, D., Martins, P., & Barroso, J. (2022). Designing augmented reality cards as an educational resource to teach Portuguese Sign Language. <i>2022 Third International Conference on Digital Creation in Arts, Media and Technology (ARTeFACTo)</i> , 1-6. https://doi.org/10.1109/ARTeFACTo57448.2022.10061261
S10	Sun, X., Zhou, S., Zhang, Y., Wang, Q., & Wen, S.-j. (2022). Investigating Augmented Reality as a mode of representation for hearing and hearing-impaired preschool children. <i>International Journal of Child-Computer Interaction</i> , 34, 100523. https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2022.100523

Previsão do índice de Açúcar Total Recuperável (ATR) de Cana-de-Açúcar Usando Redes Neurais Artificiais

Luciano Henrique Alves de Siqueira¹, Anderson Rogério Faia Pinto¹,
Jorge Alberto Achcar¹, Antonio Fernando Crepaldi², José Luís Garcia Hermosilla¹,
Marcelo Seido Nagano³

luciano.has@gmail.com; faiaphd@gmail.com; achcar@fmrp.usp.br;
crepaldi@feb.unesp.br; jlghermosilla@hotmail.com; drnagano@usp.br

¹ Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de Araraquara, Av. Carlos Gomes, 1217 – Centro, 14801-340, Araraquara - SP, Brasil.

² Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista, Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube 14-01 – Vargem Limpa, 17033-360, Bauru - SP, Brasil.

³ Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São-carlense, 400 – Centro, 13566-590, São Carlos - SP, Brasil.

DOI: 10.17013/risti.57.85–107

Resumo: A colheita da cana-de-açúcar impacta significativamente a produtividade das usinas sucroalcooleiras e deve ser realizada no ponto ótimo de maturação ou Período de Utilização Industrial (PUI). A estimativa do PUI é obtida por análises laboratoriais que mensuram o índice de Açúcar Total Recuperável (ATR). A questão é que o planejamento das usinas sucroalcooleiras é dependente da previsão de produção (açúcar e etanol), e não há ferramentas capazes de substituir os altos custos das análises laboratoriais do ATR. Logo, este artigo traz um estudo de caso cujo objetivo é propor um modelo computacional para estimar o índice de ATR da produção de uma usina sucroalcooleira do interior do estado de São Paulo. Este modelo é fundamentado nas Artificial Neural Networks (ANN) e foi aplicado às bases de dados das lavouras de 48.151 talhões das safras de 2016/2017 a 2022/2023. As experimentações apresentaram um erro médio absoluto (3,49%) muito inferior às análises laboratoriais (12,17%). A principal contribuição deste estudo está em fornecer um modelo de baixo custo que estima com acurácia muito satisfatória o índice de ATR para o PUI.

Palavras-chave: Usinas; Predição; Produtividade; Inteligência Artificial.

Forecast of the Total Recoverable Sugar (TRS) Index of Sugarcane Using Artificial Neural Networks

Abstract: Sugarcane harvesting significantly impacts the productivity of sugar mills and should be carried out at the optimal maturity point or Period of Industrial Utilization (PIU). The PIU is estimated through laboratory analyses that measure

the Total Recoverable Sugar (TRS) index. The challenge lies in the fact that the planning of sugar mills depends on production forecasts (sugar and ethanol), and there are no tools capable of replacing the high costs of laboratory TRS analyses. Therefore, this article presents a case study aimed at proposing a computational model to estimate the TRS index of the production of a sugar mill in the countryside of São Paulo, Brazil. This model is based Artificial Neural Networks (ANN) and was applied to databases of 48,151 plots from the 2016/2017 to 2022/2023 harvests. The experiments presented a mean absolute error (3.49%) much lower than laboratory analyses (12.17%). The main contribution of this study lies in providing a low-cost model that estimates the ATR index with very high accuracy of the PIU.

Keywords: Sugar Mills; Prediction; Productivity; Artificial Intelligence.

1. Introdução

A cana-de-açúcar é nativa da Nova Guiné e foi introduzida na África e na Europa pelos árabes (Denham, 2024). No Brasil, maior produtor mundial, a indústria sucroalcooleira tem impulsionado a agricultura e viabilizado a matriz energética por meio da biomassa da cana-de-açúcar (Shanthi et al., 2023). Essas indústrias atendem aos mercados nacional e internacional e contribuem significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB). A estimativa brasileira referente à safra 2024/25 é de 685,86 milhões de toneladas (Mt) para uma área de 8.673,1 mil hectares (ha) e produtividade média de 79.079 kg/ha (Silva et al., 2023, CONAB, 2024). Um ciclo de produção abrange desde o plantio dos lotes (matéria-prima) até o manejo, colheita e transformação em açúcar e/ou etanol (Florentino et al., 2018; Shanthi et al., 2023). A produção é, portanto, determinada por um conjunto de fatores (climáticos, ambientais e agrônômicos) que envolvem desde a escolha da variedade e o manejo do canavial (idade, número de cortes, fertilização) até o controle de pragas, doenças e ervas daninhas (Monteiro & Sentelhas, 2014; Monteiro & Sentelhas, 2017; Hammer, et al., 2020). A máxima eficiência fotossintética da cana-de-açúcar (metabolismo C₄) é alcançada em condições de alta radiação solar, solo úmido e temperaturas atmosféricas entre 25°C e 35°C (Shanthi et al., 2023; Ali et al., 2024). A otimização da produção envolve a colheita no momento ideal de maturação ou Período de Utilização Industrial (PUI). Essa maturação ocorre em condições de escassez hídrica prolongada, cuja temperatura média mais adequada para o amadurecimento é de 12–14°C (Dias Neto et al., 2022; Shanthi et al., 2023). No PUI, o teor de açúcar nos colmos está entre 12,257% e 16% (Shanthi et al., 2023).

As análises de maturação exigem o gerenciamento de um grande volume de dados e são realizadas por meio da coleta manual de pequenas amostras de cana de cada lote que são transportadas ao laboratório para a dosagem do PUI (Florentino et al., 2018; Souza et al., 2022; Shanthi et al., 2023). Essas medições são comumente realizadas por espectrometria e o PUI é obtido pelo grau Brix (°Bx)¹. Assim, o PUI presente nas amostras reflete a qualidade de cada lote de cana e resulta em um índice definido como Açúcar Total Recuperável (ATR). A maturação também pode ser induzida artificialmente com a aplicação de maturadores químicos (Shanthi et al., 2023). Esses maturadores,

¹ Indicador de sólidos solúveis no caldo considerando pureza, teor de sacarose, açúcares redutores totais e ATR.

ao modificar a morfologia e a fisiologia da planta, melhoram a qualidade da matéria-prima, otimizam os resultados agroindustriais e econômicos e facilitam o planejamento da colheita (Florentino et al., 2018; Dias Neto et al., 2022; Silva et al., 2023). A colheita é o componente com maior custo de produção (25%) e inclui desde processos tecnológicos até os fatores sociais, econômicos e fisiológicos (Dias Neto et al., 2022). Os períodos e o sequenciamento de colheita dos lotes podem variar dependendo da região e do valor agregado ao ATR (Florentino et al., 2018; Shanthi et al., 2023). Além disso, o mercado de açúcar e etanol é caracterizado por preços voláteis e a lucratividade requer altos níveis de eficiência operacional e ATR (Florentino et al., 2018; CNA, 2023). Tanto a gestão logística quanto a produtiva (cronogramas de colheita e operações de processamento), assim como custos, estratégia comercial e negociações de preços, também estão comumente associadas ao ATR (Consecana-SP 2023; Kathirvel & Venkatachalam, 2025). É ante este contexto que os gestores têm de lidar com dois problemas críticos: i) prever a receita por tonelada mediante a estimativa do ATR (Consecana-SP, 2023), ii) prever a produção para planejar as etapas do ciclo de produção (Souza et al., 2022).

A questão é que os modelos atualmente disponíveis para estimar a produtividade e o índice ATR da cana-de-açúcar não apresentam precisão satisfatória (De Oliveira et al., 2017; Canata et al., 2024; Kathirvel & Venkatachalam, 2025). Há ainda incertezas quanto à ordem hierárquica e ao impacto das variáveis climáticas e de manejo (Everingham et al., 2016; Hammer et al., 2020). A integração desses fatores é geralmente realizada por meio de modelos mecanísticos e modelos empíricos baseados em Big Data (Dias & Inman-Bamber, 2020; Hammer et al., 2020; Kathirvel & Venkatachalam, 2025). Os modelos mecanísticos mais utilizados são o Agro-Ecological Zone Model (AZM-FAO), o Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT/CANEGRO) e o Agricultural Production Systems SIMulator – Sugarcane (APSIM-Sugar). Já os modelos empíricos focam em Data Mining (DM), Machine Learning (ML) e Artificial Intelligence (AI). Exemplos são as técnicas Random Forest (RF), Regression Trees (RT), Multiple Linear Regression (MLR), Artificial Neural Network (ANN), Gradient Boosting Tree (GBT), Support Vector Machine (SVM), Boosted Regression Trees (BRTs), Support Vector Regression (SVR) e Gradient Boosting Machine (GBM). Entretanto, esses modelos possuem algumas limitações: i) Modelos Mecanicistas – enfrentam desafios relacionados à senescência e à parametrização de novas cultivares; ii) Modelos Empíricos – são complexos e dependentes das variáveis de entrada e de grandes quantidades de dados de alta qualidade que podem ter desempenho impactado pela linearidade, multicolinearidade e a Spatial Autocorrelation (SA).

