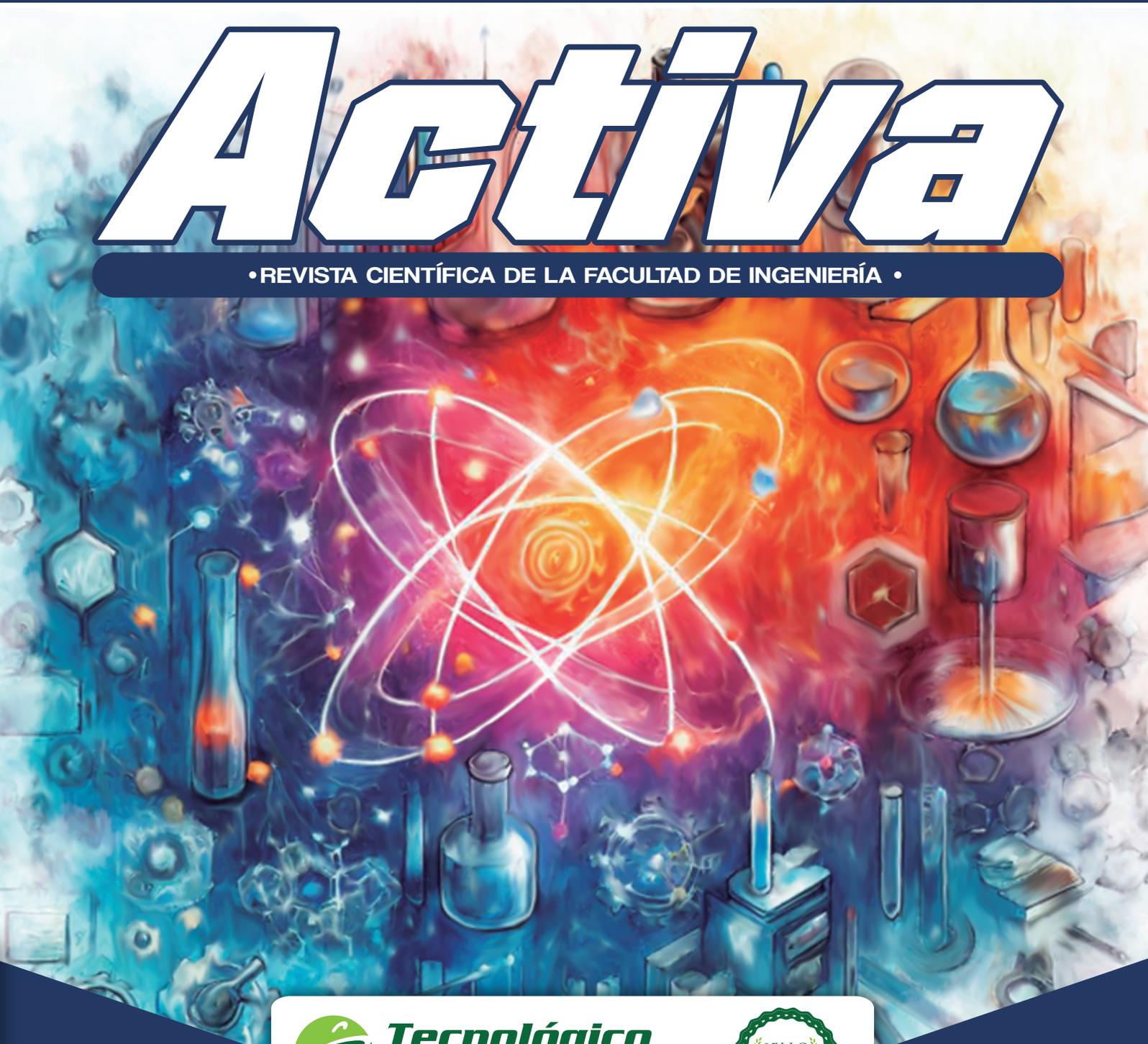


Cuaderno

Enero - Diciembre 2023

Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •



Tecnológico
de Antioquia
Institución Universitaria
VIGILADA MINEDUCACIÓN



Cuaderno

Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •



Tecnológico
de Antioquia
Institución Universitaria
VIGILADA MINEDUCACIÓN

Cuaderno

Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

ISSN: 2027-8101

e-ISSN: 2619-5232

Número 15, Enero-Diciembre de 2023

Periodicidad Anual

Leonardo García Botero

Rector

Andrea Aguilar Barreto

Vicerrectora Académica

Fabio Alberto Vargas Agudelo

Director de Investigación

Andrés Felipe Montoya Rendón

Decano Facultad de Ingeniería

DIRECCIÓN EDITORIAL

Darío Enrique Soto Durán

Editor Director

Harry Puerta

Coeditor

COMITÉ EDITORIAL

Adela Tatiana Rodríguez Chaparro, Ph.D. en Ingeniería Hidráulica y Saneamiento. Universidad Militar Nueva Granada, Colombia.

Alicia Martínez Rebolgar, Ph.D. en Informática, Ph.D. en Investigación en Informática y Telecomunicaciones. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), México.

Antonio Silva Sprock, Ph.D. en Management Science. Universidad Central de Venezuela, Venezuela.

Carlos Mario Zapata Jaramillo, Ph.D. en Ingeniería de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Diana María Montoya Quintero, Ph.D. en Ingeniería de Sistemas e Informática. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Diego Mauricio Murillo Gómez, Ph.D. en Sonido y Vibraciones. Universidad de San Buenaventura, Colombia.

Fredy Edimer Hoyos Velasco, Ph.D. en Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Gerard Olivar Tost, Ph.D. en Matemática Aplicada. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Gonzalo Llano Ramírez, Ph.D. en Telecomunicaciones. Universidad ICESI, Colombia.

Jorge Alberto Villalobos Salcedo, Ph.D. en Informática. Universidad de los Andes, Colombia.

María Cristina Peñuela Mora, M.Sc. Forest Resources Management. State University of New York, United States.

Paola Andrea Noreña Cardona, Ph.D. en Ingeniería de Sistemas e Informática. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Paola Verónica Britos, Ph.D. en Ciencias Informáticas. Universidad de Río Negro, Argentina.

COMITÉ CIENTÍFICO/ARBITRAL

Adriana Xiomara Reyes Gamboa, Ph. D.
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia
Bernardo Antonio Monsalve Lozano, M.Sc.
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia
Carlos Pinilla Buitrago, M.Sc.
Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, Colombia
Claudia Elena Durango Vanegas, Ph. D.
Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia
Claudia Patricia Muñoz, Especialista
Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Colombia
Dewar Willmer Rico, Ph. D.
Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia
Diana María Montoya Quintero, Ph. D.
Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia
Edgar Alexis Albornoz Espinel, M.Sc.
Universidad de Pamplona, Colombia
Eva Susana Albarracín Estrada, Ph. D.
Secretaría de Educación de Medellín, Colombia
Fabian Cuesta Quintero, M.Sc.
Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia
Fabio Ernesto García Ramírez, M.Sc.
Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Colombia
Fredy Alonso Vidal Alegría, M.Sc.
Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Colombia
Fredy Humberto Vera Rivera, Ph. D.
Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia
Gladis Helena Vásquez, M.Sc.
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia
Hernán Darío Cañola, M.Sc.
Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia
Hernán Jair Andrade Castañeda, Ph. D.
Universidad del Tolima, Colombia
Iván Andrés Delgado González, M.Sc.
Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Colombia
Javier Augusto Vera Solano, M.Sc.
Universidad de Pamplona, Colombia
Javier Mauricio Pinto Valverde, M.Sc.
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia
John Jairo Páez Rodríguez, Ph. D.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia
Jorge Andrés Victoria Taborda, Ph. D.
Universidad del Tolima, Colombia
Jorge Mario Gaviria, M.Sc.
Tecnológico de Antioquia, Colombia
Julián Moreno Cadavid, Ph. D.
Universidad Nacional de Colombia, Colombia
Leonardo Bernal Zamora, M.Sc.
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
Luz Marina Santos, M.Sc.
Universidad de Pamplona, Colombia
Marco Antonio Adarme Jaimés, Ph. D.
Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia
María Nely González, M.Sc.
Tecnológico de Antioquia, Colombia
Marta Cecilia Camacho Ojeda, Ph. D.
Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Colombia

Mildred Uscategui Blanco, Ph. D.
Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia
Milton Jesús Vera Contreras, M.Sc.
Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia
Miriam Soto Duran, M.Sc.
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia
Natalia Andrea Herrera Loaiza, Ph. D.
Universidad de Antioquia, Colombia
Neider Xavier Vergara Humánez, M.Sc.
Politécnico Gran Colombiano, Colombia
Santiago Elías Díaz Ayala, M.Sc.
Gobernación de Antioquia, Colombia
Silvio Ricardo Timarán Pereira, Ph. D.
Universidad de Nariño, Colombia
Victor Hugo Capacho Alfonso, M.Sc.
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, Colombia
Yeiler Alberto Quintero Barco, M.Sc.
Fundación Universitaria María Cano, Colombia

INSTITUCIÓN EDITORA

Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria.
Facultad de Ingeniería.
Calle 78B No. 72A – 220. Medellín - Colombia, Suramérica.
Teléfono: (604) 454 70 38

CORRECCIÓN DE ESTILO, DISEÑO, DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN

Divegráficas S.A.S.
divegraficas@gmail.com.
Cra. 50 N° 35 - 62 Medellín, Colombia.
Tel.: (604) 322 50 96

ILUSTRACIÓN DE PORTADA Y SEPARADORES

Divegráficas S.A.S.

Los artículos publicados incorporan contenidos derivados de procesos de investigación, revisión y reflexión académica, que cumplen una función social, sin embargo, no representan los criterios institucionales del Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria. Los contenidos son responsabilidad exclusiva de los autores, y cualquier observación o cuestionamiento sobre la originalidad de los textos puede ser notificada al correo cuadernoactiva@tdea.edu.co y a los autores. El Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria autoriza la reproducción parcial de los textos con fines exclusivamente académicos, dando estricto cumplimiento a las normas de referenciación bibliográfica en favor de los autores y de las instituciones editoras. Cualquier uso diferente requerirá autorización escrita del director, y su omisión inducirá a las acciones legales dispuestas por las leyes internacionales sobre la propiedad intelectual y los derechos de autor.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

SITIO WEB

<https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva>

CORREO

cuadernoactiva@tdea.edu.co

Cuaderno

Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

Contenido

Presentación	7
Presentation	8
Editorial	9
Inteligencia artificial aplicada al riesgo de las viviendas: Una revisión de literatura.	11
<i>Artificial Intelligence Applied to Housing Risk: A Review of the Literature.</i>	
Sebastián Balceró Muñetón Daniel Esteban Aguiar Jaramillo Julián Rodríguez Olaya Jhon Esteban Velásquez Gómez	
Formulación de una propuesta de realidad aumentada aplicada a un mariposario en el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas en el municipio de Otanche, Boyacá	23
<i>Formulation of an augmented reality proposal applied to a butterfly farm in the Serranía de las Quinchas Regional Natural Park in the municipality of Otanche, Boyacá</i>	
María Alejandra Espitia Torres Andrés Fernando Pedraza López Astrid Viviana Robles Sosa Lina Patricia Vega Garzón	
Construcción de un modelo para predecir la morosidad de cartera	39
<i>Building a model to predict portfolio delinquency</i>	
Daniela Herrera Arbeláez Edy Soralla Bedoya Ríos	
Análisis y creación de un sistema experto para el control y seguimiento de trastornos emocionales en estudiantes universitarios	49
<i>Analysis and creation of an expert system for the control and monitoring of emotional disorders in university students</i>	
Saray Mejía Medina María Isabel Bohorquez Mejía Luisa María Ramírez Montero	

Voto electrónico como una alternativa al proceso de votación tradicional: Una revisión de literatura. <i>Electronic Voting as an Alternative to the Traditional Voting Process: A Review of the Literature</i>	61
Santiago Augusto Hincapié Oliveros Jhon Jader Díaz Gómez Juan Esteban Molina Martínez	
Aplicación y evaluación de métodos de conservación a corto y mediano plazo para hongos filamentosos y levaduras de interés industrial, agroindustrial y biotecnológico <i>Application and evaluation of conservation methods in the short and medium term for filamentous fungi and yeasts of industrial, agro-industrial, and biotechnological interest</i>	71
Jhan Pablo Agudelo Escalante Camilo Alberto Yáñez Olivales Laura Yolima Moreno Rozo	
Predicción y control del Trastorno por déficit de Atención con Hiperactividad en adultos: Una revisión de literatura. <i>Prediction and Control of Attention Deficit Hyperactivity Disorder in Adults: A review of the literature.</i>	85
Juan David Ordosgoitia Salgado Andrés David Díaz Juan José Restrepo Zuluaga	
Análisis de la aplicación del modelo Conwip en los países latinoamericanos: Una revisión de literatura <i>Analysis of the application of the CONWIP model in Latin American countries: A review of the literature</i>	97
Oscar Mauricio Gelves Alarcón Elisa del Carmen Navarro	
Propuesta de una plataforma de código abierto para el Internet de las Cosas como estrategia didáctica para la Escuela de TIC del Politécnico Grancolombiano <i>Proposal of an open source platform for the Internet of Things as a didactic strategy for the ICT School of the Politécnico Grancolombiano</i>	113
Neider Vergara David Aguirre Gabriel E. Ávila	

Cuaderno

Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

Presentación

Cuaderno Activa es una revista científica de acceso abierto, es editada desde el 2011 por la Facultad de Ingenierías del Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria. *Cuaderno Activa* publica con periodicidad anual artículos del campo de la Ingeniería, la Ciencia y la Tecnología cumpliendo con las políticas editoriales de alta calidad para revistas científicas. El objetivo de la revista es difundir el conocimiento científico y tecnológico resultado de investigaciones originales y relevantes sobre nuevos conocimientos en ingeniería, reflejado a través de productos de investigaciones científicas que buscan contribuir al desarrollo de la Ciencia y la Tecnología.

Objetivos

- Brindar un espacio académico, investigativo y científico en las áreas de Ingeniería.
- Publicar resultados originales de investigación científica y tecnológica.
- Tener calidad editorial en la producción de la revista.
- Ser una fuente de difusión y discusión para la comunidad científica.

Política editorial

Para garantizar la calidad de las publicaciones, *Cuaderno Activa* dispone de dos comités que permiten dar cumplimiento a los procesos editoriales de la revista en compañía de un director editorial, el cual debe ser un docente-investigador que lidere el proceso editorial y la periodicidad de la revista. El Comité Editorial define los criterios con que se rige la revista y está conformado por pares académicos nacionales e internacionales. El Comité Científico/Arbitral verifica la pertinencia de los artículos y está integrado por miembros internacionales ajenos al proceso editorial. Además, el Comité Científico/Arbitral valora rigurosamente el contenido de los escritos que envían los autores y está compuesto por evaluadores internos y externos a la institución editora, expertos en el área. (Los miembros de los comités podrán ser árbitros o autores, siempre y cuando no participen en ambos roles en el mismo número de la edición.)

Política de acceso abierto

Esta revista se inscribe en la política de libre acceso a la información que ella contiene. La revista *Cuaderno Activa* puede ser consultada en la plataforma de gestión de revistas académicas y científicas del Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria: <http://ojs.tdea.edu.co>. La revista *Cuaderno Activa* se encuentra incluida en:

Digital repositorio:



Índices de revistas:



Cuaderno

Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

Presentation

Cuaderno Activa is a scientific journal with an Open Access character, it has been published since 2011 by the Faculty of Engineering of Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria. *Cuaderno Activa* publishes articles in the field of Engineering, science and technology on an annual basis, complying with high quality editorial policies for scientific journals. The aim of this journal is to disseminate scientific and technological knowledge resulting from original and relevant research on new engineering knowledge, reflected through scientific research products that seek to contribute to the development of Science and Technology.

Objectives

- To provide an academic, research and scientific space in the field of Engineering.
- To publish original results of scientific and technological research.
- To issue a journal with editorial quality.
- To be a source of dissemination and discussion for scientific community.

Editorial policy

Cuaderno Activa has two committees that allow to achieve the journal editorial process in order to guarantee the quality of publications. The committees work together with an editorial director, which must be a teacher-researcher who leads the editorial process and the periodicity of the journal. The Editorial Committee defines the criteria used by the journal and is made up of national and international academic peers. The Scientific/Arbitration Committee verifies the relevance of the articles and rigorously assesses the content of the writings submitted by the authors. The Scientific / Arbitration Committee is made up of international members who are not part of the editorial process. Besides, it is composed by internal evaluators and external of the publishing institution, experts in the area. (Committee members may be judges or authors, as long as they do not participate in both roles in the same issue.)

Open-access policy

This journal adheres in an open access policy to the information that it contains. The journal *Cuaderno Activa* can be visited on the platform for academic and scientific journals of Tecnológico de Antioquia - University Institution: <http://ojs.tdea.edu.co>. *Cuaderno Activa* journal is included in:

Digital repository:



Indexes of journals:



Cuaderno

Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

Editorial

La revista *Cuaderno Activa* es un medio que busca contribuir a los procesos de generación y transferencia de conocimiento a partir de la selección y consolidación de una publicación periódica, la cual compila artículos científicos relevantes para la comunidad académica y científica de la disciplina ingenieril. La edición compila nueve (9) artículos que abordan la tecnología aplicada en diferentes disciplinas como biología, salud, turismo, educación y gestión.

El primer artículo aborda un análisis de literatura sobre el uso de la inteligencia artificial (IA) para la identificación de riesgos en el colapso de obras civiles. Asimismo, en el segundo artículo se referencia el uso de la realidad aumentada como estrategia para potenciar el ecoturismo, instanciando herramientas como Unity y Vuforia para el desarrollo de una aplicación que articula la realidad aumentada y un escenario natural como el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas.

En el tercer artículo se presenta un modelo de predicción de morosidad, aplicado al sector financiero, que integra técnicas de la gestión de datos. En el contexto de la tecnología aplicada a la salud, se referencian dos artículos (cuarto y séptimo) que abordan trastornos por déficit de atención e hiperactividad y emocionales, a partir de herramientas como la inteligencia artificial y el desarrollo de software para soportar procesos asociados al tratamiento.

En el quinto artículo se realiza una revisión de literatura analizando los beneficios y barreras que genera el uso de la tecnología en el sistema de votaciones electrónicas. En el sexto artículo se discuten los resultados de la experimentación realizada a través de métodos de conservación para hongos filamentosos y levaduras.

En el octavo artículo se presenta una revisión de literatura sobre el impacto de modelo para procesos industriales, denominado CONWIP, en el contexto empresarial en Latinoamérica.

Por último, el noveno artículo aborda una estrategia didáctica basada en una plataforma de acceso abierto, la cual permite la formación de estudiantes en competencias relacionadas con Internet de la Cosas.

El Equipo Editorial agradece a todos los autores y miembros del Consejo Científico que participaron en el proceso de revisión de los artículos y, asimismo, esperamos que la edición número 15 de la revista se convierta en un activo de conocimiento para la consulta de la comunidad académica del país.

Dario E. Soto Durán

Editor

Harry L. Puerta Monsalve

Coeditor





Inteligencia artificial aplicada al riesgo de las viviendas: Una revisión de literatura.

Artificial Intelligence Applied to Housing Risk: A Review of the Literature.

Sebastián Balcer Muñetón¹, Daniel Esteban Aguiar Jaramillo², Julián Rodríguez Olaya³,
Jhon Esteban Velásquez Gómez⁴

Tipo de Artículo: Revisión de literatura

Recibido: 09/11/2022 **Aprobado:** 15/08/2023 **Publicado:** 22/12/2023

Resumen: En Colombia existen viviendas que fueron construidas de manera empírica sin estudios especializados de suelos ni valoraciones previas de los materiales de construcción, lo que las ha llevado al colapso por la aparición de fenómenos naturales. En la actualidad, la Inteligencia Artificial (IA) se ha convertido en una gran herramienta para la realización de tareas complejas, como lo puede ser determinar el grado de vulnerabilidad o el riesgo de colapso de una obra civil. El objetivo de este trabajo es presentar una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) sobre cómo se ha aplicado la Inteligencia Artificial (IA) en la identificación de riesgo de colapso de viviendas. Se concluye que, si bien la IA no puede prevenir directamente los derrumbes de viviendas, puede ayudar a identificar y mitigar los factores que contribuyen a tales eventos; principalmente, a través del uso de sensores para monitorear continuamente

la salud estructural en tiempo real y detectar signos de deterioro, estrés u otros problemas que podrían provocar un colapso.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, vulnerabilidad, obra civil, riesgo, colapso.

Abstract: In Colombia, there are houses that were built empirically without specialized soil studies or previous valuations of construction materials, which has led them to collapse due to the occurrence of natural phenomena. Nowadays, Artificial Intelligence (AI) has become a great tool for performing complex tasks such as determining the degree of vulnerability or the risk of collapse of a civil work. The objective of this paper is to present a Systematic Literature Review (SLR) on how Artificial Intelligence (AI) has been applied in the identification of housing collapse

1 Autor correspondiente: Sebastián Balcer Muñetón. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: sebastian.balceromu@amigo.edu.co

2 Autor correspondiente: Daniel Esteban Aguiar Jaramillo. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: daniel.aguiarja@amigo.edu.co

3 Autor correspondiente: Julián Rodríguez Olaya título: Ingeniero de Sistemas. Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: Julian.rodriguezol@amigo.edu.co

4 Autor correspondiente: Jhon Esteban Velásquez Gómez. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: Jhon.velasquezgo@amigo.edu.co

risk. It is concluded that, while AI cannot directly prevent housing collapses, it can help identify and mitigate factors that contribute to such events, primarily through the use of sensors to continuously monitor structural health in real time and detect signs of deterioration, stress or other problems that could lead to collapse.

Keywords: Artificial Intelligence, vulnerability, civil works, risk, collapse.

I. Introducción

En el año 2018 en la ciudad de Medellín, Colombia, 1.269.612 viviendas fueron censadas por el DANE [1]. De este censo se identificó que las viviendas que colapsan son construidas por personas que no poseen conocimientos geológicos de suelos, a pesar de que tengan experiencia en la construcción de viviendas [2], sin considerar los factores de riesgo que pueden hacer que una vivienda colapse. El objetivo de este trabajo es presentar una RSL para identificar las causas de colapso de viviendas, los tipos de materiales y técnicas de construcción para evitar este tipo de peligro. Adicionalmente, mapear los softwares existentes basados en Inteligencia Artificial (IA) para detectar este tipo de riesgo.

Las preguntas de investigación consideradas fueron las siguientes: *P1. ¿Qué riesgos existen asociados al colapso de obras civiles? P2. ¿Cómo se ha aplicado la IA para predecir el riesgo de colapso de obras civiles? y P3. ¿Qué aplicaciones existen en la actualidad para predecir el riesgo de colapso de obras civiles?*

Como se mencionó anteriormente, se empleó la metodología de la RSL, enfoque integral y estructurado para revisar y resumir la investigación existente sobre un tema o pregunta de investigación específica. Es ampliamente reconocida en la investigación académica y científica, y se utiliza a menudo en diversos campos, incluidos la medicina, la psicología, las ciencias sociales y más. El objetivo principal de una RSL es proporcionar un análisis imparcial y riguroso de la evidencia disponible para

responder preguntas de investigación específicas o abordar un tema en particular. En resumen, las RSL son valiosas porque proporcionan un resumen completo y basado en evidencia de la investigación existente, lo que ayuda a los investigadores a tomar decisiones informadas, identificar vacíos en la literatura y contribuir al avance del conocimiento en un campo en particular. Además, pueden informar las políticas y las prácticas en diversos ámbitos. Las RSL están conformadas por los siguientes pasos:

- *Definición de la pregunta de investigación:* se articula claramente la pregunta de investigación o los objetivos que pretende abordar a través de la revisión. Es fundamental ser específico y centrado en su consulta.
- *Establecimiento de criterios de inclusión y exclusión:* se establecen criterios para seleccionar estudios relevantes. Estos criterios pueden incluir fecha de publicación, diseño del estudio, ubicación geográfica, datos demográficos de los participantes y más. Los criterios deben ser explícitos y documentados para garantizar la transparencia y la coherencia.
- *Definición de la estrategia de búsqueda:* se crea una estrategia de búsqueda integral y sistemática para identificar estudios relevantes. Esto implica buscar en múltiples bases de datos, utilizar palabras clave y términos específicos y considerar diversas fuentes de literatura (p. ej., revistas, actas de congresos, literatura gris).
- *Selección de estudios:* se evalúan los resultados de la búsqueda, según sus criterios de inclusión y exclusión. Por lo general, esto implica una selección inicial de títulos y resúmenes y luego una evaluación más detallada de los textos completos de los artículos potencialmente relevantes.
- *Extracción de datos:* se extrae información relevante de los estudios seleccionados, como el diseño del estudio, el tamaño de la muestra, los hallazgos clave y cualquier otro dato que aborde su pregunta de investigación.

- *Evaluación de calidad*: se evalúa la calidad metodológica y el rigor de los estudios incluidos. Este paso le ayuda a evaluar la confiabilidad y validez de la evidencia.
- *Síntesis de datos*: se analizan y sintetizan los datos extraídos de los estudios seleccionados. Esto puede implicar métodos cualitativos o cuantitativos, según la naturaleza de la pregunta de investigación y los datos disponibles.
- *Presentación de hallazgos*: se presentan los resultados de su revisión sistemática de la literatura de manera clara y organizada. Esto puede incluir resúmenes narrativos, tablas, figuras u otras formas de presentación.
- *Interpretación de los hallazgos*: se interpretan los hallazgos en el contexto de su pregunta de investigación, considerando las fortalezas y limitaciones de los estudios incluidos.
- *Conclusión e implicaciones*: se resume los hallazgos clave de su revisión y discuta sus implicaciones para la práctica, las políticas o la investigación futura.
- *Redacción de informes*: se prepara un informe o manuscrito bien estructurado y documentado de su revisión sistemática de la literatura, siguiendo las pautas y estándares establecidos en su campo.

En definitiva, se identificó que la IA, ha tenido grandes avances en el sector de la construcción, específicamente a través del uso de sensores (Wireless Sensor Networks), para ayudar a determinar los riesgos de colapso de vivienda, los cuales implementan un seguimiento e informan los fallos, vulnerabilidades, análisis e inconsistencias de las estructuras para prevenir un futuro colapso o daño.

II. Marco Teórico

La IA hace referencia a la capacidad que tienen las máquinas para usar algoritmos, aprender de

los datos y utilizar lo aprendido en la toma de decisiones tal y como lo haría un ser humano [3]; en otras palabras, es el arte de programar máquinas para que tengan la capacidad de razonar como los seres humanos [4], es decir, busca que las computadoras realicen tareas que realizan los humanos [5]. La IA es la rama de la ciencia de la computación que se ocupa de la automatización de la conducta inteligente [6]; se enfoca en la explicación y emulación de la conducta inteligente en función de procesos computacionales [7].

Por otra parte, una obra civil hace referencia a las infraestructuras y edificaciones que permiten a la población incrementar su calidad de vida [8]; involucra la planificación, organización, ejecución, supervisión y evaluación de proyectos en las que se ven involucrados distintos sistemas y procesos constructivos [9]. Los riesgos asociados a la construcción de obras civiles pueden ser el ruido, los sobreesfuerzos, las temperaturas extremas, los movimientos repetitivos y caídas en alturas [10].

El colapso de obras civiles puede ser causado por una variedad de factores, que pueden ser el resultado de problemas de diseño, construcción, mantenimiento, o condiciones ambientales extremas. Algunas de las causas más comunes del colapso de casas incluyen deficiencias en la construcción; es decir, errores durante el proceso de construcción, como la falta de refuerzo estructural adecuado, cimientos inadecuados, mala calidad de los materiales de construcción o mano de obra deficiente, pueden debilitar la estructura de una casa con el tiempo. Otra causa puede ser daños por agua, la infiltración de agua a lo largo del tiempo puede debilitar la estructura de una casa; esto puede ser causado por fugas de tuberías, problemas en el techo o la falta de un sistema de drenaje adecuado [10].

Otra de las causas es el desgaste natural, con el tiempo, todos los materiales de construcción se desgastan, las casas viejas pueden colapsar debido al envejecimiento de sus componentes, como vigas y columnas de madera que se debilitan con el tiempo. Los movimientos del suelo, también se constituye como una de las

principales causas, el asentamiento del suelo, la erosión o los terremotos pueden provocar el colapso de una casa. Los suelos inestables o una mala compactación del suelo pueden contribuir a este tipo de problemas [10].

La sobrecarga estructural, es decir, la adición de peso excesivo en una estructura, sin el refuerzo adecuado puede causar el colapso. Esto puede deberse a la acumulación de nieve en el techo, la sobrecarga de pisos o la colocación de objetos pesados en áreas no diseñadas para soportarlos. La corrosión y deterioro, principalmente de elementos metálicos en la estructura, como barras de refuerzo de acero o conexiones, puede debilitar gravemente la integridad de una casa. Los problemas en la cimentación, como asentamientos no uniformes o la erosión del suelo debajo de la cimentación, pueden hacer que la casa se hunda o se incline, lo que a su vez puede provocar el colapso [10].

Es necesario añadir que, los eventos como terremotos, huracanes, tornados e inundaciones pueden dañar gravemente las casas y provocar su colapso. La falta de mantenimiento adecuado a lo largo de los años puede permitir que problemas menores se conviertan en problemas graves. Esto incluye no abordar fugas, grietas o problemas estructurales a tiempo. Finalmente, las inundaciones repentinas pueden ejercer una gran presión sobre las paredes y los cimientos de una casa, lo que puede llevar al colapso [10].

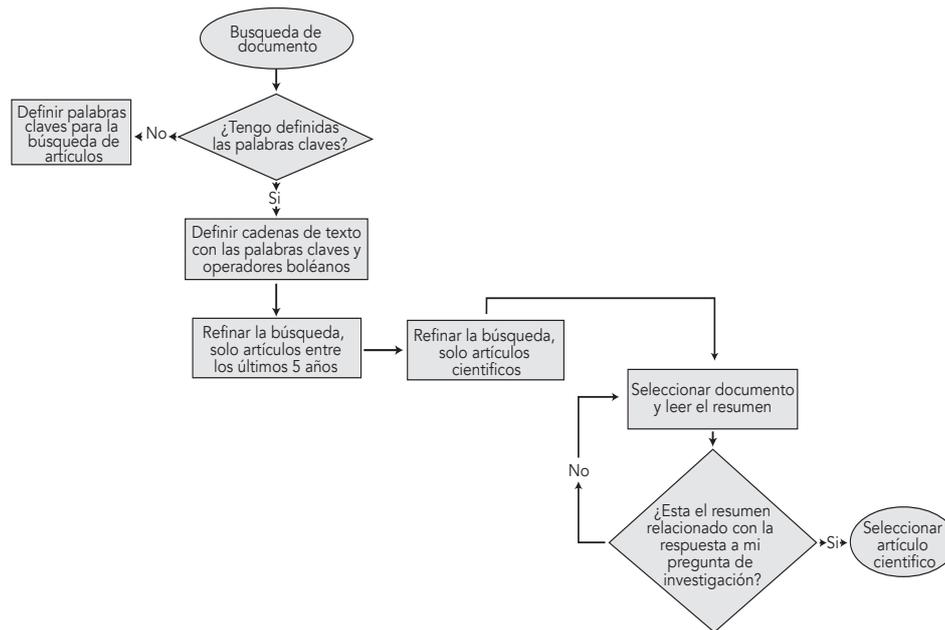
III. Procesos de búsqueda

Se analizaron publicaciones científicas de las bases de datos Scopus y Science Direct, en el período comprendido desde el 2017 hasta el 2023. Se utilizó la siguiente cadena de búsqueda:

```
TITLE-ABS-KEY ("ARTIFICIAL INTELLIGENCE"  
AND "PREDICT" AND ("CIVIL WORKS" OR  
"CIVIL INFRASTRUCTURE") AND ("COLLAPSE"  
OR "VULNERABILITY" OR "DISASTERS")  
AND PUBYEAR > 2016 AND PUBYEAR < 2023  
AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") AND (LIMIT-  
TO (LANGUAGE, "English") AND (LIMIT-TO  
(SUBJECT AREA, "Computer Science") AND  
(LIMIT-TO (SUBJECT AREA, "Engineering")  
AND (LIMIT-TO (KEYWORD, "CIVIL WORKS")  
(LIMIT-TO (KEYWORD, "ENG") AND AND  
(LIMIT-TO (OA, "all"))
```

Para la selección de documentos de la RSL se consideraron los títulos de las revistas científicas, el resumen del artículo, las conclusiones, la claridad y la coherencia del documento, la metodología aplicada en la investigación para la solución del problema buscado y los resultados finales y aspectos a mejorar. La figura 1, presenta el proceso que se aplicó para la selección final de los estudios.

Figura 1. Proceso de selección de documentos

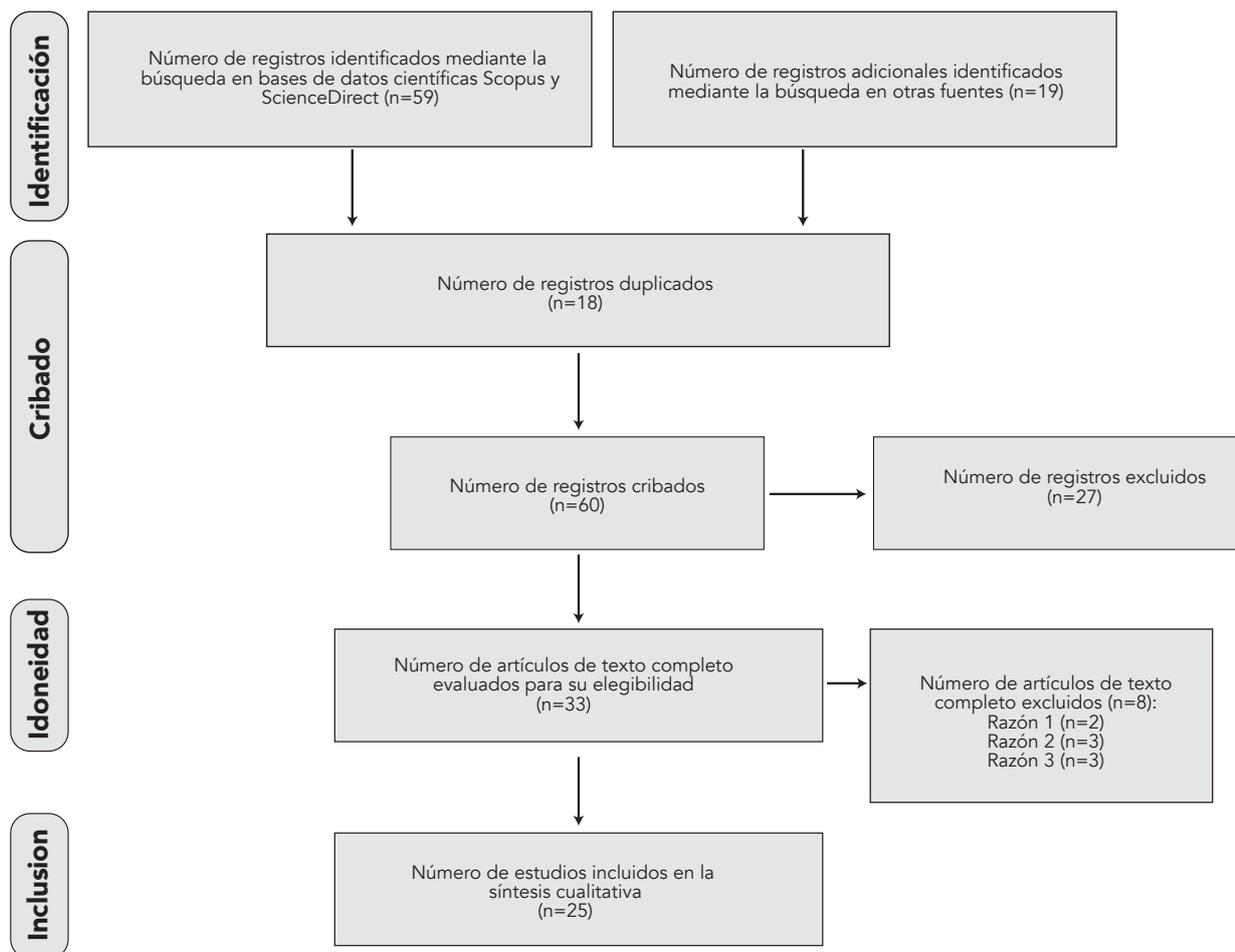


Nota: Fuente elaboración propia.

IV. Resultados

Aplicando la ecuación de búsqueda presentada anteriormente, se obtuvieron 42 resultados en Science Direct y 17 en Scopus, para un total de 59 resultados. También se identificaron 19 publicaciones divulgativas relacionadas con la temática en otro tipo de fuentes. Tras eliminar 18 duplicados entre las dos bases de datos quedaron 60 artículos, a los cuales se les realizó el cribado con base en la lectura de los títulos y resúmenes; a partir de esta lectura se descartaron 27 artículos por no tener relación con la temática.