Fato é que muitos modelos não são adequados para dados (não normais) com características autocorrelacionadas e que apresentam condições heterogêneas na cana-de-açúcar (De Oliveira et al., 2017; Canata et al., 2024). A maioria dos bancos de dados usados também são de tamanho e diversidade insatisfatórios (Hammer et al., 2020; Cardoso et al., 2025). Além disso, a falta de dados para benchmarking e a ausência de métricas de avaliação limitam a comparação entre os modelos (Ferracioli et al., 2019; Cardoso et al., 2025; Kathirvel & Venkatachalam, 2025;). Estas questões fazem as indústrias sucroalcooleiras ainda optarem por análises laboratoriais caracterizadas como trabalhosas, demoradas e limitadas em escalabilidade (Phuphaphud et al., 2019; Canata et al., 2024; Kathirvel & Venkatachalam, 2025). Tais análises requerem

tempo e geram altos custos relacionados ao uso de uma série de recursos (humanos, logísticos, laboratoriais, etc.). Há, portanto, uma grande demanda por modelos quantitativos capazes de reduzir o tempo e os custos associados à estimativa ou identificação dos fatores que influenciam a variabilidade da produtividade e do índice ATR. É indiscutível que avanços nos modelos de predição propostos pela literatura são imprescindíveis e altamente relevantes para a indústria sucroalcooleira do Brasil. À vista disso, este manuscrito apresenta um estudo de caso cujo objetivo é propor um modelo computacional para estimar o índice de ATR na produção de cana-de-açúcar de uma usina sucroalcooleira do interior do estado de São Paulo. A formulação do modelo é baseada nas ANN e utiliza a linguagem de programação Python® junto com a rede Feed-Forward. Esse modelo é aplicado a um grande banco de dados reais referente as safras de 2016/2017 a 2022/2023. É importante ressaltar que o uso das ANN é apropriado por se provar eficaz para lidar com as complexidades inerentes às predições utilizando grandes bases de dados históricos (Katal & Singh, 2022; Maier et al., 2023). Assim sendo, este estudo não tem como foco realizar análises comparativas entre os modelos propostos pela literatura para estimar o índice de ATR. Todo escopo está na proposição de um modelo ágil e de acurácia satisfatória na predição dos níveis de produtividade e mensuração do índice de ATR. A perspectiva é que uma tecnologia de fácil acesso e baixo custo possa melhorar o planejamento e a tomada de decisões relacionadas aos fatores de produção e financeiros em mais usinas de açúcar e etanol no Brasil.

2. Método de Pesquisa

Esta é uma pesquisa aplicada de natureza quantitativa e caracterizada como um estudo de caso (Matović & Ovesni, 2023). A revisão de literatura foi realizada por meio de análises bibliográficas fundamentadas em Lim et al. (2022). As buscas realizaram-se nas bases de dados Scopus, Google Scholar, IEEE Xplore, Web of Science e ScienceDirect. As palavras-chave usadas nos campos de buscas avançadas foram; “*sugarcane*”, “*maturation*”, “*forecasting*”, “*deep learning*”, “*machine learning*” e “*artificial intelligence*”. Nos conjuntos de palavras correlatas, como as da área de IA, foi utilizado, para encontrar resultados que contenham ao menos uma das palavras-chave, a expressão booleana “OR”. Além disso, para que fossem encontrados resultados que contenham a combinação de palavras-chave obrigatórias foi utilizado a expressão booleana “AND”. No processo de busca, o único critério de data estabelecido foi a limitação de artigos publicados até maio de 2025.

A abordagem de solução do problema em questão se fundamentou no arcabouço teórico, nos dados documentais da usina em estudo e na realidade prática de mensuração do ATR. Portanto, este estudo utilizou dados históricos reais contendo fatores meteorológicos e de produção referente a 48.151 talhões de diferentes regiões do estado de São Paulo referente às safras de 2016/2017 a 2022/2023. Também foi realizada uma análise preliminar (estatísticas descritivas) para a padronização dos dados e a seleção de atributos relevantes, baseada na literatura e em entrevistas com os especialistas da usina do interior de São Paulo. A análise preliminar foi obtida utilizando o software Minitab® e validou um conjunto independente de dados que detalharam a problemática, a função objetivo e a aplicação das ANN. Esses dados foram tratados por meio de ajustes de hiperparâmetros seguidos da modelagem matemática da ANN. A programação

computacional e as experimentações das ANN foram realizadas em linguagem Python® junto com a rede Feed-Forward utilizando o Google Colab (<https://colab.google/>). Todos os dados tratados (produção e meteorológicos) foram utilizados para treinar e ampliar a acurácia das estimativas das ANN. A eficácia das ANN foi avaliada empregando a métrica Mean Absolute Percentual Error (MAPE).

3. Revisão de Literatura

A literatura tem proposto uma série de modelos para prever a produtividade da cana-de-açúcar e estimar o ATR. Madeiro et al. (2006) estimaram indicadores de produtividade e maturação utilizando ANN parametrizadas por Genetic Algorithm (GA). Everingham et al. (2009) evidenciaram que as análises em torno do crescimento e da produção da cana-de-açúcar são limitadas quando utilizado o APSIM-Sugar. Bocca & Rodrigues (2016) propuseram técnicas de DM (RF, RT, BRT, ANN, SVM e Feature Selection (FS) com o RReliefF) para calcular a produtividade da cana-de-açúcar na Usina Alcídia, Odebrecht Agroindustrial (Teodoro Sampaio), São Paulo, Brasil. Everingham et al. (2016) aplicaram o Random Forest Classifier (RFC) e o Random Forest Regressor (RFR) para explicar a variação anual na produtividade da cana-de-açúcar em Tully, Austrália. Dias & Sentelhas (2017) avaliaram AZM-FAO, DSSAT/CANEGRO e APSIM-Sugar para estimar a produtividade da cana-de-açúcar em usinas na região Nordeste do Brasil. Oliveira et al. (2017) identificam as variáveis associadas ao ATR com uma precisão de 90% usando DM (RF, RT e SVR com RReliefF) e dados da mesma planta estudada por Bocca & Rodrigues (2016).

Por conseguinte, Charoen-Ung & Mittrapiyanuruk (2018) propuseram a RF (71,83%) e GBT (71,64%) para estimar com boa precisão o rendimento de um conjunto de lotes de cana-de-açúcar na Tailândia. Charoen-Ung & Mittrapiyanuruk (2019) também aplicaram RF para prever a produtividade de lotes de cana-de-açúcar em uma usina na Tailândia. Coelho et al. (2019) apresentaram ANN para estimar a Pol do caldo de cana-de-açúcar e obtiveram alta precisão ao utilizar °Brix e Wet Cake Weight (WBW). Dias et al. (2019) investigaram o impacto de ajustes ao APSIM-Sugar para estimar a produtividade sob condições específicas de campo no estado do Piauí (Guadalupe), Brasil. Ferracioli et al. (2019) aplicaram ML (RF, BRT e SVR com RReliefF e a avaliação do impacto da SA) para prever a produtividade de quatro áreas de usinas da Odebrecht Agroindustrial no Brasil. Medar & Rajpurohit (2019) utilizaram algoritmos de Long Term Time Series (LTTS), Weather-And-Soil Attributes (WSA), Supervised Machine Learning (SML) e o Normalized Vegetation Index (NDVI), com precisão de 86,31%, para a previsão da produtividade da cana-de-açúcar na região de Karnataka, Índia. Dias et al. (2020) avaliaram as condições de crescimento, desenvolvimento e produtividade de 27 variedades brasileiras de cana-de-açúcar para melhorar a compreensão das interações Genotype × Environment × Management (G×E×M) por meio da aplicação do APSIM-Sugar em São Romão (Minas Gerais) e Guadalupe (Piauí), Brasil. Hammer et al. (2020) classificaram as principais variáveis de produtividade aplicando DM (RF, GBM e SVM) em bancos de dados de várias usinas no estado de São Paulo, Brasil. Oliveira et al. (2020) avaliaram o desempenho de modelos de ML (SVR com radial kernel e RF), bem como DSSAT/CANEGRO, para estimar o ATR usando dados de colheita de três anos fornecidos pela Usina Santa Fé (Nova Europa), São Paulo, Brasil. Shendryk et al. (2020)

utilizaram imagens de satélite e outros dados para estimar (precisão de 91,2%) que o número ideal de dias para a melhor produtividade é de 180. Rahman & Robson (2020) empregaram imagens de satélite e atributos de plantação para estimar a produção e apresentaram uma forte correlação com o Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI).