De los 33 artículos que quedaron y según los criterios de inclusión y exclusión mencionados anteriormente, se descartaron 8 artículos porque: no existía evidencia de su aplicación real ($n=2$), porque eran algoritmos de IA que no se habían validado ($n=3$) y porque no servían para prevenir el riesgo de colapso ($n=3$). Finalmente, 25 artículos cumplieron los criterios de inclusión y se seleccionaron para llevar a cabo la revisión sistemática. La figura 2 condensa lo mencionado anteriormente mediante un diagrama de Flujo PRISMA en cuatro niveles:

Figura 2. Diagrama de Flujo de Cuatro Niveles

Nota: Fuente elaboración propia.

V. Discusión

A continuación, se presentan los resultados encontrados en la revisión de literatura en cada una de las preguntas de investigación:

P1. ¿Qué riesgos existen asociados al colapso de obras civiles?

Muchos de los riesgos que pueden llevar al colapso de obras civiles están relacionados con desastres naturales. Esto ocurre, principalmente, porque no se evalúa la confiabilidad a lo largo

del tiempo, teniendo en cuenta el cambio climático. Como resultado, fenómenos naturales como huracanes, terremotos e inundaciones se convierten en las principales causas de colapsos en obras civiles [14].

Otros factores de riesgo incluyen la falta de experiencia en la evaluación de la zona de construcción y la construcción deficiente de los elementos más críticos de una obra civil. La mampostería y las estructuras de marco de concreto suelen ser los elementos más afectados durante la construcción [15].

El colapso de obras civiles puede tener consecuencias graves y peligrosas. Los riesgos asociados al colapso de obras civiles incluyen lesiones personales y pérdida de vidas humanas, daños a la propiedad, impacto económico, daños al medio ambiente, problemas jurídicos y altos costos de costos de recuperación y reconstrucción [16].

En síntesis, para prevenir los riesgos asociados al colapso de obras civiles, es fundamental llevar a cabo una planificación, diseño, construcción y mantenimiento adecuados. Esto incluye la inspección regular de la infraestructura, el cumplimiento de normativas y estándares de seguridad, y la implementación de medidas de prevención y mitigación de riesgos. Además, es crucial contar con la supervisión de ingenieros civiles calificados y seguir buenas prácticas de gestión de proyectos de construcción [17].

P2. ¿Cómo se ha aplicado la inteligencia artificial para predecir el riesgo de colapso de obras civiles?

En el ámbito de la ingeniería y la gestión de infraestructuras, se emplean diversas técnicas de IA para evaluar el nivel de vulnerabilidad de estructuras. Estas técnicas incluyen el uso de modelos como las redes neuronales artificiales, la programación de expresión genética y los modelos de árbol de aumento de gradiente. Además, se recurre a algoritmos de aprendizaje automático optimizados mediante inteligencia de enjambre, tales como Máquinas de Vectores de Soporte (SVM), Redes Neuronales Artificiales (ANN), embolsado, Base Radial (RBF) y el modelo de árbol M5P. Estos métodos se aplican para evaluar factores como la humedad y la vulnerabilidad en estructuras de gran envergadura, como represas [18].

Un ejemplo concreto de aplicación de la inteligencia artificial en este campo es Art-Risk 3.0, una herramienta capaz de gestionar la vulnerabilidad, los riesgos y la vida útil funcional de edificios. Para ello, utiliza la teoría de la lógica difusa y los sistemas de información geográfica (SIG) para incorporar variables ambientales y

la ubicación geológica de los edificios en el territorio peninsular de España [19].

En el contexto de monitoreo de estructuras de edificios, la inteligencia artificial se utiliza para analizar los datos recopilados de sensores integrados en las construcciones. Un proyecto de gestión específico emplea sensores inalámbricos (Wireless Sensor Networks, WSN) para este propósito. La WSN permite la adquisición de datos en el sitio (DAQ) y su análisis fuera del lugar. Los sistemas DAQ son controlados mediante programas de software desarrollados en lenguajes como C, C++, Java, LabVIEW, Lisp y Pascal [20].

Además, se lleva a cabo una inspección basada en imágenes para detectar defectos concretos en la infraestructura civil. Este enfoque sigue una metodología de tubería de inspección potenciada por inteligencia artificial, que consta de tres pasos principales: detección de anomalías, extracción de anomalías y clasificación de defectos. Esta metodología se implementa utilizando el lenguaje de programación Python, y los modelos de aprendizaje profundo se crean con Tensorflow y se ejecutan en unidades de procesamiento gráfico Nvidia 2080-ti [20].

En resumen, la gestión de la vulnerabilidad, riesgos y vida útil de las edificaciones se ha vuelto cada vez más dependiente de técnicas avanzadas de inteligencia artificial y análisis de datos, permitiendo una evaluación más precisa y eficiente de la integridad de las estructuras, con aplicaciones que abarcan desde represas hasta edificios en zonas específicas como el Valle de Aburrá.

P3. ¿Qué aplicaciones existen en la actualidad para predecir el riesgo de colapso de obras civiles?

Se identificó el diseño de un software utilizando la plataforma de elementos finitos Staad Pro con el propósito de generar una amplia variedad de simulaciones y adaptar sus resultados a un motor de cálculo de fatiga. La efectividad y validez de este entorno en la evaluación de la vida útil de las

estructuras se comprobó mediante la realización de simulaciones a ciegas para diferentes tipos de estructuras. La herramienta actualmente disponible puede ser utilizada con confianza para predecir el inicio de grietas por fatiga y así prevenir posibles colapsos adicionales de las estructuras [21]. Por otro lado, se emplea el reconocimiento de componentes estructurales basado en el aprendizaje profundo utilizando imágenes, datos y detección de daños con consistencia a nivel de la estructura, para medir el grado de vulnerabilidad de las construcciones [22].

Para el monitoreo de grandes estructuras con altos requisitos de vida y seguridad de diseño, como puentes de carreteras, edificios de varios pisos, casas, chimeneas, plataformas marinas y reactores nucleares, se utiliza una red inalámbrica de sensores inteligentes. Estos sensores cuando se combinan con herramientas de inteligencia artificial como redes neuronales artificiales, aprendizaje automático, aprendizaje profundo y tecnologías derivadas como las Redes Neuronales Convolucionales y la Inteligencia Híbrida, permiten la creación de un sistema de monitoreo completamente automatizado para evaluar la vulnerabilidad y el estado de las estructuras. Sin embargo, es importante señalar que este sistema puede resultar costoso de implementar y no es adecuado para un análisis a gran escala [23].

El Sistema de Gestión de Datos (*Data Management System*) utiliza la inteligencia artificial para evaluar la salud estructural y ha sido probado en puentes con la posibilidad de adaptarse a otras aplicaciones. Este programa recopila datos de la construcción, incluyendo la carga de trabajo y las condiciones atmosféricas, como el peso de los vehículos, la presión del viento, el movimiento causado por terremotos, la alta temperatura, la humedad, y factores relacionados con la estructura, como miembros, bisagras, grietas y pesos vehiculares, que incluyen el tráfico, la velocidad y el peso de cada eje, a menudo medido a través del principio de pesaje en movimiento (WIM) [24].

Una vez que un vehículo cruza el puente, este sistema proporciona orientación para los sistemas de tráfico de carreteras y realiza la configuración y evaluación de la estructura. Además, los avances en tecnología de sensores de fibra óptica (OFS) han permitido su aplicación en la ingeniería civil para el seguimiento de estructuras importantes, garantizando una mayor durabilidad. Estos sensores ópticos y las soluciones basadas en datos tienen una capacidad superior para detectar daños y fallas en estructuras de ingeniería civil [25]. Este estudio también introduce una innovadora herramienta informática llamada "Art-Risk 3.0" para la conservación preventiva del patrimonio en centros urbanos, basada en modelos de inteligencia artificial. Esta metodología es capaz de gestionar la vulnerabilidad, los riesgos y la vida útil funcional de los edificios, contribuyendo así a la conservación del patrimonio cultural construido. Esta herramienta ayuda a los propietarios, administraciones locales, regionales y nacionales a tomar decisiones basadas en criterios científicos para la conservación del patrimonio. "Art-Risk 3.0" utiliza la teoría de la lógica difusa y los sistemas de información geográfica (SIG) para incorporar variables ambientales y la ubicación geográfica de los edificios en el territorio peninsular de España [25].

En el contexto del monitoreo de estructuras, se emplean sensores inalámbricos (Wireless Sensor Networks) para adquirir datos en el sitio y realizar análisis fuera del sitio. Estos sistemas de adquisición de datos (DAQ) son controlados por programas de software desarrollados mediante programación informática. Además, se utiliza la Inteligencia Artificial, incluyendo Redes Neuronales Artificiales y Aprendizaje Profundo, para estudiar las vibraciones de la estructura y analizar datos complejos en busca de patrones significativos. También se menciona la aplicación de Redes Neuronales Convolucionales (CNN) en el análisis de vibraciones de estructuras de construcción [25].

El presente estudio emplea un enfoque probabilístico para desarrollar funciones de fragilidad, teniendo en cuenta diversas fuentes

de incertidumbre, como los movimientos del suelo, la geometría del puente y las propiedades de los materiales. Estas funciones de fragilidad proporcionan la probabilidad de que una estructura específica cumpla o exceda un límite predefinido (es decir, nivel de daño) dado un nivel específico de intensidad de movimiento del suelo (IM). Se evalúa la influencia de la elección del IM en las funciones de fragilidad mediante criterios comunes que se encuentran en la literatura. En este marco, la probabilidad de daño, pf , se calcula para cada nivel de daño de la siguiente manera:

$$pf = P\left[\frac{D}{C} > 1 \mid IM\right]$$

Donde D y C representan respectivamente la demanda estructural y la capacidad, suponiendo distribuciones logarítmicas normales para ambas.

$$pf = \frac{\Phi \left[\frac{\ln\left(\frac{SD}{SC}\right) IM}{\sqrt{(\beta D)^2 IM^2 + \beta C^2}} \right]}{\sqrt{(\beta D)^2 IM^2 + \beta C^2}}$$

Donde SD y βD | IM representan respectivamente la mediana y la dispersión de las demandas sísmicas y SC y βC , respectivamente, representan la mediana y dispersión de la capacidad. Por lo tanto, para estimar la probabilidad de daños, se necesitan modelos para calcular la mediana y la dispersión de los demandas y capacidades sísmicas. Nótese que esta forma de ecuación para estimar la probabilidad de falla asume que no hay correlación entre la demanda y parámetro de capacidad [25].

VI. Conclusiones

Los riesgos asociados a las construcciones civiles surgen debido a la falta de comprensión sobre los materiales utilizados y las características del suelo

en las ubicaciones de las viviendas, sin considerar los posibles peligros de colapso ante eventos naturales. La aplicación de la teoría de la lógica difusa y los sistemas de información geográfica se presenta como una solución óptima y viable para incorporar las variables ambientales y la ubicación geológica de las estructuras en el valle de Aburrá en la investigación. Esta propuesta representa un enfoque eficaz para identificar y abordar las deficiencias estructurales en las nuevas construcciones en constante crecimiento, gracias a la utilización de software especializado que evalúa la salud estructural. De esta manera, se puede mantener una vigilancia constante sobre cualquier posible vulnerabilidad y ejecutar un plan de acción de manera oportuna y efectiva.

En la actualidad, existen diversas aplicaciones y herramientas que pueden ayudar en la predicción y evaluación del riesgo de colapso de obras civiles (Análisis de Elementos Finitos (FEA), BIM (Modelado de Información de Construcción), Sensores IoT (Internet de las cosas), *Machine Learning* y Aprendizaje Profundo, Software de Geotecnia, Simulación de Elementos Finitos (FEM) y Sistemas de Gestión de Activos. Estas aplicaciones utilizan tecnologías como la inteligencia artificial, el análisis de datos y la modelización para prever posibles problemas en la construcción y el mantenimiento de estructuras civiles.

Es importante destacar que la elección de la aplicación o herramienta adecuada dependerá del tipo de obra civil, su complejidad y las necesidades específicas del proyecto. Además, es fundamental contar con la experiencia y el conocimiento de ingenieros y expertos en estructuras civiles para interpretar los resultados y tomar decisiones informadas sobre la prevención del riesgo de colapso.

VII. Referencias

- [1] Departamento Nacional de Estadísticas. DANE, "Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 - Pasto, Nariño," 2019, p. 31.
- [2] Semana. 2022. "Edificio Space: se cumplen nueve años de una tragedia que se pudo prevenir en Medellín", [En línea]. Disponible en: <https://www.semana.com/nacion/medellin/articulo/edificio-space-se-cumplen-nueve-anos-de-una-tragedia-que-se-pudo-prevenir-en-medellin/202222/>
- [3] J. Y. Lee and B. R. Ellingwood, "A decision model for intergenerational life-cycle risk assessment of civil infrastructure exposed to hurricanes under climate change", *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 159, pp. 100-107, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2016.10.022>
- [4] A. Karatzetzou, S. Stefanidis, S. Stefanidou, G. Tsinidis, and D. Pitolakis, "Unified hazard models for risk assessment of transportation networks in a multi-hazard environment", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 75, p. 102960, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102960>
- [5] K. N. Siddiquee, A. M. Billah, and A. Issa, "Seismic collapse safety and response modification factor of concrete frame buildings reinforced with superelastic shape memory alloy (SMA) rebar", *Journal of Building Engineering*, vol. 42, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102468>
- [6] M. Terrenzi, E. Spacone, and G. Camata, "Engineering demand parameters for the definition of the collapse limit state for code-conforming reinforced concrete buildings", *Engineering Structures*, vol. 266, p. 114612, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114612>
- [7] A. Furtado, H. Rodrigues, A. Arêde, and H. Varum, "Experimental tests on strengthening strategies for masonry infill walls: A literature review", *Construction and Building Materials*, vol. 263, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120520>
- [8] N. Makoond, L. Pelà, and C. Molins, "A Risk Index for the Structural Diagnosis of Masonry Heritage (RISDiMaH)", *Construction and Building Materials*, vol. 284, p. 122433, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122433>
- [9] A. Rezaie, M. Godio, and K. Beyer, "Experimental investigation of strength, stiffness and drift capacity of rubble stone masonry walls", *Construction and Building Materials*, vol. 251, p. 118972, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118972>
- [10] J. Y. Lee, H. V. Burton, and D. Lallemand, "Adaptive decision-making for civil infrastructure systems and communities exposed to evolving risks", *Structural Safety*, vol. 75, pp. 1-12, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2018.05.001>
- [11] R. Hingorani, P. Tanner, M. Prieto, and C. Lara, "Consequence classes and associated models for predicting loss of life in collapse of building structures", *Structural Safety*, vol. 85, p. 101910, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2019.101910>
- [12] E. Mastroianni, J. Lancaster, B. Korkmann, A. Opdyke, and W. Beitelmal, "Mitigating infrastructure disaster losses through asset management practices in the Middle East and North Africa region", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 53, p. 102011, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.102011>
- [13] J. K. Chow, Z. Su, J. Wu, Z. Li, P. S. Tan, K. fu Liu, X. Mao, and Y. H. Wang, "Artificial intelligence-empowered pipeline for image-based inspection of concrete structures", *Automation in Construction*, vol. 120, p. 103372, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103372>
- [14] H. A. Al-Jamimi, W. A. Al-Kutti, S. Alwahaishi, and K. S. Alotaibi, "Prediction of compressive strength in plain and blended cement concretes using a hybrid artificial intelligence model", *Case Studies in Construction Materials*, vol. 17, p. e01238, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01238>
- [15] Q. Wang, A. Hussain, M. U. Farooqi, and A. F. Deifalla, "Artificial intelligence-based estimation of ultra-high-strength concrete's flexural property", *Case Studies in Construction*

- Materials*, vol. 17, p. e01243, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01243>
- [16] A. Sofi, J. Regita, B. Rane, and H. H. Lau, "Structural health monitoring using wireless smart sensor network – An overview", *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 163, p. 108113, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2021.108113>
- [17] Y. Liu and J. K. W. Yeoh, "Robust pixel-wise concrete crack segmentation and properties retrieval using image patches", *Automation in Construction*, vol. 123, p. 103535, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103535>
- [18] R. W. Blake, R. Mathew, A. George, and N. Papakostas, "Impact of Artificial Intelligence on Engineering: Past, Present and Future", *Procedia CIRP*, vol. 104, pp. 1728-1733, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.291>
- [19] B. A. Salami, M. Iqbal, A. Abduraheem, F. E. Jalal, W. Alimi, A. Jamal, T. Tafsirojjan, Y. Liu, and A. Bardhan, "Estimating compressive strength of lightweight foamed concrete using neural, genetic and ensemble machine learning approaches", *Cement and Concrete Composites*, vol. 133, p. 104721, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104721>
- [20] F. Khosravikia, P. Clayton, and E. Williamson, "Investigation of potential damage to bridge infrastructure from induced earthquakes", *Engineering Structures*, vol. 238, p. 112252, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112252>
- [21] T. U. Banu, N. P. Rajamane, P. O. Awoyera, y R. Gobinath, "Strength characterisation of self-cured concrete using AI tools", *Materials Today: Proceedings*, vol. 39, pp. 839-848, 2020. [En línea]. Disponible en: DOI: 10.1016/j.matpr.2020.10.101.
- [22] U. M. N. Jayawickrema, H. M. C. M. Herath, N. K. Hettiarachchi, H. P. Sooriyaarachchi, y J. A. Epaarachchi, "Fibre-optic sensor and deep learning-based structural health monitoring systems for civil structures: A review", *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, vol. 199, p. 111543, 2022. [En línea]. Disponible en: DOI: 10.1016/j.measurement.2022.111543.
- [23] G. N. Devi y M. M. Vijayalakshmi, "Smart structural health monitoring in civil engineering: A survey", *Materials Today: Proceedings*, vol. 45, pp. 7143-7146, 2020. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.02.095.
- [24] R. A. Ali y O. H. Kharofa, "The impact of nanomaterials on sustainable architectural applications smart concrete as a model", *Materials Today: Proceedings*, vol. 42, pp. 3010-3017, 2021. [En línea]. Disponible en: DOI: 10.1016/j.matpr.2020.12.814.
- [25] F. Khosravikia, P. Clayton y E. Williamson, "Investigation of potential damage to bridge infrastructure from induced earthquakes", *Engineering Structures*, vol. 238, p. 112252, 2021. [En línea]. Disponible en: DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112252.



María Alejandra Espitia Torres, Andrés Fernando Pedraza López, Astrid Viviana Robles Sosa, Lina Patricia Vega Garzón (2023). Formulación de una propuesta de realidad aumentada aplicada a un mariposario en el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas en el municipio de Otanche, Boyacá. Cuaderno Activa, 15, 23-37.



Formulación de una propuesta de realidad aumentada aplicada a un mariposario en el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas en el municipio de Otanche, Boyacá

Formulation of an augmented reality proposal applied to a butterfly farm in the Serranía de las Quinchas Regional Natural Park in the municipality of Otanche, Boyacá

María Alejandra Espitia Torres¹, Andrés Fernando Pedraza López², Astrid Viviana Robles Sosa³, Lina Patricia Vega Garzón⁴

Tipo de Artículo: Investigación.

Recibido: 16/11/2022. **Aprobado:** 16/05/2023. **Publicado:** 22/12/2023

Resumen: El Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas (PNRSQ), ubicado en Colombia, es un área protegida con conflictos respecto al cambio de su cobertura de bosques. Este ecosistema, el último relicto del bosque tropical húmedo del Magdalena Medio, ha seguido un patrón de deforestación continua, alcanzando una pérdida del 80% de los bosques nativos. El ecoturismo permite la interacción con la naturaleza, mediante la vivencia de experiencias basadas en la tradición y autenticidad, y se presenta en esta investigación

como una posibilidad para frenar el deterioro ambiental que se presenta en este parque y en su zona de amortiguamiento. Por su parte la realidad aumentada (RA) es una herramienta que permite a los usuarios interactuar con la realidad, incluyendo información como imágenes y contenidos audiovisuales en dispositivos electrónicos. En esta investigación se hizo una revisión de la literatura sobre la realidad aumentada y su aplicación al ecoturismo en esta región, y se propuso una aplicación basada en las potencialidades para

- 1 Autor correspondiente: María Alejandra Espitia Torres. Título: Ingeniera Ambiental. Filiación institucional: Universidad Santo Tomás seccional Tunja. País: Colombia, Ciudad: Tunja. Correo electrónico: alejandrespitia305@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0451-5015>
- 2 Autor correspondiente: Andrés Fernando Pedraza López. Título: Ingeniero Ambiental. Filiación institucional: Universidad Santo Tomás seccional Tunja. País: Colombia, Ciudad: Tunja. Correo electrónico: ingandresfernandopedrazalopez@gmai.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4813-859X>
- 3 Autor correspondiente: Astrid Viviana Robles Sosa. Título: Ingeniera Ambiental. Filiación institucional: Universidad Santo Tomás seccional Tunja. País: Colombia, Ciudad: Tunja. Correo electrónico: astrid.robles@usantoto.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8961-6770>
- 4 Autor correspondiente: Lina Patricia Vega Garzón. Título: Ing. Química. PhD en Ingeniería Ambiental. Filiación institucional: Universidad Santo Tomás seccional Tunja. País: Colombia, Ciudad: Tunja. Correo electrónico: lina.vegag@usantoto.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5184-5383>

el ecoturismo identificada en distintos estudios y visitas de campo. Con base en el análisis de la información encontrada se hizo una propuesta para la implementación de un mariposario donde el turista deberá seguir una ruta específica, la cual incluye la RA basada en marcadores, gracias a la implementación de las herramientas Unity y Vuforia, con lo que se puede promover un mayor interés por conocer esta región con gran diversidad biológica y con potencialidad adicional para los mercados verdes derivados de la biodiversidad.

Palabras clave: Realidad aumentada; ecoturismo; turismo rural; mariposario.

Abstract. The Serranía de Las Quinchas Regional Natural Park (PNRSQ), located in Colombia, is a protected area with conflicts regarding the change of its forest cover. This ecosystem, the last remnant of the humid tropical forest of Magdalena Medio, has followed a pattern of continuous deforestation, reaching a loss of 80% of native forests. Ecotourism allows interaction with nature, through experiences based on tradition and authenticity, and is presented in this research as a possibility to stop the environmental deterioration that occurs in this park and its buffer zone. BY the other hand, augmented reality (AR) is a tool that allows users to interact with reality, including information such as images and audiovisual content on electronic devices. In this research, a review of the literature on augmented reality and its application to ecotourism in this region was made, and an application based on the potential for ecotourism identified in different studies and field visits was proposed. Based on the analysis of the information found, a proposal was made for the implementation of a butterfly farm where the tourist must follow a specific route which includes AR based on markers thanks to the implementation of the Unity and Vuforia tools, which can promote greater interest in knowing this region with great biological diversity and with additional potential for green markets derived from biodiversity.

Keywords: Augmented reality; ecotourism; rural tourism; butterfly farm.

I. Introducción

Una de las tecnologías emergentes que actualmente se está implementando en el sector del turismo es la realidad aumentada (RA). Esta permite combinar elementos virtuales con componentes de la realidad que interactúan en tiempo real, los cuales se pueden visualizar por medio de dispositivos móviles [1].

La RA representa un mecanismo diferenciador e innovador en el sector turístico, puesto que permite mejorar los procesos de calidad y excelencia en dichos destinos turísticos [2]. Según Fernández Alles y Cuadrado Marqués [3] la RA es una herramienta de comunicación relevante y eficaz porque permite conocer los recursos turísticos propios del lugar, y por esto se ha utilizado en el turismo cultural y, con el paso del tiempo, se ha convertido en un factor generador de valor añadido en el sector, ya que su fin está encaminado a proporcionar información acerca del patrimonio histórico y cultural de un destino turístico.

La RA es una oportunidad de evolucionar la experiencia de ecoturismo, permitiendo que los interesados tengan experiencias completas y de fácil acceso, donde el objetivo es incrementar el conocimiento del sitio turístico [4]. La oportunidad de aplicar tecnologías de fácil uso y acceso, permite tener, como alternativas, herramientas tecnológicas que, en la actualidad, tienen auge por su papel en el desarrollo de los distintos sectores, incluido el turismo, teniendo en cuenta que permiten tener una relación directa con el conocimiento y los elementos de la naturaleza, de los cuales no se posee una accesibilidad con un propósito sustentable y sostenible [5].

El ecoturismo ofrece al público la oportunidad de interactuar con la naturaleza, generando experiencias que se basen en la tradición y autenticidad. De esta manera, la RA debe tener elementos que permitan tener una correlación

directa con el destino turístico. Es así como una de las experiencias pioneras en la aplicación de la realidad aumentada en el ecoturismo es la de las aplicaciones móviles que se encuentra en la categoría de guía de destino. Esta tiene como enfoque un contexto interactivo la cual permite conocer sobre temas relacionados con los recursos históricos, los recursos naturales, y las especies de flora y fauna de la zona [6].

Por otro lado, se plantea el ecoturismo como una oportunidad para dar solución sostenible a la problemática presente en La Serranía de las Quinchas, debido a que esta representa para Colombia un territorio clave por albergar ecosistemas biodiversos, por su gran aporte de servicios ecosistémicos y por sus características sociales, ya que es el último relictos de selva húmeda tropical del Magdalena Medio en el departamento de Boyacá. Este territorio se caracteriza por una sociedad cuyas actividades económicas se basan en la minería, la ganadería y la agricultura, trayendo como problemática la deforestación de casi el 80% del bosque primario [7].

La continuación de este tipo de actividades productivas que incentivan el comercio e ingresos a la población provocaría un mayor deterioro del ambiente, así como de igual forma generaría consecuencias económicas y sociales debido a que la disminución de los servicios ecosistémicos que ofrece el ecosistema intervenido, como la biodiversidad, la fauna, la flora, la provisión de agua y la disponibilidad de suelos fértiles, entre otros. Esto provocaría un aumento en problemáticas relacionadas con la disponibilidad y acceso de los recursos naturales, conflicto del suelo, generando un retroceso inminente al desarrollo de social posterior a acuerdos de paz [7].

Por esta razón, es indispensable estructurar nuevas actividades productivas en relación a la Serranía de las Quinchas, con el propósito de

tener una transición de una economía extractiva a sistemas productivos sostenibles y sustentables. Teniendo como ventaja que la Serranía de las Quinchas posee una belleza natural, de esta manera se buscaría aprovechar el turismo que se responsabilice del buen cuidado del ecosistema ofreciendo una fuente de desarrollo e ingresos acorde a las necesidades económicas y sociales sin olvidar aspectos ambientales de la región [7].

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación es formular una propuesta de mariposario haciendo uso de la realidad aumentada como fomento para el ecoturismo en el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas y que sirva de base para su aplicación en otras zonas de preservación vulnerables en el país y en el mundo.

El siguiente artículo está estructurado de la siguiente manera. La sección 2 compuesta por el marco teórico y conceptos como: realidad aumentada, tipos de realidad aumentada, su aplicación en el turismo y la descripción de la zona de estudio. En la sección 3 se identifican y mencionan los objetivos desde la investigación hasta el planteamiento de una propuesta de aplicación de la realidad aumentada en el ecoturismo. En la sección 4 se describe la metodología de cómo se llevó a cabo la recopilación de información y su organización para, posteriormente, fundamentar y plasmar una propuesta ecoturística de un mariposario implementando la RA en el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas. En la sección 5, con relación a los resultados se describe minuciosamente cómo se aplica la realidad aumentada en un mariposario, incluyendo, desde las ventajas de la aplicación de esta tecnología, hasta los factores a tener en cuenta para su aplicación. Por último, en la sección 6 se tienen las conclusiones fundamentadas desde la importancia, los aspectos favorables y aspectos por mejorar de la investigación.

II. Marco conceptual y planteamiento del problema

II.1. ¿Qué es la realidad aumentada?

En el transcurso de estas últimas dos décadas se han puesto en auge las líneas de investigación que incluyen la integración de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en las diversas actividades de la sociedad; una de las tecnologías más relevantes y con mayor vigor en la actualidad es la RA por su aspecto innovador. Azuma [8] y Lazzarini [9] la definen como una tecnología que combina elementos virtuales con elementos de la realidad que interactúan en tiempo real, conduciendo, de esta manera, a la superposición de imágenes y/o contenidos audiovisuales. Gracias a la utilización de instrumentos tecnológicos, le permite al usuario interactuar y disfrutar contenido de información aumentada, en el que se pueden encontrar imágenes, modelos 3D, vídeos y audio, entre otros [10].

Esta tecnología actualmente es implementada en diferentes sectores, ya que permite establecer diversas estrategias para mejorar la experiencia de los consumidores y, además, da paso a la optimización de los procesos y a que los sectores productivos y de servicios le apuesten cada vez más a la innovación. Las áreas que más hacen uso de la RA son la educación, la arquitectura, la medicina, el marketing y el sector turístico [11].

III.2. ¿Cuáles son los tipos de RA?

Según Herrera [12] "Se pueden distinguir distintos tipos dependiendo del modo en que se integran las esferas virtual y real". Estas son:

III.2.1. Realidad aumentada basada en imágenes o marcadores:

Los marcadores son la pieza gráfica clave para su ejecución; estos son ligeros, permitiendo aplacar el trabajo y proceso al sistema [13]. Estos incorporan elementos de captura (Tablet, gafas de RA o celulares) y elementos de proyección.

Los cuales requieren de una pantalla para plasmar la información. Adicionalmente, se requiere de elementos de proceso a través de un programa de Software o por una aplicación que ejecute la información entregada por el marcador, y se necesita de un activador que impulse el funcionamiento de la aplicación que permita obtener el resultado final (códigos QR, objetos, imágenes) [11].

En el caso del empleo de los códigos QR, su lectura se realiza mediante el uso de la cámara del teléfono móvil, pero el impedimento que registra direcciona al usuario a una página web. Además, existen marcadores de varios tipos que son: Objetos-Marcadores 3D, Objetos-Imágenes en contextos reales y reconocimiento facial [12]. Según Kapoor Ghufra, Gupta y Agarwal [14] "los sistemas de captura basados en marcadores son bastante populares debido a su eficiencia y precisión, pero son muy costosos, requieren configuración de laboratorio y restringen el movimiento del actor".

III.2.2. Realidad aumentada basada en geolocalización:

La geolocalización permite asignar coordenadas geográficas a diversos elementos gracias a la ayuda de herramientas informáticas [15]. Existen diversas aplicaciones interactivas las cuales le brindan al usuario la posibilidad de ubicar e incorporar información que se encuentre disponible alrededor de los puntos de interés. Para que esta funcione, se debe usar el hardware de geolocalización del teléfono móvil, el cual está integrado por el acelerómetro, el GPS el cual establece la posición puntual y la brújula determina la dirección en la que se está mirando, además incorpora los elementos de captura, de proyección y de proceso [11]. Actualmente, para la edición de contenidos se utiliza Layar, la cual es una de las herramientas que usa técnicas apoyadas en realidad aumentada; esta hace uso de los elementos anteriormente mencionados y junto a la conexión permanente a Internet genera capas de información acerca del entorno real [13].

Por otro lado, gracias a la información proporcionada por el GPS, se pueden obtener diferentes tipos de sistemas con base a la posición que averigua el dispositivo, los cuales son [12]:

- Points of interest (POIs): Con coordenadas que establecen el punto en el cual se registra la información que se quiere enfatizar.
- Optical see-through (OST): Por medio de una pantalla transparente se efectúa la superposición, y se desempeña la operación sobre la visión del usuario.
- Video see-through (VST): El dispositivo captura el video en tiempo real y combina lo real y lo virtual, exponiendo únicamente la imagen virtual en el dispositivo móvil [16], [17].

II.2.3. Realidad aumentada basada en proyección:

Radica en proyectar la escena virtual sobre el ambiente real, utilizando diversos tipos de generación de luz, con el fin de transformar las superficies de forma no invasiva para implantar la información visual que se quiere proyectar y permitiendo, de esta manera, que se presente una interacción con el hombre [12], [13], [18]. Esta herramienta en la actualidad se implementa en publicidad, arte contemporáneo, arquitectura, ingeniería, espectáculo y restauración [16].

Para este caso, existen los sistemas de proyección tradicionales, cuya fuente luminosa es una lámpara, los cuales permiten proyectar información como figuras geométricas, fotos, videos, información textual, etc. Adicionalmente, son económicos, pero no es posible utilizarlos en espacios muy iluminados y los elementos que determinan la precisión del sistema son la calidad del lente y la resolución del dispositivo [17].

Por otra parte, se encuentran los proyectores que implementan fuentes de luz láser, los cuales se caracterizan por su buen contraste y precisión; permitiendo que se visualice de una mejor manera los detalles que conforman la imagen como lo son las líneas, puntos, formas o los textos. Sin embargo,

la frecuencia de proyección no es suficiente cuando se quiere plasmar mucha información al mismo tiempo [17].

Realidad aumentada superpuesta: En los dispositivos móviles la cámara muestra las imágenes capturadas sobre las que se superpone la información en tiempo real; generalmente, para este proceso se usan marcadores que cumplen con el objetivo de descubrir los objetos virtuales en el ambiente real, permitiendo así sustituir la observación de un objeto con una nueva y mejorada versión de este o proporcionando otro tipo de información. Pero este sistema presenta inconvenientes a causa de la velocidad de actualización y, en ocasiones, se registra la pixelación de las imágenes [12], [17].

II.3. La RA aplicada en el turismo

La (RA) en el turismo tiene una ventaja importante debido a su facilidad de acceso, ya que la herramienta a utilizar son los dispositivos móviles o smartphones. Puntualmente, el mayor número de proyectos en los cuales la RA tiene un impacto considerable, donde se encuentra que el turismo está orientado al patrimonio, se aplica a la animación de modelos 3D de monumentos, de edificios y de infraestructura [18]. También, hay proyectos orientados "al guiado", permitiendo orientar al turista por un sin número de recorridos que pueden introducir al usuario en aspectos que le permitan interactuar con los distintos componentes de una ciudad e indicar los sitios más relevantes y de gran interés [19].

Partiendo de que la herramienta tecnológica más accesible para la población son los teléfonos inteligentes, se debe tener en cuenta que, para que hagan parte de una experiencia en el turismo, deben tener componentes fundamentales como la cámara, conexión a una red de internet y GPS que le permita tener monitoreo de la ubicación en tiempo real. Esto genera un filtro sobre la realidad aumentada disponible, cambiando el modo de visualización. Adicionalmente, se encuentra la posibilidad de generar videos o imágenes a partir de un modelo 3D y, viceversa, se pueden reconocer objetos o componentes

del lugar por medio de fotos captadas desde un celular móvil, adquiriendo información de interés [15]. Esto posibilita la inclusión de información y contenidos multimedia de calidad en un ámbito realista, promoviendo el turismo y experiencias que enriquecen el conocimiento del usuario [20].

II.4. Descripción general de la zona de estudio

El Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas fue declarado parque en el Acuerdo 028 del 2008, por la Corporación Autónoma de Boyacá. Este parque está ubicado en las estribaciones de la cordillera Oriental de los Andes, entre los municipios de Puerto Boyacá y Otanche en Boyacá, Bolívar en Santander y Yacopí en Cundinamarca, contando con un área de 21.226 Ha, donde se reconoce que está comprendida por biomas de selva subandina y selva basal o inferior (bosques higrofiticos) en buen estado. Esta área se reconoce como lugar estratégico para la conservación de la biodiversidad del Magdalena Medio, el cual es único relicto de selva tropical del Departamento y también como sostenimiento de los servicios ecosistémicos [21].

Como lo señala el documento "Plan de Manejo Para la Serranía de las Quinchas", las estaciones ubicadas en los municipios de puerto Boyacá y Otanche, cercanas al parque, dan una lectura de temperatura media mensual promedio de 28 °C para 12 años y, en el caso de la estación de Otanche, de 22.3 °C para 16 años. En cuanto a las precipitaciones anuales se registra 2.100 mm y 3.246 mm, respectivamente. Por lo que corresponde a su relieve, la Serranía de las Quinchas se caracteriza por poseer pendientes fuertes y abruptas.

De acuerdo con las características ambientales que posee la Serranía de las Quinchas, es el lugar estratégico y propicio en donde se desarrolla la vida de diferentes especies endémicas de mamíferos, anfibios, reptiles y plantas. Resaltando que este lugar es refugio también de especies que están en peligro de extinción como como el Paujil Pico Azul y el Mono Araña [7].

II.5. Planteamiento del problema

Debido a las diversas actividades antrópicas que se presentan para generar recursos económicos, se crean diferentes impactos negativos en el ambiente, los cuales afectan los ciclos naturales de la tierra y, provocando, de esta manera, cambios en las composiciones fisicoquímicas de esta, perjudicando la capacidad auto depurativa de los diferentes procesos biológicos que tienen lugar en los ecosistemas [22]. Por ello, es necesario implementar diversas alternativas para minimizar estos impactos, las cuales permitan originar recursos económicos para la población sin afectar de manera significativa el ecosistema que se está aprovechando.

La Serranía de las Quinchas representa para Colombia un territorio clave por albergar ecosistemas biodiversos, por su gran aporte de servicios ecosistémicos y por sus características sociales, ya que es el último relicto de selva húmeda tropical del Magdalena Medio en el departamento de Boyacá. Este territorio se caracteriza por una sociedad cuyas actividades económicas se basan en la explotación forestal, la minería, la ganadería y la agricultura, trayendo como problemática la deforestación de casi el 80% del bosque primario [7].