Mais recentemente, Canata et al. (2021) mapearam a produtividade da cana-de-açúcar usando RF e MLR integrados com imagens orbitais de séries temporais e ML em um sítio comercial localizado em Botucatu, estado de São Paulo, Brasil. Dias et al. (2021) aplicaram técnicas estatísticas (ANOVA e Time Series Regression Models) e APSIM-Sugar para entender como a interação $G \times E \times M$ influencia a produtividade em variedades de cana-de-açúcar elite no Brasil, usando dados da mesma planta estudada por Dias et al. (2020). Luciano et al. (2021) combinaram imagens de satélite, dados agrônômicos e meteorológicos com técnicas de ML e RF para estimar a produtividade e as variáveis mais importantes foram o número de colheitas e o Índice de Normalized Difference Moisture Index (NDMI). Um modelo de estimativa de produtividade mais preciso que incorpora dados meteorológicos, índices de vegetação e práticas agrícolas foi proposto por Pignède et al. (2021). Pravallika et al. (2021) discutiram como estimar o rendimento da produção em várias culturas agrícolas e como as mais precisas podem ser obtidas por modelos de ANN e Deep Neural Network (DNN). Nihar et al. (2022) usaram imagens de satélite como parâmetros para técnicas de ML para estimar o rendimento agrícola regional em Uttar Pradesh, Índia. Canata et al. (2024) integraram dados multiespectrais com RF, ANN e MLR para estimar o nível de ATR (Brix e Pureza) em dois campos de cana-de-açúcar perto de Jaboticabal, estado de São Paulo, Brasil. É demonstrado que o RF é superior para °Brix e o ANN é melhor para a Pureza. A variável de entrada mais importante no desempenho de RF foi Growing Degree Days (GDD). Colmanetti et al. (2024) propuseram o ECOSystem Model Simulator (ECOSMOS), considerando a interação $G \times E \times M$ para estimar o rendimento de plantações de cana-de-açúcar em diferentes ambientes no Brasil. Amaro et al. (2025) usaram imagens Sentinel-2A e outros dados (climáticos, agrônômicos e de déficit hídrico) para propor um modelo baseado em RF utilizado para prever a produtividade da cana-de-açúcar em três usinas no estado de São Paulo, Brasil. Satpathi et al. (2025) aplicaram RF, MLR, SVR, ANN, Extreme Gradient Boosting (XGB), Elastic Net (ELNET), Ridge Regression (Ridge) e Least Absolute Shrinkage Selection Operator (LASSO) em onze grandes distritos produtores de cana-de-açúcar de Uttar Pradesh (Bahraich, Bareilly, Basti, Bijnor, Deoria, Gonda, Gorakhpur, Lakhimpur, Pilibhit, Rampur e Saharanpur).

4. Formulação do Modelo Proposto

4.1. Problema de pesquisa

A empresa em estudo está localizada no centro-sul e apresenta um aumento da área de produção de 47.660ha na safra 2012/2013 para 53.593ha em 2022/2023. A produção total corresponde a 28,65 Mt para uma área de 359.729ha até 2022/2023. A empresa em questão possui dois grupos de lotes: i) Cana Própria (CP) - todo o ciclo de produção é administrado pela empresa, ii) Cana de Terceiros (CT) - ciclo de produção realizado por fornecedores de matéria-prima, exceto a colheita e transformação (açúcar ou etanol).

Lotes da CT corresponderam a uma produção de 12,25 Mt em 148.873ha (40,6%). Além disso, é impossível recuperar o histórico de práticas operacionais e agrônômicas empregadas nos lotes da CT. Esta questão limita a predição dos fatores e interfere no resultado do ATR. A colheita dos lotes ocorre entre os meses de abril e dezembro, seguindo os níveis do ATR. Logo, os roteiros de colheita são precedidos por uma coleta manual de pequenas amostras de cana de cada lote que são levadas ao laboratório para análise do ATR. Todos os parâmetros e amostragem para a determinação do ATR são regulamentados pelo Conselho dos Produtores de Cana de Açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo (CONSECANA-SP). A área produtiva atual para a mensuração do índice de ATR é ilustrada pela Figura 1.

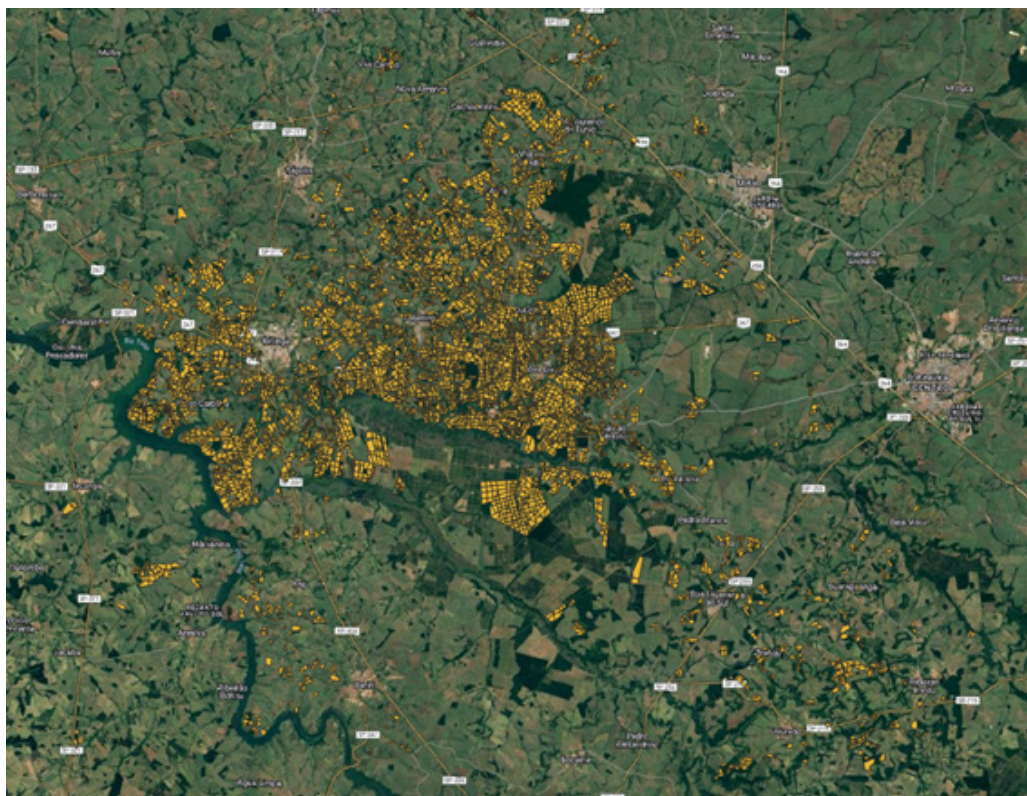


Figura 1 – Área produtiva atual para a mensuração do índice de ATR (Fonte: Empresa)

A Figura 1 expõe uma imagem de satélite cuja cor amarela é a área produtiva para estimar o índice do ATR. As possíveis igualdades ou diferenças entre as médias nos diferentes níveis de cada fator categórico são associadas com a resposta produtividade por lote ou ATR. Este estudo considera vários fatores (covariáveis) que podem estar associados com as respostas de interesse (produtividade e índice ATR): i) Produção e qualidade (produção realizada, pol, pureza, Brix e ATR), ii) Manejo operacional (tipo de

insumo, data de aplicação, quantidade aplicada e modalidade de aplicação), iii) Colheita realizada (data da colheita, duração do ciclo, tipo de colheita realizada, número do corte do lote), iv) Fatores Meteorológicos (precipitação diária, temperaturas máxima, média e mínima, coletados por estação meteorológica da própria empresa), v) Identificação e caracterização dos lotes (código do lote, data de plantio, código da fazenda, variedade plantada, município da fazenda). A base de dados com seus respectivos campos e o que representam é apresentada pela Tabela 1.

Variáveis	Descrição	Base
Operações Após a Colheita (OPC)		B1
OPC_CPD	Controle de Plantas Daninhas (CPD)	
OPC_CPR	Controle de Pragas e Doenças (CPR)	
OPC_AMI	Aplicação de Adubos Minerais (AMI)	
OPC_CSO	Aplicação de Corretivos de Solo (CSO)	
OPC_AVL	Aplicação de Vinhaça Localizada (AVL)	
OPC_ACO	Aplicação de Composto Orgânico (ACO)	
OPC_AVA	Aplicação de Vinhaça por Aspersão (AVA)	
OPC_AAE	Aplicação Aérea de Fertilizantes Foliares (AAE)	
Covariáveis Categóricas Estatísticas (CCE)		B1 e B2
REGIAO	Região onde o lote de cana-de-açúcar foi plantado em CP e CT	
DIAS_CICLO	Dias entre a data de colheita anterior ou plantio e a data da atual colheita	
NRO_CORTE	Número que descreve o estágio atual do lote (quantas vezes já foi colhido)	
TIPO_CICLO	Categoria do talhão (soca, plantada, nunca colhida, colhida anteriormente)	
TIPO_CORTE	Maneira da colheita (manual, mecanizada e com o uso ou não de queimadas)	
COL_ATU_MES	Mês em que ocorreu a colheita no ano atual ou a data do plantio no ano atual	
COL_ANT_MES	Mês em que ocorreu a colheita ou a data do plantio no ano anterior ao respectivo	
Resultado do Balanço Hídrico (RBH)		B1 e B2
BH_Do até BH_D17	Talhão no mesmo decêndio até os 17 decêndios anteriores ao da respectiva colheita	

Tabela 1 – Variáveis associadas a produção de cana-de-açúcar (Fonte: Empresa)

A Tabela 1 mostra que os dados foram separados em duas bases denominadas B1 e B2 e a variável resposta é a previsão do ATR. As variáveis que consideram apenas B1 são referentes às Operações Após a Colheita (OPC). Isso porque B1 contém apenas os registros dos lotes de CP. Em B2, os campos com os dados de manejo foram desprezados porque não é possível determiná-los nos lotes de CT. A base do RBH totaliza 6 meses de dados meteorológicos (BH_Do, BH_D1, BH_D2, BH_D3, BH_D4, BH_D5, BH_D6, BH_D7, BH_D8, BH_D9, BH_D10, BH_D11, BH_D12, BH_D13, BH_D14, BH_D15, BH_D16, BH_D17). Assim, cada campo contém o RBH do talhão no mesmo decêndio (BH_Do) ao decêndio anterior (BH_D1 = D - 1) e sucessivamente até 17 decêndios anteriores ao da respectiva colheita (BH_D17 = D - 17). Todos os dados meteorológicos

foram resumidos com cálculo do RBH por meio do Método de Thornthwaite (Werlang & Werlang, 2021). Algumas variáveis não relevantes foram removidas, enquanto outras foram adicionadas com base na análise da literatura e em relatos do corpo técnico da usina de SP. Após a padronização dos dados, os registros que continham alguma variável com valores nulos foram removidos e também desconsiderados: i) Lotes sem resultados de análise do ATR, ii) Lotes com dias de ciclo fora do período padrão do ciclo de colheita (menor que 180 e maior que 730), iii) Lotes classificados como bisados (não colhidos na safra anterior devido à baixa representatividade de exemplos), iv) Registros nos quais a variável “Aplicado Maturador” é “SIM” (insumos que induzem respostas do índice ATR). Logo, devido à indisponibilidade de informação de operações de manejo empregadas, foram considerados os atributos relevantes em B1 e B2.

4.2.Análise preliminar descritiva

Análise preliminar descritiva demonstra que a média e o desvio-padrão amostral do ATR são dados respectivamente por 132,49 e 18,76 (48.151 talhões). A análise também mostra um valor mínimo (0,100) e um valor máximo (212,0), que indica uma grande variabilidade dos dados (Minitab®). A Figura 2 ilustra o histograma dos dados de cada medida de ATR, enquanto os resultados das covariáveis são apresentados na Tabela 1. Uma análise descritiva preliminar das médias amostrais de ATR em cada nível das covariáveis categóricas regiões, tipo de corte e ciclo de plantio é apresentada nas Tabelas 2 e 3.

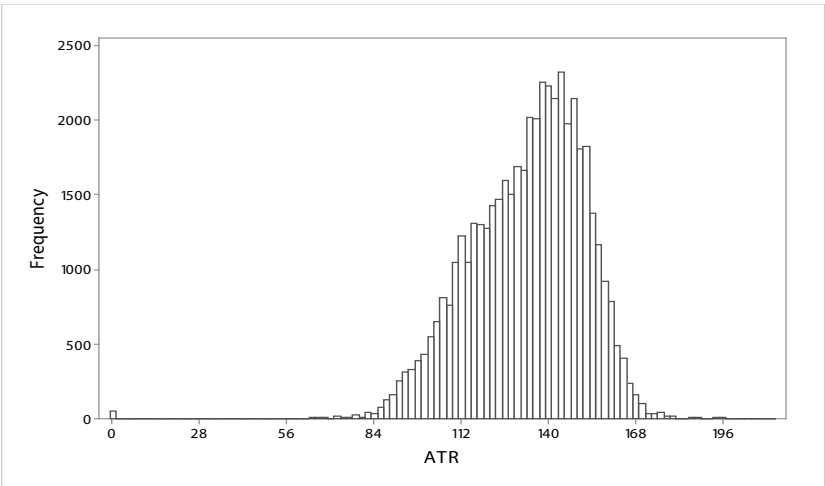


Figura 2 – Histograma das medidas de ATR (Fonte: Elaboração no Minitab®)

Região	N	Média	DP	Mínimo	Mediana	Máximo
AREALVA	169	136,980	10,590	114,000	138,000	168,000
BARIRI	325	142,050	10,970	63,000	144,000	166,000
BOA ESPERANCA DO SUL	2.822	137,140	15,960	0,100	139,000	187,000

Região	N	Média	DP	Mínimo	Mediana	Máximo
BORBOREMA	23	143,350	17,000	99,000	145,000	173,000
DOBRADA	7	149,000	6,860	142,000	146,000	158,000
DOURADO	153	150,230	11,140	125,000	152,000	167,000
GAVIAO PEIXOTO	2.963	133,940	16,860	84,000	136,000	179,000
IACANGA	7	139,710	12,180	122,000	147,000	148,000
IBATE	6	138,330	23,850	92,000	147,000	154,000
IBITINGA	12.908	133,140	17,890	0,100	135,000	201,000
ITAJU	291	138,600	11,620	103,000	138,000	164,000
ITAPOLIS	3.335	131,820	17,720	0,100	135,000	187,000
MATAO	2.883	132,330	17,360	39,000	134,000	177,000
NOVA EUROPA	7.421	127,750	20,370	0,100	130,000	184,000
RIBEIRAO BONITO	357	142,100	12,670	110,000	144,000	174,000
SANTA ERNESTINA	7	155,430	5,910	151,000	152,000	167,000
TABATINGA	13.035	131,560	19,120	0,100	134,000	212,000
TAQUARITINGA	1.071	142,230	12,200	58,000	144,000	166,000
TRABIJU	103	152,000	10,140	117,000	155,000	164,000
Tipo Corte	N	Média	DP	Mínimo	Mediana	Máximo
MANUAL CRUA	138	142,480	13,660	99,000	143,000	177,000
MANUAL QUEIMADA	1	144,000	*	144,000	144,000	144,000
MECANICA CRUA	47.628	132,300	18,350	0,100	135,000	201,000
MECANICA QUEIMADA	384	152,210	21,580	91,000	153,000	212,000
Ciclo Plantio	N	Média	DP	Mínimo	Mediana	Máximo
ANO	5.736	129,990	19,150	0,100	133,000	186,000
ANO E MEIO	30.159	131,520	18,350	0,100	134,000	212,000
INVERNO	12.256	136,050	17,900	0,100	139,000	198,000

Abreviações: N – Número de Observações, DP – Desvio-Padrão Amostral

Tabela 2 – Medidas descritivas para os índices de ATR (Fonte: Elaboração no Minitab®)

A Tabela 2 mostra que as maiores médias de ATR são observadas nas regiões de DOBRADA, DOURADO, SANTA ERNESTINA e TRABIJU. Em relação à covariável tipo de corte, a maior média de ATR é para a MECÂNICA QUEIMADA. Para a covariável CICLO_PLANTIO, é observado que o INVERNO apresenta maior média de ATR. Há também, entre as várias regiões de plantio, uma considerável variação no desvio-padrão de ATR. A Figura 3 demonstra os diagramas de dispersão para as médias de ATR considerando as covariáveis NRO_CORTE, COL_ATU_MES e COL_ANT_MES.

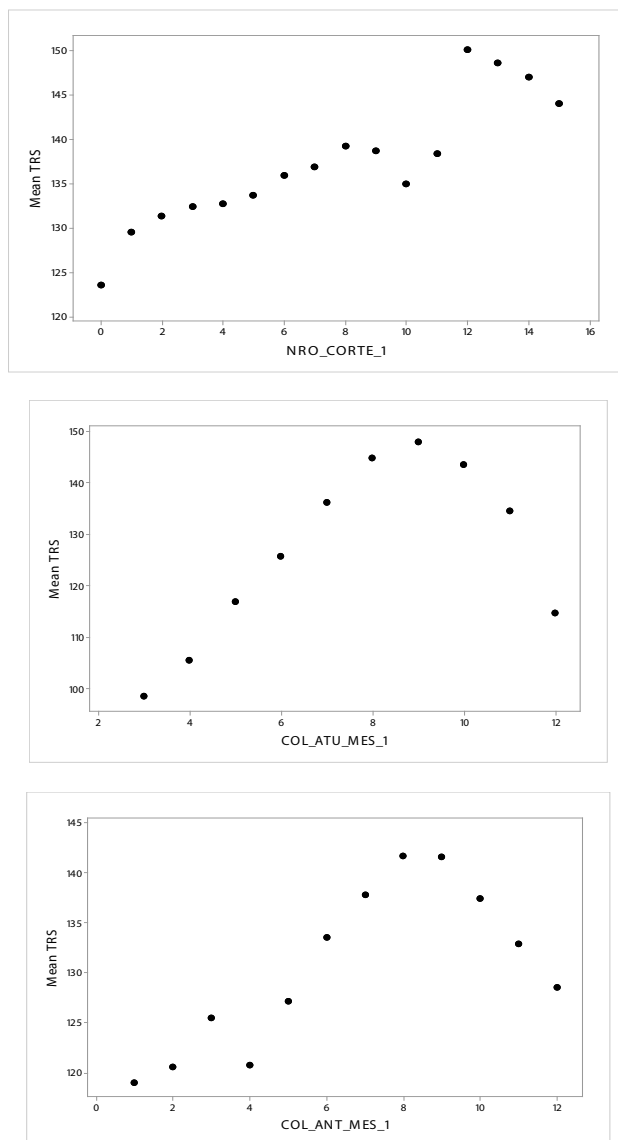


Figura 3 – Diagramas de dispersão para as médias de ATR (Fonte: Elaboração no Minitab®)