La actividad forestal es la principal problemática ambiental que se presenta en la zona, debido a que una gran parte de la población obtiene su sustento de la venta de piezas de madera aserrada del bosque; esta práctica se registra desde hace más de 10 años en la zona. Por otro lado, la agricultura se registra en una menor proporción en el lugar de estudio, a causa de que la producción es de auto consumo y no existe variedad de bienes. Los productos cultivados con más frecuencia son el plátano, la yuca y los pastos, y los de menor frecuencia son el cacao, café, caña, maíz, aguacate y cachipay, entre otros. En el lugar se evidencian las malas prácticas de manejo de suelos y la ausencia de cultivos consolidados [21], [23].

Otra de las actividades que posee una gran importancia económica en el área es la ganadería

extensiva de engorde; esta genera un significativo deterioro del suelo por erosión, debido al sobrepastoreo y a un inadecuado manejo de los potreros. La minería también se lleva a cabo en la zona generando una degradación ambiental significativa en la Serranía de las Quinchas. Dicho lo anterior, se evidencia que la economía de la Serranía de las Quinchas y el área de influencia está establecida en la explotación de los recursos naturales, presentes en esta zona de gran importancia ambiental [21].

Si se continúa con este tipo de actividades productivas como entrada de ingresos de la población, no solo existirá una mayor degradación ambiental, sino también traerá consecuencias sociales y económicas, debido a que se reducirían notablemente los servicios ecosistémicos del bosque. Estos incluyen la provisión de agua, de suelos fértiles y de biodiversidad de fauna y flora. Con ello se potenciarían las problemáticas relacionadas con los conflictos de suelo, el acceso de recursos naturales, posibilitando así el retroceso de los esfuerzos en el tejido social después del acuerdo regional de paz de 1990 [7].

Es por esto que es indispensable replantear las actividades productivas en torno a la Serranía de las Quinchas, con la finalidad de pasar de una economía sustancialmente extractiva a programas productivos económicamente sostenibles. Teniendo en cuenta que la Serranía de las Quinchas es reconocida por su belleza natural, se deben enfocar los esfuerzos en buscar e implementar modelos de turismo que tengan en cuenta la vulnerabilidad del ecosistema y, así, ofrecer mejores fuentes de ingresos acorde a las necesidades sociales, económicas y ambientales del sector [7].

III. Objetivos

Objetivo General

Formular una propuesta de mariposario haciendo uso de la realidad aumentada como fomento para el ecoturismo en el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas.

Objetivos Específicos

- Revisar y analizar la literatura sobre RA aplicada al turismo para la identificación de los componentes clave en pro de su aplicación en un mariposario.
- Plantear una propuesta ecoturística de un mariposario implementando la RA en el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas, teniendo en cuenta las condiciones propias de la zona de estudio.

IV. Materiales y Métodos

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en tres etapas. Como primera medida, se realizó la búsqueda de información relacionada con los componentes clave que integran la realidad aumentada aplicada en el turismo; dicha información se extrajo de revistas de divulgación y de investigación científica. En la segunda etapa se organizó de manera sistemática la información recopilada y, posteriormente, se procedió a efectuar su respectivo análisis; finalmente, se planteó la propuesta ecoturística de un mariposario con la implementación de la realidad aumentada, teniendo en cuenta las características propias del Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas, ubicado en el municipio de Otanche y los factores clave de la RA.

V. Resultados

V.1. Componentes clave de la RA en el turismo (ventajas, desventajas y limitaciones)

En el análisis de la bibliografía se determinaron algunos de los beneficios y desventajas o limitaciones que aportan los autores en cada investigación sobre la implementación de la realidad aumentada en el turismo. Los beneficios y ventajas que más sobresalen en las investigaciones son:

- La realidad aumentada tiene un impacto positivo en el sector turístico, al facilitar información en tiempo real a los turistas de manera simple y eficaz. De igual manera, la RA le da un valor agregado en la actividad turística, al incluir información y contenidos de multimedia en cuanto al entorno; se le aportará al turista una experiencia enriquecedora [20], [24], [25].
- Lo especial de la realidad aumentada es que brinda al turista información multifacética sobre el lugar y al mismo tiempo mejora el atractivo de un sitio turístico en las diferentes escalas [26].
- La utilización de la RA permite el surgimiento de nuevas funcionalidades, aportando innovación, debido a que se pueden incorporar rutas alternativas que sean demandadas por los diferentes intereses de los clientes. Dando paso a la transformación de los sistemas de guía e información independiente [3], [13], [27], [28].
- La RA satisface las necesidades del visitante y permite el ajuste de información, cumpliendo los requerimientos del mercado de cualquier tipo, sea cual sea el nivel cultural, las nacionalidades, edad, entre otros.
- Las aplicaciones de la RA pueden adaptarse con facilidad y rapidez a las transformaciones del entorno, un ejemplo de ello es que el aplicativo puede configurarse para que el turista descargue las rutas de cada paseo de manera preliminar, con la finalidad de acceder a ello sin conexión a internet, beneficiando a los turistas.
- El aplicativo que se basa en RA no genera ningún tipo de impacto visual sobre el área turística para el desarrollo de las rutas, puesto que la información visual es la que brinda el aplicativo y el soporte de todo. En conclusión, la RA ofrece un formato limpio y sin ningún tipo de impacto visual sobre el área.
- En la investigación realizada por Serravalle, Ferraris, Vrontis, Thrassou y Christofi [29], se indica que, gracias a la aplicación de la realidad aumentada, se incrementó el número de participantes que participaron de la experiencia en los museos. Igualmente, los autores resaltan que la utilización de esta tecnología puede generar compromiso por parte de los interesados, al incrementar el valor de la co-creación de contenidos.

No obstante, la integración de la RA en los entornos rurales y los recursos naturales en su mayoría han quedado a un lado. A comparación de las investigaciones relacionadas con el uso de realidad virtual para la promoción de los sitios naturales [24]. Por otro lado, las barreras más representativas a la hora de la integración de este tipo de tecnologías al sector turísticos son [18]:

- En primera medida, los autores indican que la conectividad y la acogida de la RA sería una de las primeras barreras con las que se encontraría. No obstante, no son grandes limitaciones, puesto que la restricción que está bajo esto es más hacia el desconocimiento de los beneficios y las posibilidades de dicha tecnología y a la apreciación de riesgo tecnológico que aún subyace tras la misma.
- El financiamiento no es una barrera como tal, sino la creación de contenido de alta calidad que responda a las necesidades de los visitantes.
- Actualmente, se han generado incógnitas sobre la capacidad tecnológica de las empresas turísticas del medio rural, debido a que el turismo natural rural tradicional tiene menor formación y la integración de este tipo de tecnología es muy atípica. Esto se debe

al desconocimiento de las oportunidades y beneficios de la RA como valor agregado de innovación en el sector turístico rural.

V.2. Propuesta ecoturística de un mariposario implementando la RA en el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas

En el municipio de Otanche se están impulsando los proyectos productivos sostenibles que promueven la restauración y conservación de la Serranía de las Quinchas. Una de estas prácticas es la zootría de mariposas, debido a que actualmente la comunidad se beneficia de la venta de pupas a la empresa Zoonatura, la cual la comercializa en el país y en el exterior. La zootría tiene en cuenta la vulnerabilidad del ecosistema y la generación de ingresos económicos a las personas que se dedican a esta labor en la zona [7], [30].

Es por esto que se propone el diseño de un mariposario aplicando la RA, proporcionándole un valor agregado a este: su diseño está dividido en módulos que están delimitados y distribuidos en 4 secciones:

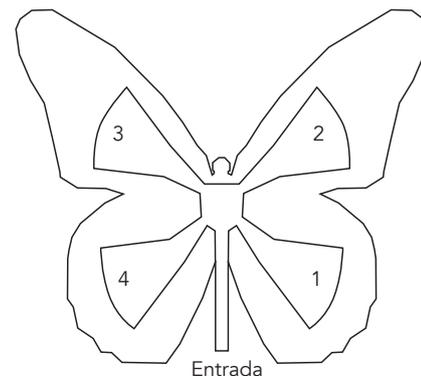
- Módulo de Introducción: Este módulo tiene como propósito suministrar información al visitante, teniendo en cuenta datos de relevancia como es historia del mariposario, las especies que se encuentran y su población. Adicionalmente, se pueden llegar a encontrar la especie Monarca (*Danaus plexippus*) de la cual se basa el diseño y forma de la infraestructura, no menos importante, se identifica la especie vegetal *Asclepias*, la cual es fundamental para el buen desarrollo de esta especie de mariposas.
- Módulo de Reproducción: Para este módulo, la especie de mariposa de interés será la Mariposa de Muzo (*Morpho cypris*), acompañada por la especie vegetal pata de vaca (*Bauhinia forficata*). Este módulo se caracteriza por tener un acceso controlado a los visitantes para visualizar cómo es el comportamiento de las mariposas en un estado de apareamiento y estado de larva.

- Módulo Metamorfosis: Para este módulo la especie que se dispondrá será la especie Búho (*Caligo eurilochus*) acompañada con la planta *Heliconia sp.* Este módulo tiene como propósito mostrar a los visitantes las tres etapas de la metamorfosis de la mariposa (larva, pupa y mariposa adulta).

- Módulo de socialización: Por último, en el módulo de socialización se encontrarán todas las mariposas (*Lepidópteros*) y plantas hospedadoras anteriormente mencionadas en los tres módulos; además, se evaluarán los conocimientos adquiridos en el recorrido.

A continuación, se muestra un esquema general del diseño del mariposario:

Figura 1. Esquema del mariposario



1. Módulo de Introducción
2. Módulo de Reproducción
3. Módulo de Metamorfosis
4. Módulo de Socialización

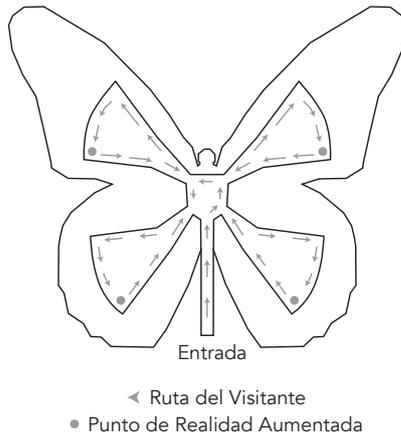
Nota: Fuente elaboración Propia (2021).

Ruta:

La ruta que seguirá el turista en el mariposario empezará desde el módulo 1 al 3 que corresponde a la fase de reconocimiento de información. Una vez terminado el recorrido por estos módulos, la persona continuará con la segunda fase, la cual es la evaluación de los conocimientos adquiridos por medio de la aplicación de RA; este estará

ubicado en el módulo de socialización, como se evidencia en la figura 2.

Figura 2. Ruta

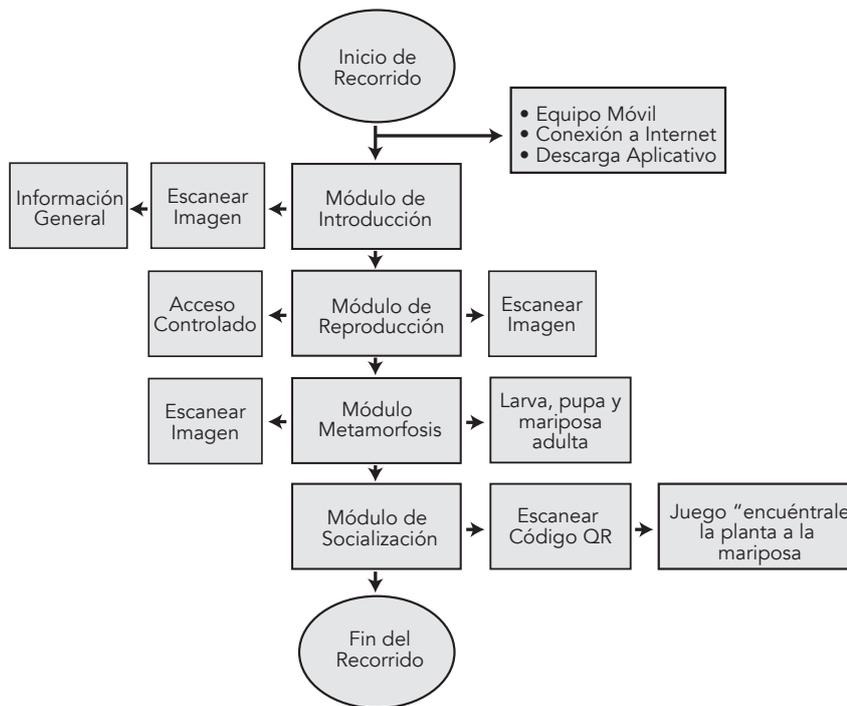


Nota: Fuente Elaboración Propia (2021).

En cada módulo el turista virtual se encontrará con una imagen o marcador, los que serán leídos por el aplicativo, permitiendo, de esta manera, visualizar los *Lepidópteros* en 3D junto con la información relacionada a la especie correspondiente al módulo (como su rol polinizador, su relación con las plantas hospedadoras y su importancia en el medio en el que habita). Esto se llevará a cabo a partir de la tecnología de Realidad Aumentada basada en marcadores, gracias a la implementación de las herramientas Unity y Vuforia (Ver Figura 3).

Así mismo, el módulo de socialización contará con código QR para la activación del juego "encuéntrele la planta a la mariposa" en el aplicativo. En dicho juego, el turista deberá escanear las imágenes de las plantas hospedadoras, para, posteriormente, relacionarlas con los marcadores de las mariposas, con el objetivo de reconocer de forma correcta la relación existente entre Planta-mariposa (Ver Figura 3).

Figura 3. Diagrama explicativo del recorrido en el mariposario con RA



Nota: Fuente elaboración Propia (2021).

La anterior propuesta se desarrolló de tal manera que, sirviera no solo en el apoyo de la interacción del turista y su entorno, sino también en el fortalecimiento de los conceptos fundamentales que se deben tener en cuenta para comprender la importancia de la *Lepidóptera* en los ecosistemas, obteniendo así, una herramienta educativa. En la figura 4 se observa la interfaz del programa Vuforia y el marcador el cual es el activador que impulsa el funcionamiento de la aplicación que permite tener el resultado final (Ver Figura 5).

Figura 4. Interfaz del programa Vuforia



Nota: Fuente elaboración Propia (2021).

Figura 5. Representación del resultado final



Nota: Fuente elaboración Propia (2021).

V.2.1. Líneas de acción para asegurar el éxito del proyecto

Para combatir las barreras y limitantes de la RA aplicada en el turismo rural se propone lo siguiente:

- En cuanto a la restricción de conectividad y la asequibilidad de equipos idóneos para la utilización de la RA, se plantea que el mariposario deberá contar con una cobertura de internet apropiada y la obtención de equipos adecuados para el uso del aplicativo dentro del establecimiento, con la finalidad de brindar al turista la seguridad de disfrutar una experiencia única.

- Capacitar a la comunidad interesada en la ejecución de la propuesta ecoturística sobre las oportunidades y beneficios que puede aportar la realidad aumentada en el turismo rural, con la finalidad de facilitar la acogida y el éxito del proyecto.
- Para obtener contenidos de alta calidad que se ajusten a los intereses y necesidades de los clientes, la aplicación va a estar sujeta a las recomendaciones hechas por los turistas, a partir de la toma de encuestas de mejoramiento de la aplicación, una vez se haya terminado el recorrido. Con el propósito de llevar a cabo un plan de acción para mejorar la calidad del aplicativo y los servicios ofrecidos.

VI. Conclusiones

La realidad aumentada aplicada al ecoturismo permite incluir una visión innovadora y que a la vez flexibiliza el atractivo turístico al incluir otras dimensiones en el objeto a ser estudiado, y la participación del turista en la construcción de nuevos contenidos. Dentro de las barreras encontradas para su implementación se encuentran la inversión, la acogida de estas nuevas tecnologías y la conectividad en zonas remotas,

como puede ser el caso del PNRSQ. La RA basada en imágenes o marcadores, geolocalización, y la basada en la proyección, son algunas de las que pueden aplicarse al ecoturismo, brindando experiencias enriquecedoras al espectador, que han demostrado su efectividad en la afluencia de los turistas a ciertos atractivos. En este caso, se realizó una propuesta de implementación de la RA a un mariposario virtual, dado que esta es una de las actividades más llamativas de la región y en la que muchos habitantes han basado parte de su generación de ingresos, pero que requiere una mayor visibilización e impulso para ser una alternativa generalizada de generación de ingresos, que ayude a la disminución de la degradación de los bosques por falta de alternativas productivas.

Esta propuesta se basó en varios módulos en los que el visitante por medio de marcadores ubicados en un mariposario real, podrán conocer más a fondo todo el proceso de crecimiento, anidación y alimentación de las mariposas en su entorno natural, con lo que se espera acercar al turista a la naturaleza, y a vivencias que difícilmente se pueden lograr mediante los recorridos realizados por la naturaleza de estas especies. Con esto se busca generar un atractivo, a la vez que se educa y sensibiliza sobre el valor de la biodiversidad de esta importante zona Hot Spot de biodiversidad del mundo.