A maior média de ATR é encontrada em NRO = 12 considerando a covariável NRO_CORTE (número que descreve o estágio atual do lote, quantas vezes ele já foi colhido), em relação à covariável COL_ATU_MES (mês em que ocorreu a colheita no respectivo ano) a maior média de ATR é observada em 9 meses e em relação à covariável COL_ANT_MES 1 (mês em que ocorreu a colheita, ou data do plantio, no ano anterior ao respectivo) tem-se a maior média de ATR entre os meses 8 e 9. A Tabela 3 exibe as

medidas descritivas (médias amostrais, desvios-padrões amostrais, mediana amostral) para os índices de ATR nas covariáveis categóricas de OPC introduzidas na Tabela 1.

Covariáveis	Respostas	N	Média	StDev	Mínimo	Mediana	Máximo
OPC_CPD	0 (Não)	24.106	135,230	16,680	0,100	137,000	187,000
	1 (Sim)	24.045	129,740	19,710	0,100	132,000	212,000
OPC_AMI	0 (Não)	30.926	134,190	17,760	0,100	137,000	198,000
	1 (Sim)	17.225	129,430	19,290	0,100	131,000	212,000
OPC_ACO	0 (Não)	45.211	133,060	17,960	0,100	135,000	212,000
	1 (Sim)	2.940	123,750	23,270	0,100	128,000	198,000
OPC_AVL	0 (Não)	41.695	132,640	18,020	0,100	135,000	212,000
	1 (Sim)	6.456	131,480	21,060	0,100	136,000	198,000
OPC_AVA	0 (Não)	46.795	132,820	18,410	0,100	135,000	212,000
	1 (Sim)	1.356	120,910	16,140	0,100	122,000	157,000
OPC_CSO	0 (Não)	44.859	132,810	18,260	0,100	135,000	212,000
	1 (Sim)	3.292	128,140	20,490	0,100	130,000	212,000
OPC_CPR	0 (Não)	35.355	133,750	17,610	0,100	136,000	206,000
	1 (Sim)	12.796	129,000	20,220	0,100	132,000	212,000
OPC_AAE	0 (Não)	45.517	132,430	18,430	0,100	135,000	212,000
	1 (Sim)	2.634	133,410	18,910	0,100	136,000	195,000

Abreviações: N – Número de Observações

Tabela 3 – Medidas descritivas para os índices de ATR (Fonte: Elaboração no Minitab®)

Note que as maiores médias de ATR estão na resposta “(Não)” ou ausência de OPC, considerando as covariáveis OPC_CPD, OPC_AMI, OPC_ACO, OPC_AVL, OPC_AVA, OPC_CSO, OPC_CPR. Para a covariável OPC_AAE, a maior média de ATR é observada na resposta “1 (Sim)” ou presença de OPC. A Figura 4 ilustra os diagramas de dispersão para as médias de ATR considerando as covariáveis BH_Do até BH_D17. Na sequência, a Figura 5 exibe o diagrama de dispersão para as medidas de ATR considerando a covariável DIAS CICLO.

A Figura 4 mostra os diagramas de dispersão para as médias de ATR considerando as covariáveis BH_Do, BH_D1, BH_D2, BH_D3, BH_D4, BH_D5, BH_D6, BH_D7, BH_D8, BH_D9, BH_D10, BH_D11, BH_D12, BH_D13, BH_D14, BH_D15, BH_D16, BH_D17. Todos os gráficos mostram um decaimento da média de ATR com o aumento do nível de cada covariável (resultado do balanço hídrico do talhão no mesmo decêndio (BH_Do = D - 0), ao decêndio anterior (BH_D1 = D - 1) e sucessivamente até 17 decêndios anteriores ao da respectiva colheita). A Figura 5 mostra o diagrama de dispersão para as medidas de ATR considerando a covariável DIAS CICLO (quantidade de dias entre a data de colheita anterior, ou do plantio, e a data de colheita do respectivo ano). É possível observar que essa covariável aparentemente não afeta o índice de ATR nas plantas de cana-de-açúcar. Logo, a análise descritiva permitiu uma visão preliminar

dos efeitos de diferentes covariáveis na resposta de interesse ATR. A previsão de ATR baseada na informação de todas as covariáveis será realizada usando as ANN.

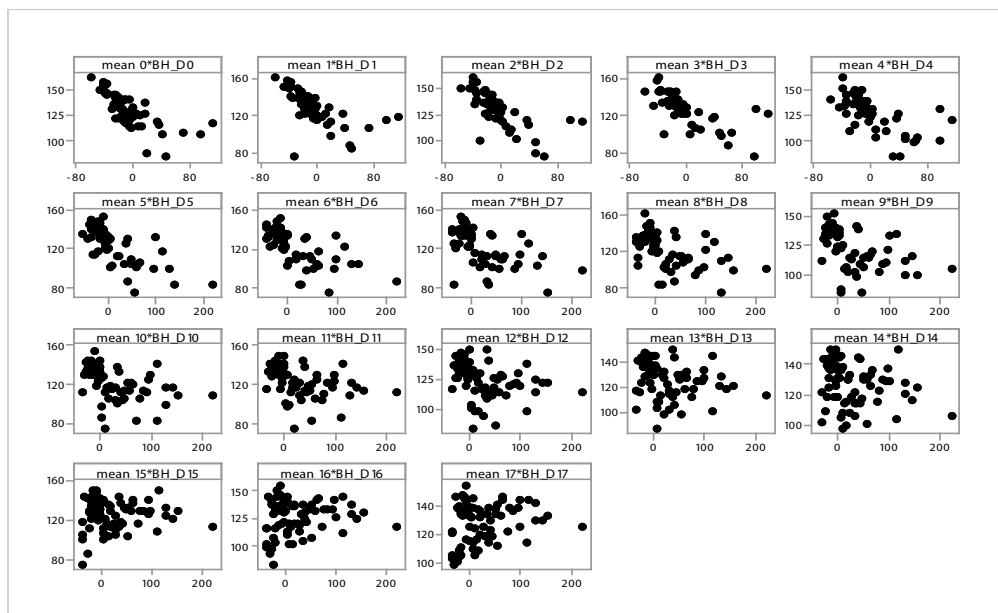


Figura 4 – Diagramas de dispersão para as médias de ATR (BH_Do até BH_D17) (Fonte: Elaboração no Minitab®)

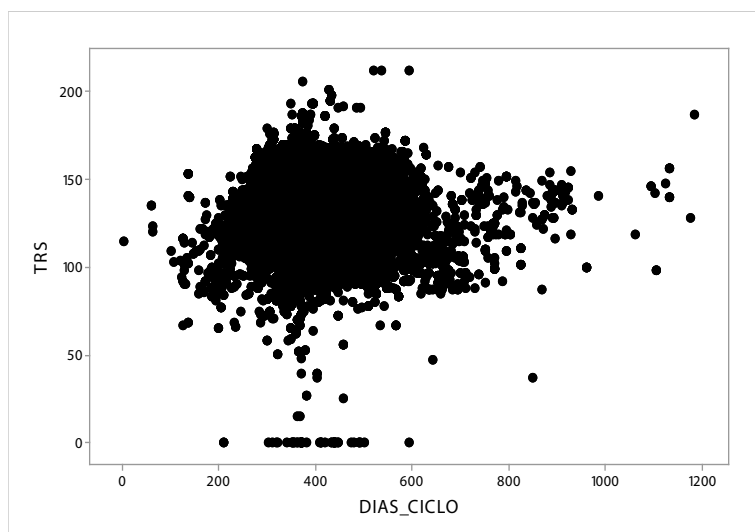


Figura 5 – Diagrama de dispersão para as medidas de ATR (DIAS CICLO) (Fonte: Elaboração no Minitab®)

4.3.Artificial Neural Networks

Em termos técnicos, as ANN são modelos computacionais que processam informações inspiradas no funcionamento do cérebro ou em sinais baseados em neurônios biológicos (Grus, 2016; Katal & Singh, 2022). As ANN são compostas por neurônios artificiais conectados uns aos outros em uma estrutura de camadas (Grus, 2016; Razavi, 2021). Assim, cada neurônio processa informações recebidas de outros neurônios e gera uma nova informação que é enviada para outros neurônios (Grus, 2016). As ANN geralmente possuem três camadas (Joshi & Vyawahare, 2023): i) camada de entrada; ii) camada oculta; iii) camada de saída. Em cada camada, pode haver apenas uma dúzia ou milhões de unidades, ou nós, a depender dos dados e/ou da complexidade do sistema (Joshi & Vyawahare, 2023). A adição de camadas ocorre se as análises e processamentos deparam-se com aumentos nos volumes dos dados e/ou na complexidade da função e são chamadas de redes neurais profundas (Katal & Singh, 2022; Joshi & Vyawahare, 2023). As ANN são amplamente utilizadas para reconhecimento de padrões, predição, controle, otimização, classificação e memória associativa (Grus, 2016; Katal & Singh, 2022; Maier et al., 2023). Todo o aprendizado de uma ANN ocorre mediante a um processo no qual são apresentados um conjunto de dados de entrada e saída cujo objetivo é a calibração do modelo de ANN (Katal & Singh, 2022). É nestes treinamentos que as ANN aprendem a realizar associações para identificar um conjunto de parâmetros que melhor correlacionam à entrada/saída desejada (Grus, 2016; Joshi & Vyawahare, 2023). As topologias das redes utilizadas neste estudo estão descritas na Tabela 4. Na sequência, as configurações de treinamento de cada topologia da rede estão apresentadas pela Tabela 5.

Topologia de Rede	Camadas Escondidas	Neurônios por Camada
Versão 1	5	128 - 64 - 32 - 64 - 32
Versão 2	5	128 - 64 - 32 - 16 - 8

Tabela 4 – Topologias de rede utilizadas nas simulações das ANN
(Fonte: Elaboração no Python®)

As Tabelas 4 e 5 mostram que as versões de configuração das redes foram aplicadas em ambas as bases de dados (B1 e B2). A etapa subsequente consistiu em incorporar o conhecimento heurístico pertinente à modelagem do problema e realizar o pré-processamento de dados das ANN. Portanto, a fim de obter resultados satisfatórios, foram iniciadas as simulações com o objetivo de treinar e executar a ANN. Estas simulações foram realizadas utilizando a rede do modelo Feed-Forward com retropropagação do erro (Grus, 2016). Todos os dados de cada base foram separados em dois conjuntos para a realização das simulações das ANN. As simulações então utilizaram dados de treinamento (70% dos registros) e um conjunto independente de teste (30% dos registros restantes) para validar o aprendizado das ANN.

Número Teste	Função de Ativação	Topologia de Rede	Base de Dados	Épocas de Aprendizizado	Tamanho do Lote de Amostras		
1	Tangente Hiperbólica	Versão 1	B1	100	16		
2					32		
3					64		
4					16		
5				200	32		
6					64		
7					16		
8				100	32		
9					64		
10					16		
11				200	32		
12					64		
13			B2	100	16		
14					32		
15					64		
16					16		
17				200	32		
18					64		
19				Versão 2		100	16
20							32
21							64
22			B2	200	16		
23					32		
24					64		

Tabela 5 – Configurações de aprendizado das ANN (Fonte: Elaboração no Python®)

5. Experimentações e Análise dos Resultados

As experimentações computacionais avaliaram a viabilidade da aplicação das ANN para a predição do índice de ATR. Estas experimentações foram realizadas para os dados da Tabela 2, enquanto os resultados dos treinamentos estão dispostos na Tabela 6. A divisão dos dados para os treinamentos e as experimentações foi realizada de maneira aleatória pelas próprias ANN. Logo, incluído o período de treinamento, o tempo total de processamento e testes foi de pouco mais de 2 horas. Após serem treinadas, as ANN levam poucos segundos para gerar o valor previsto para as amostras. A métrica MAPE foi utilizada para análise da qualidade dos resultados e a avaliação da eficácia das ANN. A avaliação final foi consubstanciada pelo conjunto dos resultados médios obtidos nos vários experimentos das ANN.

Testes	Tempo (min)	R ²	MAPE
1	6,62	85,03%	3,14%
2	3,41	84,91%	3,22%
3	2,41	83,93%	3,43%
4	14,40	86,58%	2,81%
5	7,64	86,70%	2,79%
6	4,41	85,61%	3,04%
7	4,39	86,43%	2,93%
8	2,02	86,77%	2,94%
9	1,39	80,61%	4,38%
10	7,76	88,26%	2,50%
11	4,39	88,34%	2,51%
12	2,72	87,75%	2,72%
13	6,41	84,73%	3,18%
14	3,21	84,66%	3,33%
15	2,40	81,66%	3,96%
16	13,10	85,86%	3,01%
17	7,41	85,82%	3,06%
18	4,40	85,53%	3,10%
19	3,64	87,05%	2,86%
20	2,39	83,14%	3,74%
21	1,06	-0,04%	12,06%
22	8,39	87,95%	2,71%
23	4,39	86,52%	2,88%
24	2,32	84,62%	3,41%

Tabela 6 – Resultados dos testes do treinamento das ANN (Fonte: Elaboração no Python®)

A Tabela 6 mostra os resultados dos testes de treinamento das ANN e a porcentagem absoluta de erro em relação aos valores reais pela métrica MAPE. Exemplo pertinente como referência das análises é o teste 10. A análise do “Teste 10” evidencia que o modelo apresenta previsões cuja média de diferença entre o valor previsto e o real equivale a 2,50%. Portanto, a variação percentual das previsões, tanto para cima quanto para baixo do valor real, é de 2,50%. Ao considerar todos os resultados, a média foi 3,49% e a mediana 3,05%. A iteração com o melhor resultado foi a obtida pelo “Teste 10” (erro de 2,50%), enquanto a proporcionada pelo “Teste 21” (erro de 12,06%). Para avaliar o ajuste do modelo proposto, a Figura 6 mostra a comparação dos valores reais com os valores médios previstos nas simulações aplicadas na base B1 e na B2. A seguir, uma comparação dos valores reais com os valores previstos nos resultados das pré-análises é ilustrada pela Figura 7.

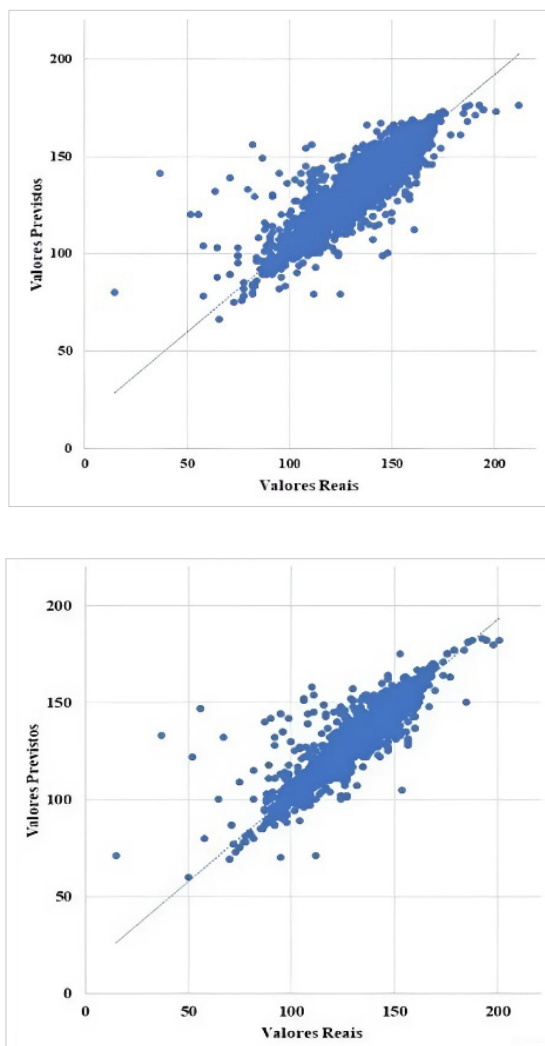


Figura 6 – Comparação dos valores reais com os valores médios das simulações (B1 e B2)
(Fonte: Elaboração no Python®)

As análises das Figuras 6 e 7 demonstram o desempenho satisfatório obtido pelas ANN para lidar com a complexidade da relação entre as variáveis que interferem no índice de ATR. As análises dos resultados e o debate junto ao grupo técnico da empresa em estudo mostraram que o uso das ANN é recomendado para a predição do ATR. As pré-análises do ATR também indicam uma discrepância em relação aos valores reais no momento da colheita se comparados com os resultados das ANN. Além disso, este é um processo muito dispendioso e a capacidade do laboratório da empresa é limitada a uma quantidade de apenas 30 amostras/dia. Tais amostras são também consideradas insuficientes em

termos de representatividade do ATR. Logo, as validações também ocorreram mediante comparações entre as análises laboratoriais e os resultados das ANN. A ocorrência do erro médio das pré-análises (12,17%) foi superior ao maior erro (12,06%) dos testes das ANN. As experimentações evidenciaram um erro médio absoluto (3,49%) muito inferior ao atual método utilizado (12,17%). Esses resultados indicam que o modelo pode servir de apoio às tomadas de decisões operacionais na referida usina do interior de São Paulo.