VII Referencias

- [1] D. H. Goh, R. P. Ang, C. S. Lee y C. K. Lee, "Determining services for the mobile tourist", *Journal of Computer Information Systems*, vol. 51, n° 1, pp. 31-40, 2010.
- [2] J. L. Leiva, A. Guevara, C. Rossi y A. Aguayo, "Realidad aumentada y sistemas de recomendación grupales. Una nueva perspectiva en sistemas de destinos turísticos", *Estudios y Perspectivas en Turismo*, vol. 23, n° 1, pp. 40-59, 2014.
- [3] M. T. Fernández Alles y R. Cuadrado Marqués, "El impacto de las nuevas tecnologías en el sector turismo: Aplicación de la realidad aumentada al turismo cultural", *International journal of world of tourism*, vol. 1, n° 2, pp. 10-18, 2014.
- [4] N. López, E. Loredo y A. Sevilla, "Realidad aumentada en destinos turísticos rurales: oportunidades y barreras", *International Journal of Information Systems and Tourism (IJIST)*, pp. 25-33, 2019.
- [5] B. Lane y W. Kastenholz, "rural tourism: The evolution of practice and research approaches—towards a new generation concept", *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 23, n° 8-9, pp. 1133-1156, 2015.
- [6] Segittur, "Memoria 2016. Sociedad mercantil estatal para la Gestión de la Innovación y las Tecnologías Turísticas, Madrid. tom dieck, d.; tom dieck, m. c.; Jung, T.; moorhouse, n. (2018)", *Tourists' virtual reality adoption: an exploratory study from lake district national Park. leisure Studies*, vol. 37, n° 4, pp. 371-383, 2016.
- [7] Boyapaz, E3 y Redprodepaz, *Plan de Ambiente, Desarrollo y Paz de la Serranía de las Quinchas en Otanche Boyacá.*, Etenche: Alianza Quinchas, 2019. [Disponible en]: <https://e3asesorias.com/wp-content/uploads/2019/04/Plan-de-ambiente-Paz-y-Desarrollo-Las-Quinchas-Boyac%C3%A1-Versi%C3%B3n-2304.pdf>
- [8] R. Azuma, "A survey of augmented reality", *Presence-teleoperators and virtual environments*, vol. 6, n° 4, pp. 355-385, 1997. [En línea]. Disponible en: <https://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>
- [9] M. Lazzarini, "Realidad Aumentada (Parte 1)", *Mochila digital, Ministerio de Educación de Santa Fé*, 2017.
- [10] T. Olsson, T. Kärkkäinen, E. Lagerstam y L. Ventä-Olkkonen, "Evaluación de usuarios de escenarios de realidad aumentada móvil", *Revista de inteligencia ambiental y entornos inteligentes*, vol. 4, n° 1, pp. 29-47, 2012.
- [11] J. Otegui Castillo, "La realidad virtual y la realidad aumentada en el proceso de marketing", *Revista de Dirección y Administración de Empresas*, n° 24, pp. 155-229, 2017.
- [12] D. Herrena Arenas, "Realidad Aumentada en la planificación y gestión de destinos turísticos", *Documento académico, Universidad de Oviedo, Máster en Dirección y Planificación del Turismo*, 2018.
- [13] J. Leiva Olivencia, "Realidad Aumentada bajo Tecnología Móvil basada en el Contexto Aplicada a Destinos Turísticos", *Universidad de Málaga. Publicaciones y Divulgación Científica*, 2014.

- [14] P. Kapoor, U. Ghufuran, M. Gupta y A. Agarrwal, "Detección sin marcadores de objetos virtuales mediante realidad aumentada. En la Conferencia sobre Avances en Sistemas de Control y Comunicación", 2013.
- [15] M. Zoellner, J. Keil, T. Drevensek y H. Wuest, "Cultural Heritage Layers: Integrating Historic Media in Augmented Reality", *15th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, pp. 193-196, 2009.
- [16] R. Lara Osuna, "El aula como laboratorio de experimentación visual: Introduciendo nuevas visualidades en la formación inicial del profesorado a través de la Projection - Based Augmented Reality (Realidad Aumentada Basada en la Proyección)", *Tercio Creciente*, pp. 51-74, 2020.
- [17] R. Luque Berraquero, "Herramienta software de un proyector láser para aplicaciones de Realidad Aumentada en entornos industriales", Sevilla: Trabajo de Fin de Máster, Universidad de Sevilla, 2020.
- [18] J. L. Carol, "Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística", *Turitec 2012*, 2012.
- [19] J. L. Leiva, A. Guevara y C. Rossi, "Sistemas de recomendación para realidad aumentada en un sistema integral de gestión de destinos", *Revista de Análisis Turístico*, n° 14, pp. 69-81, 2012.
- [20] Z. Yovcheva, D. Buhalis y C. Gatzidis, "Overview of Smartphone Augmented Reality Applications for Tourism. e-Review of Tourism Research (eRTR)", pp. 63-66, 2012.
- [21] Corpoboyacá, "Plan de manejo para la serranía de las Quinchas y su área de influencia", 2022.
- [22] Y. A. Castro Ortegón, «Incidencia del Patrimonio Socio Ambiental en la Dinamización de la Economía local para la Sostenibilidad de la Zona de Amortiguación del Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas", 2022.
- [23] C. Altamar Giraldo, "Naturaleza y poder en la serranía de las Quinchas (Magdalena Medio- Colombia): discurso(s) en clave de la gobernanza ambiental", 2022.
- [24] D. Tom Dieck, M. Tom Dieck, T. Jung y N. C, "Tourists' virtual reality adoption: an exploratory study from lake district national Park", *leisure Studies*, pp. 371-383., 2018.
- [25] O. Bimber y R. Raskar, "Spatial Augmented Reality. Merging Real and Virtual Worlds", A. K. Peters, 2005.
- [26] T. Graziano y P. Donatella, "Cultural heritage, tourist attractiveness and augmented reality: insights from Italy", *Journal of Heritage Tourism*, pp. 666-679, 2020.
- [27] D. Imbert Bouchard, N. Llonch, C. Martin y E. Osácar, "Turismo cultural y apps. Un buen panorama de la situación actual", *HER&MUS*, pp. 44-54, 2013.
- [28] V. Belova, N. Belov y I. Gumeniuk, "Modern Technologies in Tourism as a Tool to Increase International Tourism Attractiveness and Sustainable Development of the Kaliningrad Region", *World Sustainability Series*, pp. 371-381, 2021.

- [29] F. Serravalle, A. Ferraris, D. Vrontis, A. Thrassou y M. Christofi, "Realidad aumentada en la industria del turismo: un análisis de los museos de múltiples partes interesadas", *Perspectivas de la gestión turística*, vol. 32, 2019.
- [30] Corporación Autónoma Regional de Boyacá, "Corpoboyaca.gov.vo", 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.corpoboyaca.gov.co/cronicas-de-corpoboyaca/las-mariposas-de-occidente-tienen-el-color-de-la-esperanza/>
- [31] S. Cawood y M. Fiala, "Realidad aumentada: A practicar guide", 2008.
- [32] J. Cieutat, "Quelques applications de la réalité augmentée : Nouveaux modes de traitement de l'information et de la communication Effets sur la perception, la cognition et l'action", *Université Paul Université Paul III*, 2013.
- [33] C. Hangry y P. Daehne, "Les enjeux de la réalité augmentée", *Haute École de Gestion de Genève (HEGGE)*, 2012.
- [34] M. S. Bernad Conde, "Nuevas tecnologías y difusión del turismo cultural: descubriendo a Goya con realidad aumentada", *Rotur, Revista de Ocio y Turismo*, vol. 14, n° 1, pp. 81-93, 2020.



Daniela Herrera Arbeláez, Edy Soralla Bedoya Ríos (2023).

Construcción de un modelo para predecir la morosidad de cartera. Cuaderno Activa, 15, 39-47.



Construcción de un modelo para predecir la morosidad de cartera

Building a model to predict portfolio delinquency

Daniela Herrera Arbeláez ¹, Edy Soralla Bedoya Ríos ²

Tipo de Artículo: Investigación.

Recibido: 23/11/2022 **Aprobado:** 14/07/2023 **Publicado:** 22/12/2023

Resumen: Existe una real e importante necesidad en el sistema financiero, principalmente en Colombia, de aplicar este tipo de modelos de predicción de morosidad, pues, si bien las entidades realizan una recolección de datos y existe una operación humana involucrada en el análisis de otorgamientos, hace falta una herramienta que permita tener una visión más profunda del análisis de los registros y una evaluación que permita tomar decisiones confiables. Si bien, siempre va a existir un riesgo y en muchas ocasiones la morosidad se va a presentar, es valioso poder reducir la misma con base en un modelo que realice una evaluación a priori. Adicional a la necesidad, se encuentra que existen diversas técnicas que suelen ser utilizadas para este tipo de modelos predictivos, tales como Regresión logística, redes neuronales, árboles de decisión. Las cuales contando con un conjunto de datos actualizados y verídicos arrojan resultados

muy confiables que contribuyen a buenas prácticas de manejo del sector financiero y una clasificación adecuada de los clientes, tanto nuevos como los existentes, que requieren un nuevo otorgamiento crediticio.

Palabras clave: Crédito; riesgo; mora; retraso.

Abstract: There is a real and important need in the financial system, mainly in Colombia, to apply this type of default prediction models, because although the bank companies collect data and there is a human operation involved in the analysis of credit granting a tool is needed that allows a deeper vision of the analysis of the records and an evaluation that allows reliable decisions to be made. Although there will always be a risk and on many times, a late payment will happen it is very important to be able to reduce it based on a model

1 Autor correspondiente: Daniela Herrera Arbeláez. Mayor título: Profesional en negocios internacionales. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: daniela.herrerabe@amigo.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9465-443X>

2 Autor correspondiente: Edy Soralla Bedoya Ríos. Mayor título: Profesional en administración de empresas. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: edy.bedoyari@amigo.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1263-5711>

that performs an a priori evaluation. In addition to the need, it is found that there are several techniques that are usually used for this type of predictive models such as logistic regression, neural networks, decision trees, which, having a set of updated and true data, give very reliable results that help to good management practices in the financial sector and a good classification of both new and existing clients that require a new credit granting.

Keywords: Credit; risk; default; delay.

I. Introducción

La falta de conocimiento detallado que presenta la entidad de servicios financieros acerca del nivel de riesgo que existe al momento del otorgamiento de crédito y desconocimiento de la probabilidad de que sus deudores falten en el pago de sus cuotas. La necesidad de establecer un modelo que permita conocer este nivel de riesgo y, así mismo, poder realizar un cuidado riguroso a su flujo de caja y manejo de cartera.

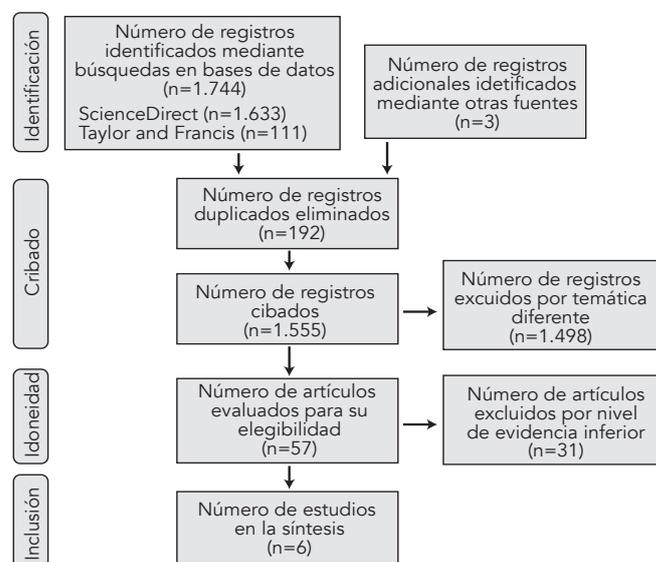
Conocer el comportamiento de pago de los deudores en el mercado financiero e identificar las

principales causas que inciden en el incumplimiento de los pagos. Adicionalmente, conocer cómo se ha empleado el *big data* y *machine learning* y qué técnicas se han utilizado para predecir la morosidad de cartera.

II. Métodos

Identificar el problema de negocio y definir conceptos o términos técnicos requeridos para el entendimiento de la investigación. Para iniciar la revisión sistemática de literatura, definir palabras clave y cadenas o ecuaciones de búsqueda con operadores booleanos, definir bases de datos que se emplearán para realizar la búsqueda, almacenar las fechas del período de búsqueda y el total de artículos encontrados por cada ecuación de búsqueda, proceder con la selección de artículos almacenando criterios de inclusión y exclusión para realizar flujograma prisma y plasmar los resultados del proceso de selección. Posteriormente, realizar análisis de los artículos seleccionados para discusión y conclusión de cada una de las preguntas de investigación planteadas y conclusión general. Para finalizar, la bibliografía debidamente referenciada con las normas IEEE.

Figura 1. Flujo Prisma



Nota: Fuente elaboración propia [1].

III. Resultados

La recolección y tratamiento adecuado de los datos es una herramienta muy valiosa hoy en día, la cual no es indiferente en el momento de los estudios de crédito, pues esta se puede encontrar directamente relacionada con la calidad de las carteras de créditos bancarios. Estimar correctamente los riesgos y contar con información altamente inequívoca es de vital importancia, previo al otorgamiento de un crédito [1].

No solo es importante conocer los factores que inciden en la morosidad, sino que las entidades financieras conozcan y entiendan la importancia que tiene el predecir el riesgo de la misma, pues el desconocer esta información puede ocasionar un deterioro en su capital y el de sus accionistas, tanto como una afectación a su imagen, pues podrían hacerse ver en el mercado como una entidad negligente, si su valor decrece a causa de las pérdidas excesivas generadas por las moras de sus prestatarios [2].

Los burós de crédito, son instituciones que almacenan y entregan información sobre el comportamiento crediticio de los deudores. El intercambio de información entre las entidades de servicios financieros y los burós de crédito, motiva a los deudores a realizar el pago oportuno de sus obligaciones financieras, con el fin de evitar ser incluidos en las listas negras de los registros [3].

El modelo de calificación crediticia estima un puntaje crediticio haciendo uso del hábito de pagos, deuda vigente y plazo, tipos de crédito otorgados, información demográfica y de comportamiento. Posterior a la estimación de puntuaciones de riesgo crediticio, se procede a comparar con otros valores preestablecidos y se ubican en grupos de acuerdo con el nivel de riesgo, para los grupos de mayor riesgo es posible que se les niegue nuevos créditos o que se realice un estudio de crédito mucho más detallado [4].

Las pérdidas económicas que generan el incumplimiento en los pagos de los créditos, dependen, en gran medida, de la gestión de las entidades de servicios financieros, teniendo en cuenta aspectos como el grado de cobertura de la tasa de interés, la provisión y el estudio cuidadoso para el otorgamiento del crédito [5].

De acuerdo con estudio realizado a una muestra de estudiantes universitarios chilenos, se identifica que los principales factores que influyen en el endeudamiento de los jóvenes, son el consumismo, la baja capacidad de postergar la gratificación, la edad, el desconocimiento en temas financieros y la educación. Por otra parte, se encuentran diferencias de género, siendo los hombres quienes muestran mayor actitud favorable hacia la deuda [6].

Hace algunos años, la administración del riesgo crediticio se realizaba solo con la experiencia del analista de crédito. Ahora, existen múltiples métodos para predecir la probabilidad de incumplimiento; entre estos están los modelos de *scoring*, que clasifican a los solicitantes por nivel de riesgo con base a la información suministrada en la solicitud del crédito y el comportamiento histórico de pagos [7].

El efecto “manada del consumidor” también se traduce en un riesgo de incumplimiento de pago de parte de los deudores; en este fenómeno los consumidores lo que hacen es imitar a otros por razones de seguridad financiera, es decir, seguir a la multitud, generando así morosidades al sistema financiero, dado a una falta de pago generalizada. Para predecir este tipo de riesgo se debe revisar realizar una regresión de riesgos reales; este es un análisis diferente, pues está más basado en las condiciones generales del mercado, pero, al tenerlo en cuenta, las entidades pueden predecir el riesgo de incumplimiento en las transacciones de crédito [8].

Está demostrado que las entidades financieras capaces de realizar una evaluación de crédito adecuada tienen un menor riesgo de presentar pérdidas en caso de una crisis financiera ocasionada por morosidad en carteras; esto, por lo general, pueden realizarlo las entidades de mayor tamaño que invierten recursos para este análisis, quedando así en un nivel de riesgo mayor las entidades que realizan una evaluación crediticia inadecuada [9].

Existen múltiples motivos por los cuales los clientes pueden faltar en sus pagos; por tanto, evaluar el otorgamiento de un crédito también implica, por ende, evaluar la probabilidad de incumplimiento se debe revisar algunos factores como su puntaje, tipos de créditos tomados antes, historial de pagos, deudas actuales. Para este análisis se propone también llevar a cabo una evaluación regulatoria con el fin de clasificar entre clientes buenos y clientes malos [4].

Además de pensar en un modelo que permita conocer y mitigar los riesgos de morosidad es importante contar con información financiera veraz que permita realizar un análisis que respalde las decisiones de otorgamientos crediticios y es allí donde la recolección de datos que se conviertan en información fiable es un factor importante [10].

El *Big Data* se ha venido implementado de varias maneras en el sector bancario; una de ellas es a través de probabilidad de incumplimiento (PD), la cual es una métrica utilizada en la modelización de riesgos y determina la probabilidad de incumplimiento de parte de los prestatarios en un determinado tiempo; este tipo de herramientas desde hace unos años son un complemento para este tipo de transacciones.

financieras, buscando que estas sean un apoyo a la operación humana que interviene en la aprobación de un crédito [11].

Los modelos de redes neuronales se han convertido en una herramienta poderosa, dada la capacidad de las mismas para el modelado de interacciones; en uno de los estudios se desarrolló un modelo basado en correlaciones, el cual posteriormente es evaluado por medio de transacciones reales arrojando esto una serie de datos predictivos valiosos para el análisis de riesgo [12].

Siempre pueden existir nuevos enfoques de modelos para la predicción de riesgos crediticios, como en este caso, donde se presenta un modelo de árbol de decisión utilizando la relación de ganancias y, posterior, agrupando la información; esto, con el fin de entregar a los gerentes de banca un modelo "híbrido" que posea información altamente confiable para la evaluación de sus clientes [13].

Para el estudio de riesgo crediticio, el *Big Data* es parte fundamental, como se demuestra en esta investigación realizada en México, donde se tuvo en cuenta una muestra de más de 43.000 cuentas y, a partir de los datos históricos, se analizaron variables como cumplimiento / Incumplimiento, número de impagos, historial de pagos, meses transcurridos del crédito, límite de crédito, saldo. A partir de estos datos, se aplicaron diferentes métodos con el fin de realizar predicciones valiosas que aporten a minimizar el riesgo de pérdidas en la organización [7].

Hoy en día, se producen y almacenan altos volúmenes de datos no estructurados, como correos electrónicos, llamadas telefónicas, datos de texto, imágenes y transacciones bancarias. Estos datos son de gran utilidad para la predicción del incumplimiento en los pagos de los créditos, pero siguen sin utilizarse porque requieren de un procesamiento previo para luego poder aplicar las técnicas estándar de predicción. Hay estudios más recientes, que usan el aprendizaje automático y lo combinan con frecuencias de términos para explotar esta información para las predicciones de riesgo crediticio [14].

Las muestras pequeñas o con datos faltantes pueden llevar a predicciones con poca precisión, es por esto que la generación y almacenamiento de datos que, normalmente, provienen de información contable y bases de datos transaccionales, pueden ayudar a los algoritmos de análisis y a mejorar el modelo de evaluación de riesgos [15].

La mayoría de riesgos crediticios emplean decisiones tradicionales binarias de aceptación o rechazo, pero, en ocasiones, la información con la que se cuenta es imprecisa para tomar dicha decisión. Para una mejor calidad de los estudios de crédito, se requieren decisiones de 3 vías, con el fin de decidir de inmediato aprobaciones o rechazos y, para los casos restantes, capturar información adicional que proporcione una nueva perspectiva para evaluaciones de crédito más detallada que aporten a una decisión acertada [16].

La cuarta revolución industrial ha representado grandes mejoras para el sector financiero. El aprendizaje automático genera modelos que explican más claramente los datos, permitiendo mejores evaluaciones para la toma de decisiones. Es una gran decisión determinar el modelo óptimo para las calificaciones crediticias, porque este puede afectar otros aspectos financieros como la estructura de capital, la liquidez de acciones, fijación de precios y diversificación empresarial [17].

Se realizó un estudio para identificar mecanismos de predicción de morosidad en el programa de financiación de vivienda para población de bajos ingresos en Brasil, llamado "Mi casa, mi vida". Teniendo en cuenta que es población con pocos ingresos y, por lo tanto, muy propensos al impago, después de evaluar diferentes métodos, los resultados muestran, principalmente, que la elección del método apropiado podría reducir en gran medida el índice de morosidad y los costos por clasificación errónea. Adicionalmente, con el fin de evitar criterios subjetivos, se eliminaron variables discriminatorias como género, edad y estado civil, y se encontró que el poder discriminatorio de la calificación de riesgo se conserva [18].

Asegurar que no existirá pérdida en el ejercicio de créditos bancarios es imposible de predecir; sin embargo, por medio del uso del *Big Data* y las herramientas, tales como modelos predictivos, modelos estadísticos, regresión logística o redes neuronales artificiales, se puede medir el nivel de riesgo de pérdida para las entidades financieras y las probabilidades de que un prestatario incumpla en realizar sus pagos. Sin embargo, el riesgo no puede predecirse al 100%, ya que es difícil determinar factores externos como crisis financieras que se presenten de manera inesperada, que no pueden capturarse por medio de los modelos generados a través del *Big Data* [2].

Una de las técnicas más valiosas para predecir la morosidad es contar con acceso a los historiales crediticios de los prestatarios, pues, de esta manera, los bancos pueden evaluar con mayor precisión la solvencia de sus usuarios y, así mismo, tomar decisiones más informadas sobre la concesión de préstamos y establecer tasas de interés justas, acordes a la capacidad de endeudamiento y pago de sus clientes. Cuando el grado de divulgación y manejo de la información crediticia es alto, el poder predictivo de los modelos de calificación también es alto, ocurre que los riesgos crediticios se reducen [1].

El riesgo financiero de falta de pago de parte de los prestatarios es un factor que siempre existirá en las transacciones de crédito; por esto, los expertos lo han abordado desde varias formas; una de ellas es comparándolo como el modelo epidemiológico Susceptible-Infectado-Recuperado (SIR), pues, de cierta forma, el riesgo financiero funciona como un virus, donde una crisis puede iniciar y propagarse rápidamente en todo el sector dejando afectaciones, pues los bancos no son inmunes y, por el contrario, siempre existe una tasa de infección que solo puede mitigarse con lo fortalecida que esté la estructura de su red; en ese caso, que tan rigurosa sea la supervisión financiera [19].

Una de las técnicas que ha sido aplicada para la medición de riesgo crediticio, son técnicas de aprendizaje automático; ha sido adoptada por el área financiera, dado que, por medio de los algoritmos aplicados, se ha llegado a resultados óptimos; sin embargo, también se hace énfasis en la importancia que tiene para el rendimiento de estos modelos que los datos recolectados sean de alta calidad [20].

Utilizar un modelo para predecir el riesgo de morosidad no se realiza solo para nuevos clientes; también, por medio de la técnica de regresión logística, se puede determinar, con base en los datos que ya se cuenta de clientes existentes, la probabilidad de que estos incumplan con sus pagos en un nuevo crédito a otorgar y, así, la entidad tendría herramientas para brindar o no una nueva concesión [21].

Contar con un modelo para predecir riesgo es demasiado importante, pero también lo es el realizar una clasificación adecuada de la información a utilizar antes de realizar un entrenamiento de los datos; por ello, previamente se debe realizar la transformación de estos y asegurarse de que los registros con que se cuenta son los necesarios; de lo contrario, los modelos pueden fallar por un problema de clasificación [22].

A medida que la economía global crece, también lo hacen los riesgos financieros; es por este motivo que el *Big Data* empezó a jugar un papel importante en este sector. A través de los avances en tecnología se ha evolucionado en el concepto de análisis de crédito, buscando generar un impacto positivo a través de la evolución de las herramientas en la evaluación de estos [23].

El extenso volumen de datos manejado por las entidades bancarias hoy en día obliga a que sean utilizadas herramientas relacionadas al *Big Data*, capaces de generar algoritmos que produzcan información rápida e imparcial y, por

ende, sea posible tomar mejores decisiones al momento de realizar los análisis confiables de información financiera [24].

La SVR o regresión de Vectores de soporte es una de las técnicas más utilizadas para predicción de series temporales; esto, dado a que permite un mapeo flexible de la información, lo cual es muy importante al momento de analizar grandes cantidades de datos, como es el caso de una entidad financiera que busque evaluar sus créditos por medio de estas herramientas [25].

Las entidades financieras recopilan información al momento de cualquier solicitud de crédito; así mismo, al momento de un nuevo otorgamiento de préstamo obtienen información en ese momento y durante la vigencia del mismo generando así registros que permiten apoyar la venta cruzada de nuevos productos, apoyando así el área de mercadeo, pues con estos registros recopilados ya se cuenta con información predictiva respecto al comportamiento de pago del cliente [26].

IV. Conclusiones

Algunos de los principales factores que influyen en la morosidad de cartera en cuanto al comportamiento del deudor, son el consumismo y la falta de educación financiera. Por otra parte, los estudios demuestran que un correcto y detallado estudio de crédito, la provisión, los históricos de datos como hábito de pago, créditos otorgados, información demográfica y de comportamiento, y la aplicación de un adecuado modelo predictivo de riesgo crediticio, inciden en la disminución del índice de morosidad y, por consiguiente, la disminución de pérdidas financieras.

La captación y almacenamiento de históricos de información financiera veraz son determinantes para la aplicación de modelos que permitan hallar probabilidades de incumplimiento en los pagos. Entre más robusta la información, mucho mejor, ya que, con muestras pequeñas, los modelos

pueden carecer de precisión. Adicionalmente, en los datos no estructurados, se encuentra información muy valiosa que, al procesarla, podría generar grandes aportes a los modelos. Todo lo anterior sirve de herramientas de apoyo para la operación humana, aportando agilidad, precisión y disminución de riesgos.

El alto volumen de datos ha obligado a las entidades de servicios financieros a utilizar herramientas de Big Data con el fin de generar información ágil e imparcial que permita tomar decisiones asertivas. Entre las principales técnicas utilizadas para los modelos de riesgo crediticio y probabilidades de incumplimiento en los pagos,

están la regresión logística, redes neuronales, árboles de decisión y aprendizaje automático; la elección del modelo podría depender de los datos que se tienen, las variables a analizar y el tipo de estudio requerido de acuerdo con la necesidad del negocio. En todo caso, para cualquier técnica, es imprescindible que los datos recolectados sean de alta calidad, que se tenga la información de las variables requeridas para estudio, que haya un alto manejo de la información crediticia y entendimiento de los datos y que se realice una adecuada clasificación de la información para el entrenamiento de los datos; esto facilita el rendimiento y la precisión de los modelos.

V. Referencias

- [1] I. Iakimenko, M. Semenova, and E. Zimin, "The more the better? Information sharing and credit risk", *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, vol. 80, p. 101651, 2022. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.INTFIN.2022.101651.
- [2] P. Piccoli, "Valuating consumer credit portfolios", *Latin American Journal of Central Banking*, vol. 3, n° 3, p. 100067, 2022. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.LATCB.2022.100067.
- [3] M. S. ben Ali, "Credit bureaus, corruption and banking stability", *Economic Systems*, vol. 46, n° 3, p. 100989, 2022. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.ECOSYS.2022.100989.
- [4] M. R. Machado and S. Karray, "Assessing credit risk of commercial customers using hybrid machinelearning algorithms", *Expert Syst Appl*, vol. 200, p.116889, 2022. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.ESWA.2022.116889.
- [5] F. E. S. Villano, "Cuantificación del riesgo de incumplimiento en créditos de libre inversión: un ejercicio econométrico para una entidad bancaria del municipio de Popayán, Colombia", *Estudios Gerenciales*, vol. 29, n° 129, pp. 416-427, 2013. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.ESTGER.2013.11.007.
- [6] L. Mansilla Chiguay, M. Denegri Coria, and B. Álvarez Escobar, "Relación entre actitudes hacia el endeudamiento y locus de control del consumidor en estudiantes universitarios", *Suma Psicológica*, vol. 23, n° 1, pp. 1-9, 2016. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.SUMPSI.2015.11.002.
- [7] J. C. Trejo García, M. Á. Martínez García, and F. Venegas Martínez, "Administración del riesgo crediticio al menudeo en México: una mejora econométrica en la selección de variables y cambios en sus características", *Contaduría y Administración*, vol. 62, n° 2, pp. 377-398, 2017. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/j.cya.2017.01.003.
- [8] L. Wu, "The study on risk avoidance of transaction default based on the herding effect", *Systems Science & Control Engineering*, vol. 9, n° 1, pp. 602-611, 2021. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1080/21642583.2021.1975320.
- [9] M. Naili and Y. Lahrichi, "Banks' credit risk, systematic determinants and specific factors: recent evidence from emerging markets", *Heliyon*, vol. 8, n° 2, p. e08960, 2022. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e08960.
- [10] K. Zheng et al., "Blockchain technology for enterprise credit information sharing in supply chain finance", *Journal of Innovation & Knowledge*, vol. 7, n° 4, p. 100256, 2022. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.JIK.2022.100256.
- [11] L. Coenen, W. Verbeke, and T. Guns, "Machine learning methods for short-term probability of default: A comparison of classification, regression and ranking methods", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 73, n° 1, pp. 191-206, 2022. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1080/01605682.2020.1865847.
- [12] P. Giudici, B. Hadji-Misheva, and A. Spelta, "Quality Engineering Network based credit risk models", 2019. [En línea]. Disponible en: doi:10.1080/08982112.2019.1655159.
- [13] C.-H. Weng, & Cheng, and K. Huang, "Applied Artificial Intelligence A Hybrid Machine Learning Model for Credit Approval", *Applied Artificial Intelligence*, vol. 35, pp. 1439-1465, 2021. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1080/08839514.2021.1982475.
- [14] J. Kriebel and L. Stitz, "Credit default prediction from user-generated text in peer-to-peer lending using deep learning", *Eur J Oper Res*, vol. 302, n° 1, pp. 309-323, 2022. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.EJOR.2021.12.024.

- [15] X. Fan, X. Guo, Q. Chen, Y. Chen, T. Wang, and Y. Zhang, "Data augmentation of credit default swap transactions based on a sequence GAN", *InfProcess Manag*, vol. 59, no. 3, p. 102889, 2022. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.IPM.2022.102889.
- [16] F. Shen, X. Zhang, R. Wang, D. Lan, and W. Zhou, "Sequential optimization three-way decision model with information gain for credit default risk evaluation", *Int J Forecast*, vol. 38, n° 3, pp. 1116-1128, 2022. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.IJFORECAST.2021.12.011.
- [17] J. P. Li, N. Mirza, B. Rahat, and D. Xiong, "Machine learning and credit ratings prediction in the age of fourth industrial revolution", *Technol Forecast Soc Change*, vol. 161, p. 120309, 2020. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.TECHFORE.2020.120309.
- [18] J. R. de Castro Vieira, F. Barboza, V. A. Sobreiro, and H. Kimura, "Machine learning models for credit analysis improvements: Predicting low-income families' default", *Appl Soft Comput*, vol. 83, p. 105640, 2019. [En línea]. Disponible en: doi:10.1016/j.asoc.2019.105640.
- [19] B. Chenyu, Y. Haomiao, and Z. Ning, "How does the supervision stringency affect systemic risk based on the differential dynamic model?", *Systems Science & Control Engineering*, vol. 7, n° 1, pp. 357-368, 2019. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1080/21642583.2019.1681031.
- [20] Z. Hassani, A. Meybodi, and V. Hajhashemi, "Credit Risk Assessment Using Learning Algorithms for Feature Selection," *Fuzzy Information and Engineering*, vol. 12, n° 4, pp. 529-544, 2021. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1080/16168658.2021.1925021.
- [21] P. Giudici, B. Hadji-Misheva, and A. Spelta, "Network based credit risk models", *Qual Eng*, vol. 32, n° 2, pp. 199-211, 2020. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1080/08982112.2019.1655159.
- [22] A. Abdullah and A. Barnawi, "A Novel Crossing Minimization Ranking Method", *Applied Artificial Intelligence*, vol. 29, n° 1, pp. 66-99, 2015. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1080/08839514.2015.983014.
- [23] G. Du, Z. Liu, and H. Lu, "Application of innovative risk early warning mode under big data technology in Internet credit financial risk assessment", *J Comput Appl Math*, vol. 386, p. 113260, 2021. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.CAM.2020.113260.
- [24] A. Pérez-Martín, A. Pérez-Torregrosa, and M. Vaca, "Big Data techniques to measure credit banking risk in home equity loans", *J Bus Res*, vol. 89, pp. 448-454, 2018. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.JBUSRES.2018.02.008.
- [25] T. Law and J. Shawe-Taylor, "Practical Bayesian support vector regression for financial time series prediction and market condition change detection", *Quant Finance*, vol. 17, n° 9, pp. 1403-1416, 2017. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1080/14697688.2016.1267868.
- [26] R. A. Mancisidor, M. Kampffmeyer, K. Aas, and R. Jenssen, "Generating customer's credit behavior with deep generative models", *Knowl Based Syst*, vol. 245, p. 108568, 2022. [En línea]. Disponible en: doi:10.1016/J.KNOSYS.2022.108568.



Análisis y creación de un sistema experto para el control y seguimiento de trastornos emocionales en estudiantes universitarios

Analysis and creation of an expert system for the control and monitoring of emotional disorders in university students

Saray Mejia Medina, Maria Isabel Bohorquez Mejia,
Luisa María Ramírez Montero

Tipo de Artículo: Investigación.

Recibido: 12/05/2023 **Aprobado:** 30/08/2023 **Publicado:** 22/12/2023

Resumen: La salud mental de los estudiantes universitarios es un tema importante que requiere atención. El estrés, la ansiedad y la depresión son cada vez más comunes y afectan directamente su desarrollo académico, social y laboral. Se propone un prototipo de una aplicación web con diseño responsive que aplica la inteligencia artificial y las TIC para mejorar el control y tratamiento de estos trastornos a través de un sistema experto, buscando con esto el mejoramiento de la salud mental en las instituciones de educación superior. Para lograr este objetivo, se han utilizado diferentes lenguajes de programación como Python, HTML, CSS, JavaScript y librerías como Experta y Flask. Este sistema experto llamado SAMI, identifica a los estudiantes con mayor riesgo de padecer trastornos emocionales y proporciona recomendaciones para el control emocional, de acuerdo con el resultado de la prueba y sugiere una consulta especializada en caso de ser requerido. Dentro de los resultados se obtuvo un análisis estadístico que permitió comprender la cantidad de estudiantes que están siendo posiblemente afectados por un trastorno, permitiendo a los directivos tener una idea general

del estado de la salud mental de los estudiantes y, de acuerdo con esto, poder tomar las medidas necesarias o estrategias innovadoras para combatir esta problemática. La prueba del prototipo se realizó con 21 estudiantes de Ingeniería de Sistemas de 9º semestre, a los cuales, al finalizar se les envió una encuesta de satisfacción para identificar qué tan útil fue SAMI, y en su mayoría fueron respuestas positivas.

Palabras clave: Sistema experto, inteligencia artificial, trastornos emocionales, estudiantes universitarios, prototipo.

Abstract: The mental health of university students is an important topic that requires attention. Stress, anxiety, and depression are increasingly common and directly affect their academic, social, and professional development. A prototype of a responsive web application is proposed that applies artificial intelligence and ICTs to improve the control and treatment of these disorders through an expert system, seeking to improve mental health in higher education institutions. To achieve this objective,

different programming languages such as Python, HTML, CSS, JavaScript, and libraries such as Experta and Flask have been used. This expert system called SAMI identifies students at higher risk of emotional disorders and provides emotional control recommendations based on the test result, and suggests specialized consultation if required. As a result, a statistical analysis was obtained that allowed understanding the number of students who are possibly affected by a disorder, enabling executives to have a general idea of the mental health status of students and, accordingly, to take necessary measures or innovative strategies to combat this problem. The prototype test was conducted with 21 9th-semester Systems Engineering students, who were sent a satisfaction survey at the end to identify how useful SAMI was, and most of the responses were positive.

Keywords: Expert System, Artificial Intelligence, Emotional Disorders, University Students, Prototype.

I. Introducción

La salud mental hace referencia a un estado relacionado con el bienestar emocional, psicológico y social; es una rama que cada vez cobra mayor importancia, tanto en el campo de la salud como en el ámbito social, razón por la cual ha venido teniendo gran prevalencia en investigaciones actuales, las cuales se centran en avances, aciertos y desaciertos del área en cuestión [1]. De esta manera, a pesar de que antes no se le daba la importancia que merece, en los últimos años se ha convertido en uno de los focos principales de la salud; de hecho, se ha considerado que no puede haber salud pública sin salud mental, puesto que se ha atribuido a trastornos neuropsiquiátricos un 14% de la carga mundial de morbilidad [2].

Los trastornos emocionales son una problemática que es padecida por una gran cantidad de personas, sobre todo los jóvenes, puesto que es una etapa que puede ser más sensible para la aparición de este tipo de trastornos, esto por la interacción entre el riesgo preadolescente y los cambios en su desarrollo [3], los cuales son situaciones que llegan a afectarlos personal, emocional y socialmente. Debido a esto, se decide iniciar la investigación

actual con los jóvenes universitarios de la Universidad Católica Luis Amigó, sede Medellín, y podrá ser expandido a otras universidades en un futuro, puesto que las escuelas y los lugares de trabajo son espacios que pueden ser utilizados para fomentar oportunidades de mejora o de incremento de riesgos para la salud mental.

No obstante, uno de los avances más grandes y de gran importancia en la actualidad es la inteligencia artificial (IA), la cual, básicamente se refiere a "la habilidad de los ordenadores para hacer actividades que normalmente requieren inteligencia humana" [4], y gracias a sus grandes contribuciones al desarrollo tecnológico, también se ha utilizado en otras áreas como la medicina, aportando al desarrollo y mejora de la salud mental, desde el diagnóstico, pronóstico y selección de tratamiento, hasta la retroalimentación de proceso, y todo esto a través de aplicaciones de la IA como, por ejemplo, el machine learning (aprendizaje automático) [5].