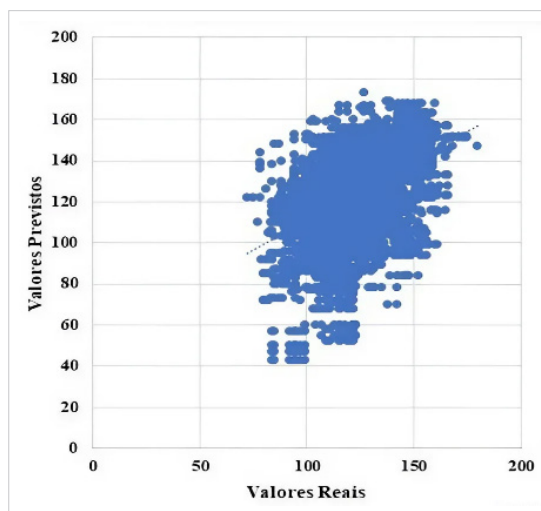


Figura 7 – Comparação dos valores reais com os valores dos resultados das pré-análises
(Fonte: Elaboração no Python®)

6. Considerações Finais

Este artigo apresentou um estudo de caso cujo objetivo foi formular um modelo computacional capaz de estimar o índice de ATR na produção de cana-de-açúcar em uma usina sucroalcooleira no interior do estado de São Paulo. Todo o escopo deste estudo centrou-se na adaptação às exigências do mundo real para propor um modelo ágil capaz de minimizar o tempo e os custos envolvidos no processo de mensuração do índice ATR. Esse modelo foi aplicado a um grande banco de dados reais contendo fatores meteorológicos e de produção referente a 48.151 talhões das safras de 2016/2017 a 2022/2023. A formulação do modelo é baseada nas ANN e utiliza a linguagem de programação Python® junto com a rede Feed-Forward. Também foram realizadas análises preliminares (estatísticas descritivas) para a padronização dos dados e a seleção de atributos relevantes via software Minitab®. Esses dados foram tratados por meio de ajustes de hiperparâmetros seguidos da modelagem matemática das ANN. As experimentações foram realizadas e a eficácia das ANN avaliada por meio da métrica MAPE. As análises apresentaram um erro médio absoluto (3,49%) muito inferior ao método atual utilizado (12,17%). Além disso, as curvas de maturação dos diversos lotes de cana-de-açúcar puderam ser geradas pela ANN. Este estudo é muito relevante para o setor do agronegócio e tem como principal contribuição fornecer um modelo de baixo

custo que estima com acurácia muito satisfatória o índice de ATR. Este modelo pode ser utilizado como suporte para a tomada de decisões mais fundamentadas sobre o momento ideal da colheita ou PIU. A limitação do modelo está no fato de os hiperparâmetros de configuração de aprendizado da rede demandarem grande intervenção manual (sujeito a vieses). Sugestões para futuras pesquisas são: i) Aplicar as ANN às variáveis dinâmicas do ATR; ii) Formular modelos para programar e otimizar o roteiro de colheita; iii) Realizar intensivas experimentações computacionais por meio de estudos comparativos entre outros modelos e as ANN; iv) Formular um modelo estimado de previsão para obter uma equação estimada para fazer previsões; v) Aplicar modelos de ANOVA para verificar a igualdade ou não das médias de ATR nos diferentes níveis de cada covariável categórica (regiões, tipo de corte, ciclo de plantio etc.); vi) Aplicar MLR para verificar conjuntamente os efeitos de todas as covariáveis (categóricas e contínuas) nas respostas de ATR.

Financiamento

Esta pesquisa foi apoiada financeiramente pelos Projetos nº 312585/2021-7 e nº 404819/2023-0 do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e nº 2700441 da Fundação Nacional de Desenvolvimento do Ensino Superior Particular – FUNADESP.

Referências

- Ali, A., Altaf, M. T., Bedir, M., Liaqat, W., Jamil, A., Nadeem, M. A., & Baloch, F. S. (2024). Biotechnological Advancements Toward Sugarcane Crop Improvement. *In Industrial Crop Plants* (pp. 333-352). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1003-4_13
- Amaro, R. P., Christina, M., Todoroff, P., Le Maire, G., Fiorio, P. R., De Carvalho Pereira, E., & Luciano, A. C. D. S. (2025). Regional model to predict sugarcane yield using sentinel-2 imagery in São Paulo State, Brazil. *Sugar Tech*, 27(1), 108-118. <https://doi.org/10.1007/s12355-024-01468-z>.
- Bocca, F. F., & Rodrigues, L. H. A. (2016). The effect of tuning, feature engineering, and feature selection in data mining applied to rainfed sugarcane yield modelling. *Computers and Electronics in Agriculture*, 128, 67-76. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.08.015>.
- Box, G. E., & Cox, D. R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 26(2), 211-252. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1964.tb00553.x>
- Canata, T. F., Júnior, M. R. B., de Oliveira, R. P., Furlani, C. E. A., & da Silva, R. P. (2024). AI-Driven Prediction of Sugarcane Quality Attributes Using Satellite Imagery. *Sugar Tech*, 26(3), 741-751. <https://doi.org/10.1007/s12355-024-01399-9>
- Canata, T. F., Wei, M. C. F., Maldaner, L. F., & Molin, J. P. (2021). Sugarcane yield mapping using high-resolution imagery data and machine learning technique. *Remote Sensing*, 13(2), 232. <https://doi.org/10.3390/rs13020232>

- Cardoso, L. A. S., de Mesquita, B. D. N. R., & Farias, P. R. S. (2025). Use of machine learning algorithms in the context of sugarcane in Brazil: a review. *Iran Journal of Computer Science*, 1-30. <https://doi.org/10.1007/s42044-025-00250-y>
- Charoen-Ung, P., & Mittrapiyanuruk, P. (2018). Sugarcane yield grade prediction using random forest and gradient boosting tree techniques. In *15th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering* (pp. 1-5). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/JCSSE.2018.8457391>
- Charoen-Ung, P., & Mittrapiyanuruk, P. (2019). Sugarcane yield grade prediction using random forest with forward feature selection and hyper-parameter tuning. In *14th International Conference on Computing and Information Technology* (pp. 1-5). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93692-5_4
- Coelho, A. P., Bettiol, J. V. T., Dalri, A. B., Fischer Filho, J. A., Faria, R. T., & Palaretti, L. F. (2019). Application of artificial neural networks in the prediction of sugarcane juice Pol. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(1), 9-15. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n1p9-15>
- Colmanetti, M. A. A., Cuadra, S. V., Lamparelli, R. A. C., Cabral, O. M. R., de Castro Victoria, D., de Almeida Monteiro, J. E. B., de Freitas, H. C., Galdos, M. V., Marafon, A. C., de Andrade Junior, A. S., dos Anjos e Silva, S. D., Buffon, V. B., Hernandez, T. A. D., & le Maire, G. (2024). Modeling sugarcane development and growth within ECOSMOS biophysical model. *European Journal of Agronomy*, 154, 127061. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.127061>
- Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB. (2024). Boletim - Cana-de-açúcar - 1º levantamento - 2024/25. Tabela de dados - Produção de cana-de-açúcar e subprodutos, 12(1). <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>
- Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil, CNA. (2022). Sumário Executivo I OCDE - FAO Perspectivas Agrícolas 2023-2032. Brasília. <https://www.cnabrazil.org.br/publicacoes/sumario-executivo-i-ocde-fao-perspectivas-agricolas-2023-2032>
- Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo, CONSECANA-SP. (2023). Regulamento do CONSECANA. São Paulo. <https://www.consecana.com.br/regulamento.asp>
- Denham, T. (2024). Forgetting cane grasses: Switching temporal focus to reveal mosaics of Saccharum diversity. *Plants, People, Planet*, 1–13. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10489>
- De Oliveira, M. P. G., Bocca, F. F., & Rodrigues, L. H. A. (2017). From spreadsheets to sugar content modeling: A data mining approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 132, 14-20. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.11.012>
- De Oliveira, M. P. G., & Rodrigues, L. H. A. (2020). How good are the models available for estimating sugar content in sugarcane?. *European Journal of Agronomy*, 113, 125992. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125992>

- Dias, H. B., & Sentelhas, P. C. (2017). Evaluation of three sugarcane simulation models and their ensemble for yield estimation in commercially managed fields. *Field Crops Research*, 213, 174-185. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.07.022>
- Dias, H. B., & Inman-Bamber, G. (2020). Sugarcane: Contribution of process-based models for understanding and mitigating impacts of climate variability and change on production. *Systems Modeling*, 217-260. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4728-7_8
- Dias, H. B., Inman-Bamber, G., Bermejo, R., Sentelhas, P. C., & Christodoulou, D. (2019). New APSIM-Sugar features and parameters required to account for high sugarcane yields in tropical environments. *Field Crops Research*, 235, 38-53. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.02.002>
- Dias, H. B., Inman-Bamber, G., Everingham, Y., Sentelhas, P. C., Bermejo, R., & Christodoulou, D. (2020). Traits for canopy development and light interception by twenty-seven Brazilian sugarcane varieties. *Field Crops Research*, 249, 107716. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107716>
- Dias, H. B., Inman-Bamber, G., Sentelhas, P. C., Everingham, Y., Bermejo, R., & Christodoulou, D. (2021). High-yielding sugarcane in tropical Brazil—Integrating field experimentation and modelling approach for assessing variety performances. *Field Crops Research*, 274, 108323. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108323>
- Dias Neto, A. F., Albiero, D., Rossetto, R., & Biagi, J. D. (2022). Modeling of mechanized sugarcane harvesting to support decision-making on asset management. *Sugar Tech*, 24(3), 798-812. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01126-2>
- Everingham, Y., Sexton, J., Skocaj, D., & Inman-Bamber, G. (2016). Accurate prediction of sugarcane yield using a random forest algorithm. *Agronomy for Sustainable Development*, 36, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0364-z>
- Everingham, Y. L., Smyth, C. W., & Inman-Bamber, N. G. (2009). Ensemble data mining approaches to forecast regional sugarcane crop production. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(3-4), 689-696. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.10.018>
- Ferraciolli, M. A., Bocca, F. F., & Rodrigues, L. H. A. (2019). Neglecting spatial autocorrelation causes underestimation of the error of sugarcane yield models. *Computers and Electronics in Agriculture*, 161, 233-240. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.003>
- Florentino, H. D. O., Irawan, C., Aliano, A. F., Jones, D. F., Cantane, D. R., & Nervis, J. J. (2018). A multiple objective methodology for sugarcane harvest management with varying maturation periods. *Annals of Operations Research*, 267, 153-177. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2568-2>
- Grus, J. (2016). *Data Science do Zero: Primeiras Regras com o Python*. (pp. 213-224). Alta Books

- Hammer, R. G., Sentelhas, P. C., & Mariano, J. C. (2020). Sugarcane yield prediction through data mining and crop simulation models. *Sugar Tech*, 22(2), 216-225. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00776-z>.
- Joshi, M., Bhosale, S., & Vyawahare, V. A. (2023). A survey of fractional calculus applications in artificial neural networks. *Artificial Intelligence Review*, 56, 13897–13950. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10474-8>
- Katal, A., & Singh, N. (2022). Artificial Neural Network: Models, Applications, and Challenges. In: Tomar, R., Hina, M.D., Zitouni, R., Ramdane-Cherif, A. (eds) *Innovative Trends in Computational Intelligence*. (pp. 235-257). EAI/ Springer Innovations in Communication and Computing. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78284-9_11
- Kathirvel, N., & Venkatachalam, I. (2024). A Detailed Review for Predicting the Quantity of Sugar from Sugarcane using Various Models. In *IEEE Access*, 2025(13), 32122-32146. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3522495>
- Lim, W. M., Kumar, S., & Ali, F. (2022). Advancing knowledge through literature reviews: ‘What’, ‘why’, and ‘how to contribute’. *The Service Industries Journal*, 42(7-8), 481–513. <https://doi.org/10.1080/02642069.2022.2047941>
- Luciano, A. C. S., Picoli, M. C. A., Duft, D. G., Rocha, J. V., Leal, M. R. L., & Maire, G. (2021). Empirical model for forecasting sugarcane yield on a local scale in Brazil using Landsat imagery and random forest algorithm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106063>
- Madeiro, S. S., da Silva Oliveira, F. R., Alexandre, F. B. A., & de Lima Neto, F. B. (2006). Intelligent modeling of sugar-cane maturation. In *Computers in Agriculture and Natural Resources* (p. 642). American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://doi.org/10.13031/2013.21950>
- Matović, N., & Ovesni, K. (2023). Interaction of quantitative and qualitative methodology in mixed methods research: integration and/or combination. *International Journal of Social Research Methodology*, 26(1), 51-65. <https://doi.org/10.1080/13645579.2021.1964857>.
- Medar, R., & Rajpurohit, V. S. (2019). Supervised machine learning techniques for predicting sugarcane yield. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2), 5662-5668. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B2612.078219>
- Monteiro, L. A., & Sentelhas, P. C. (2014). Potential and actual sugarcane yields in Southern Brazil as a function of climate conditions and crop management. *Sugar Tech*, 16, 264-276. <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0275-0>.
- Monteiro, L. A., & Sentelhas, P. C. (2017). Sugarcane yield gap: can it be determined at national level with a simple agrometeorological model?. *Crop and Pasture Science*, 68(3), 272-284. <https://doi.org/10.1071/CP16334>.
- Nihar, A., Patel, N. R., & Danodia, A. (2022). Machine-learning-based regional yield forecasting for sugarcane crop in Uttar Pradesh, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50(8), 1519-1530. <https://doi.org/10.1007/s12524-022-01549-0>

- Pignède, E., Roudier, P., Diedhiou, A., N'Guessan Bi, V. H., Kobea, A. T., Konaté, D., & Péné, C. B. (2021). Sugarcane yield forecast in Ivory Coast (West Africa) based on weather and vegetation index data. *Atmosphere*, 12(11), 1-22. <https://doi.org/10.3390/atmos12111459>
- Pravallika, K., Karuna, G., Anuradha, K., & Srilakshmi, V. (2021). Deep neural network model for proficient crop yield prediction. In *International Conference on Design and Manufacturing Aspects for Sustainable Energy* (3rd ed.). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130901031>
- Phuphaphud, A., Saengprachatanarug, K., Posom, J., Maraphum, K., & Taira, E. (2019). Prediction of the fibre content of sugarcane stalk by direct scanning using visible-shortwave near infrared spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*, 101, 71-80. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2019.02.005>
- Rahman, M. M., & Robson, A. (2020). Integrating landsat-8 and sentinel-2 time series data for yield prediction of sugarcane crops at the block level. *Remote Sensing*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/RS12081313>
- Satpathi, A., Chand, N., Setiya, P., Ranjan, R., Nain, A. S., Vishwakarma, D. K., Saleem, K., Obaidullah, A. J., Yadav, K., K., & Kisi, O. (2025). Evaluating statistical and machine learning techniques for sugarcane yield forecasting in the tarai region of North India. *Computers and Electronics in Agriculture*, 229, 109667. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109667>
- Silva, M. D. A., Santos, H. L., Germino, G. H., & Véliz, J. G. E. (2023). Effect of ripeners on the nutrient concentrations of sugarcane leaves. *Journal of Plant Nutrition*, 46(15), 3737-3758. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2211609>
- Shanthi, R. M., Alarmelu, S., Mahadeva Swamy, H. K., & Lakshmi Pathy, T. (2023). Impact of climate change on sucrose synthesis in sugarcane varieties. In *Agro-industrial perspectives on sugarcane production under environmental stress* (pp. 13-38). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3955-6_2
- Shendryk, Y., Pan, L., Craigie, M., Stasolla, M., Ticehurst, C., & Thorburn, P. (2020). A satellite-based methodology for harvest date detection and yield prediction in sugarcane. In *International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Virtual, Waikoloa). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/IGARSS39084.2020.9323418>
- Souza, C. C. de, Carneiro Jr., J. B. A., Cristaldo, M. F., Castelhão, R. A., Frainer, D. M., & Viganó, H. H. da G. (2022). Forecast of the production of sugarcane and its derivatives, through ARIMA, in the period from 2020 to 2025 in the Centro-South macroregion of Brazil. *Research, Society and Development*, 11(4), 1,19. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27048>
- Werlang, M. K., & Werlang, E. P. (2021). Water balance and Thornthwaite climatic classification of the camobi neighbourhood, Santa Maria, RS, Brazil. *Revista Geografia Ensino & Pesquisa*, 25(7), 2-26. <https://doi.org/10.5902/2236499440437>

Critérios Editoriais

A RISTI (Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação) é um periódico científico, que foca a investigação e a aplicação prática inovadora no domínio dos sistemas e tecnologias de informação.

O Conselho Editorial da RISTI incentiva potenciais autores a submeterem artigos originais e inovadores para avaliação pelo Conselho Científico.

A submissão de artigos para publicação na RISTI deve realizar-se de acordo com as chamadas de artigos e as instruções e normas disponibilizadas no sítio Web da revista (<http://www.risti.xyz/>).

Todos os artigos submetidos são avaliados por um conjunto de membros do Conselho Científico, não inferior a três elementos.

Em cada número da revista são publicados entre cinco a oito dos melhores artigos submetidos.

Criterios Editoriales

La RISTI (Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información) es un periódico científico, centrado en la investigación y en la aplicación práctica innovadora en el dominio de los sistemas y tecnologías de la información.

El Consejo Editorial de la RISTI incentiva autores potenciales a enviar sus artículos originales e innovadores para evaluación por el Consejo Científico.

El envío de artículos para publicación en la RISTI debe hacerse de conformidad con las llamadas de los artículos y las instrucciones y normas establecidas en el sitio Web de la revista (<http://www.risti.xyz/>).

Todos los trabajos enviados son evaluados por un número de miembros del Consejo Científico de no menos de tres elementos.

En cada número de la revista se publican cinco a ocho de los mejores artículos enviados.



Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información

©RISTI 2025 <http://www.risti.xyz>