Ahora bien, se busca aplicar la inteligencia artificial para el desarrollo de sistema experto para estudiantes universitarios con posibles trastornos emocionales, debido a que, según los estudios, casi todos los adolescentes utilizan al menos un dispositivo inteligente y dedican aproximadamente 20h por semana de su tiempo libre a actividades vía internet [6]; es por esto que se busca unificar uno de los progresos tecnológicos más importantes con una problemática que afecta a gran cantidad de personas, pero a través de un medio que utilizan en su vida cotidiana como lo es su dispositivo móvil.

Por consiguiente, el objetivo del proyecto es desarrollar un prototipo de aplicación web con diseño responsive dirigida, inicialmente, a los estudiantes de la Universidad Católica Luis Amigó, sede Medellín; esta será desarrollada a través de un sistema experto que realice una serie de preguntas para evaluar el estado de la salud mental de los usuarios; al finalizar, brinda una valoración general; es importante mencionar que no es un diagnóstico oficial, incluye únicamente recomendaciones, precauciones y, de hecho, sugiere una cita con un especialista.

Es importante aclarar que un sistema experto es una forma de inteligencia artificial diseñada para imitar el razonamiento y la toma de decisiones de un experto humano en un campo específico. Se basa en reglas, conocimientos y heurísticas para analizar datos, formular conclusiones y ofrecer recomendaciones o soluciones. La diferencia fundamental entre un sistema experto y un sistema de información o consulta, radica en su capacidad para, no solo proporcionar datos o información, sino también para interpretar y aplicar ese conocimiento de manera contextualizada. Mientras que un sistema de información brinda datos o respuestas a preguntas específicas, un sistema experto va más allá al emular el proceso de pensamiento humano, considerando la complejidad de situaciones, condiciones variables y ofreciendo soluciones contextualizadas y más elaboradas.

II. Materiales y Métodos

Materiales

Herramientas de desarrollo: se utilizaron diversos lenguajes de programación, como Python, utilizando la librería Experta, Flask, e implementando HTML, CSS y JavaScript.

Documentos de referencia: se utilizó como base de conocimiento la "Guía de consulta de los diagnósticos del DSM-5" [7] y las bases de datos Scopus y ScienceDirect, para obtener información relevante para la detección de trastornos emocionales por medio de la inteligencia artificial. Expertos humanos: Además de tener la guía DSM-5" [7] como referencia primaria, se complementa por un valioso acercamiento con la psicóloga Catalina Delgado Viana, egresada de la Universidad Católica Luis Amigó, sede Medellín, con la intención de tener un conocimiento humano que simule el sistema experto y que las reglas establecidas estén en lo correcto.

Métodos

El desarrollo del proyecto se basa en una metodología cuantitativa, ya que se centra en la recopilación de datos medibles que puedan

ser analizados estadísticamente para obtener información sobre los trastornos más padecidos por los jóvenes universitarios. A partir de este análisis podrán establecerse patrones para promover la salud mental en la institución universitaria. Para este desarrollo se tuvo en cuenta 2 metodologías: la primera es la metodología de investigación propuesta por Roberto Hernández Sampieri y, para abordarla, se dividirá el proceso en 3 fases principales: diseño de investigación, diseño del desarrollo y estructuración de los resultados.

1. Diseño de investigación

La fase de investigación inicia con la selección del tema de interés y, a partir de este, se realiza una revisión sistemática de literatura (RSL) para conocer investigaciones previas en torno al problema de investigación escogido, siendo este punto la base inicial del desarrollo del trabajo.

Se realizó la búsqueda de los documentos en las herramientas de bases de datos científica (ScienceDirect y Taylor and Francis); se establecieron los objetivos (general y específicos), con los cuales se tuvo un norte definido de lo que se pretendió alcanzar, teniendo en cuenta la información general de la problemática, a quiénes afecta, la importancia que tiene y el por qué fue seleccionado.

En la población objetivo están principalmente personas adolescentes y jóvenes que padezcan de algún trastorno emocional y, por lo tanto, deban ser tratados y atendidos por un profesional, impactando directamente el problema base y aportando mejoría a la calidad de vida de dichas personas, brindando datos concisos sobre la condición actual de cada paciente y dando dirección a buen término con profesionales del área, especialistas en psiquiatría y psicología.

2. Diseño del prototipo

Para el desarrollo de la aplicación web con diseño responsive se realizó un análisis y comparativa de las metodologías de desarrollo software, en la cual se definió la metodología XP (*Extreme Programming*) debido a que esta se aplica mayormente a

equipos de desarrollo pequeños o medianos, y su práctica ofrece beneficios, tanto para el desarrollo del producto como para la calidad de vida del programador [8]; además, es importante que la metodología permita realizar cambios en su desarrollo, ya que el propósito central de este proyecto es un prototipo de una aplicación, por lo que puede ir cambiando a medida que se avanza en la investigación; por lo tanto, debe estar abierta a retroalimentaciones que mejoren los procesos de acuerdo a los cambios que se realicen a los requerimientos del *software*.

Después de la selección de la metodología, se realizó la ejecución de cada una de las fases, las cuales son: exploración, planeación, codificación, pruebas y muerte del proyecto.

3. Estructuración de resultados

La última fase constó del análisis del prototipo desarrollado; en este se evidencia el cumplimiento de los objetivos planteados, teniendo en cuenta el prototipo funcional, el análisis estadístico de los datos, las recomendaciones sugeridas por el experto en el área de conocimiento: la psicóloga Catalina Delgado Viana y el enlace directo a su respectivo WhatsApp para aquellos estudiantes que requieran una cita presencial o acompañamiento personalizado por parte de la profesional. Adicional a esto, incluye la realización de la encuesta a los estudiantes encargados de hacer la prueba funcional de la aplicación.

Método de desarrollo

Para el desarrollo del aplicativo, teniendo como base la metodología ágil, Extreme Programming (XP), se emplearon las siguientes fases:

1. Exploración

Asignación de roles y distribución de tareas entre las desarrolladoras, identificación de los requisitos funcionales y no funcionales para el desarrollo del prototipo, y requisitos reglas de negocio, teniendo en cuenta que el desarrollo se realizó inicialmente con la población de la Universidad Católica Luis Amigó.

2. Planeación

La planeación incluyó la formalización de la información necesaria para empezar con el desarrollo y, teniendo en cuenta los requisitos identificados, se realizaron las historias de usuario.

No obstante, la información básica que fue requerida para el desarrollo del prototipo incluyó la extracción del conocimiento de los expertos para poder realizar el sistema experto; esta es aprobada por la psicóloga Catalina Delgado Viana, profesional en psicología en el área de evaluación, diagnóstico y tratamiento, ubicada en la ciudad de Medellín, Antioquia, Colombia, egresada de la Universidad Católica Luis Amigó, la cual fue fundamental para la organización de las preguntas y generación de las recomendaciones, basándose en el libro "Guía de consulta de los diagnósticos del DSM-5" [7].

Se generaron en total 27 preguntas; cada una de ellas tienen la posible respuesta de SÍ o NO. El diagnóstico de depresión comprende el rango de preguntas 1 hasta 9 (Para padecerlo se deben tener 5 o más respuestas sí). Las preguntas de ansiedad comprenden el rango de 9 a 14 (Para padecerlo se deben tener 3 o más respuestas sí), y las preguntas de estrés agudo comprenden el rango de 14 a 27 y la pregunta 9 (para padecerlo se deben tener 10 o más respuestas sí).

Finalmente, para cada diagnóstico se generan una serie de recomendaciones y se brinda el contacto del experto en psicología.

3. Diseño

Partiendo de la identificación de los requerimientos del sistema y características obtenidas para el desarrollo del prototipo, se desarrolló la estructura e interfaces gráficas de este, las cuales son tres principales:

1. Inicio: Aquí se puede acceder a definiciones cortas sobre los trastornos emocionales a tratar y un enlace directo al inicio del test.

2. Estudiante: Se encuentra un formulario donde deben diligenciar toda la información personal requerida para proceder al test; estos van soportados y respaldados por una política de privacidad que definirá la seguridad de la información en la aplicación, después de ingresados los datos serán redirigidos al sistema experto, donde deberán contestar 27 preguntas sobre su salud mental.
3. Administrador: Es de uso exclusivo para el administrador donde visualizará datos estadísticos, los cuales podrán ser generados de dos maneras: seleccionando el programa académico y el semestre, o seleccionando el programa académico y la edad, con el fin de que el administrador pueda comparar, analizar los datos y lograr establecer medidas de mejoras para la salud mental de los jóvenes universitarios.

4. Codificación

En esta etapa se codificó el diseño y los requisitos anteriormente planteados, donde se logró la eficiencia en el desarrollo del prototipo, se utilizó la programación en parejas para la productividad y buena calidad del prototipo, donde se distribuyeron las diferentes tareas, las cuales fueron *frontend*, *backend* y sistema experto.

Para el desarrollo del prototipo se emplearon diferentes lenguajes, teniendo como referencia el artículo **Sistema experto para el manejo de estrés (EESM)**, el cual utilizó tecnologías como **PyCharm IDE, Python, HTML, CSS, Flask, Chatterbot, Chatterbot corpus y Jinja 2** [9].

Basado en lo anterior, se desarrolló el sistema experto con el lenguaje Python, utilizando la librería Experta, la cual permite registrar el conocimiento y generar las reglas utilizadas para la detección de cada trastorno. La interfaz gráfica se desarrolló a través de la librería de Python, Flask, e implementando HTML, CSS y JavaScript para las funcionalidades, estilos y apariencia; finalmente, para el desarrollo del *backend* se utilizaron las siguientes tecnologías: La API REST de Flask, mediante la cual se realizó la conexión entre el

Back y el Front de la aplicación, y otras librerías de Python como: `render_template`, `request`, `redirect`, `url_for`, `jsonify`, `sesión`, `os`, `io`, `database`, `sys`, `matplotlib`, `base64`, `seaborn` y `pandas`.

5. Pruebas

Con el prototipo ya desarrollado, se aplicaron pruebas funcionales que comprenden: verificación de la información guardada correctamente en la base de datos, y generación coherente y correcta de los datos estadísticos. Después, se realizaron pruebas de usabilidad con una muestra de 21 estudiantes universitarios del programa "Ingeniería de Sistemas" que estén cursando noveno semestre en la Universidad Católica Luis Amigó, sede Medellín, con el fin de verificar que los usuarios hagan uso de la plataforma con facilidad y se logren identificar posibles mejoras en la usabilidad del prototipo, y, finalmente, asegurarse de que SAMI sí cumpla con el objetivo general planteado.

6. Cierre del Proyecto

SAMI es el prototipo de aplicación web resultante para el control y tratamiento de los trastornos emocionales en estudiantes universitarios, permite la administración de datos estadísticos para brindarle a las universidades de educación superior la información del estado de salud mental de sus estudiantes, con el filtro: Programa Académico y Semestre o Programa Académico y Edad.

Además, se realizó una encuesta para identificar el grado de usabilidad y utilidad para los estudiantes que participaron en el proceso de prueba del funcionamiento del prototipo, se realizó a través de Google Forms.

III. Resultados

El prototipo de aplicación web desarrollado obtuvo como resultados un sistema experto funcional, que brinda recomendaciones y sugiere cita con especialista para brindar la posibilidad de continuar su tratamiento de la mano de un experto en el tema.

El sistema experto se realizó según American Psychiatric Association (2014) y la aprobación de la psicóloga Catalina Delgado. Se realizan en total 27 preguntas que engloban el diagnóstico de las 3 enfermedades: ansiedad, depresión y estrés. A continuación, se evidencia el ejemplo de las preguntas realizadas para el diagnóstico de depresión, las cuales deben ser contestadas por el usuario con un "sí" o un "no":

1. Presenta estado de ánimo deprimido (se siente triste, vacío, sin esperanza) la mayor parte del día o casi todos los días

2. Tiene disminución importante del interés o el placer por todas o casi todas las actividades la mayor parte del día, casi todos los días.

3. Tiene pérdida importante de peso sin hacer dieta o aumento de peso, o disminución o aumento del apetito casi todos los días.

4. Presenta insomnio (dificultad para conciliar el sueño) o hipersomnia (excesivamente somnoliento) casi todos los días.

5. Tiene agitación o retraso psicomotor (inquietud o entecimiento) casi todos los días.

6. Presenta fatiga o pérdida de energía casi todos los días.

7. Presenta sentimiento de inutilidad o culpabilidad excesiva o inapropiada casi todos los días.

8. Tiene pensamientos de muerte recurrentes, ideas suicidas recurrentes sin un plan determinado, intento de suicidio o un plan específico para llevarlo a cabo.

9. Tiene dificultad para pensar o concentrarse, o para tomar decisiones, casi todos los días.

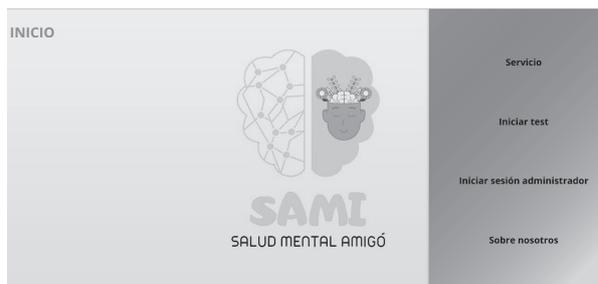
El sistema experto se desarrolla con el lenguaje de programación Python, utilizando la librería Experta,

la cual permite registrar el conocimiento y generar las reglas de inferencia; se muestra a continuación el ejemplo para el diagnóstico de depresión, el cual requiere que, de las preguntas anteriormente expuestas, el usuario haya contestado 5 o más en "sí":

```
@Rule(Sintomas(cont_depresion=MATCH.
cont_depresion,cont_ansiedad=MATCH.cont_
ansiedad,cont_estres=MATCH.cont_estres),
TEST(lambda cont_depresion: cont_depresion >=
5), TEST(lambda cont_ansiedad: cont_ansiedad
<3), TEST(lambda cont_estres: cont_estres < 10))
```

Ahora bien, la interfaz gráfica del aplicativo que permite la interacción entre el usuario y el experto se desarrolló lo más sencilla posible para que sea fácil de usar por la población objetivo. A continuación, se observa las interfaces principales:

Figura 1. Página Inicio con menú desplegable



Nota: Fuente elaboración propia (2023).

Figura 2. Página estudiante - apartado Información del estudiante



Nota: Fuente elaboración propia (2023).

Figura 3. Página test



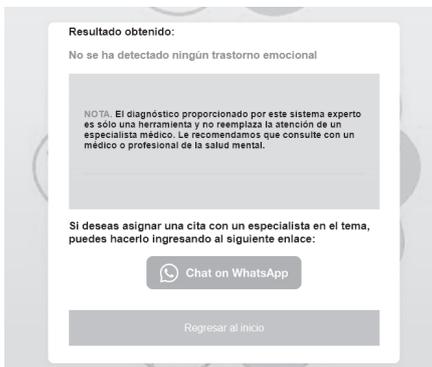
Nota: Fuente elaboración propia (2023).

Figura 4. Formato resultado del test



Nota: Fuente elaboración propia (2023).

Figura 5. Formato resultado del test sin trastorno



Nota: Fuente elaboración propia (2023).

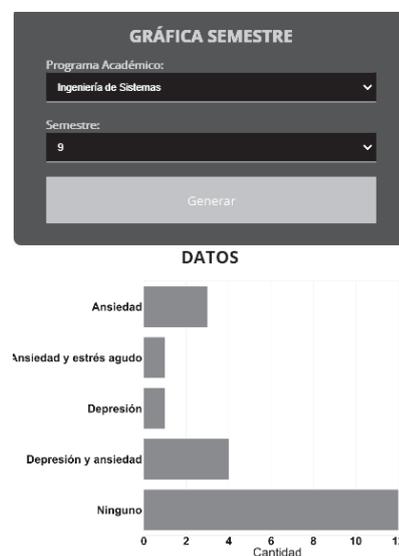
Al realizar las pruebas con los estudiantes de Ingeniería de Sistemas de 9º semestre de la Universidad Católica Luis Amigó, sede Medellín, se evidenció que, muchos de ellos, que obtuvieron como respuesta algún trastorno emocional, no tienen ningún tratamiento ni seguimiento por

parte de un profesional, puesto que la mayoría no era consciente de su posible diagnóstico.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos por los 21 estudiantes de prueba fueron utilizados para realizar estadísticas para fines administrativos de la institución de educación superior, ya que se identificó que no se tiene información al respecto desde las directivas que permita tener una idea general del estado de salud mental de los estudiantes; es por esto que se considera una iniciativa importante que permitirá en un futuro hacer uso de estos datos para promover mejoras en las instituciones, buscando siempre aportar a la estabilidad mental y académica de los estudiantes.

La información no confidencial obtenida de los resultados es utilizada para la generación de las gráficas desde la pestaña de administrador de la página; desde allí se pueden realizar las estadísticas de dos formas: la primera de ellas es teniendo en cuenta el programa académico y el semestre, y la segunda de ellas es de acuerdo con el programa académico y la edad. En la Figura 7 se pueden evidenciar los diagnósticos obtenidos de los estudiantes de prueba.

Figura 6. Resultados estudiantes de 9º semestre de Ingeniería de Sistemas



Nota: Fuente elaboración propia (2023).

De la información anterior, se puede deducir que, a pesar de que la mayoría se encuentra sin posibles trastornos emocionales, en los estudiantes afectados se identificó que el diagnóstico más común es depresión y ansiedad, y el más mencionado es ansiedad.

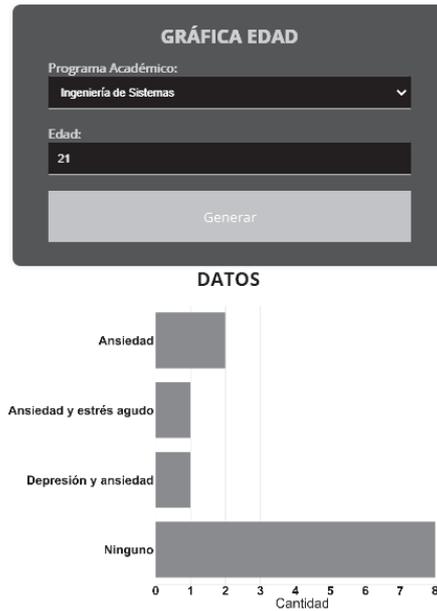
En cuanto a las gráficas realizadas con base a la edad, se identificó que los estudiantes de Ingeniería de Sistemas de 9° semestre se encuentran en el rango de edades entre 20 y 23 años, por lo tanto, se generan las siguientes gráficas:

Figura 7. Resultados estudiantes Ingeniería de Sistemas con 20 años



Nota: Fuente elaboración propia (2023).

Figura 8. Resultados estudiantes Ingeniería de Sistemas con 21 años



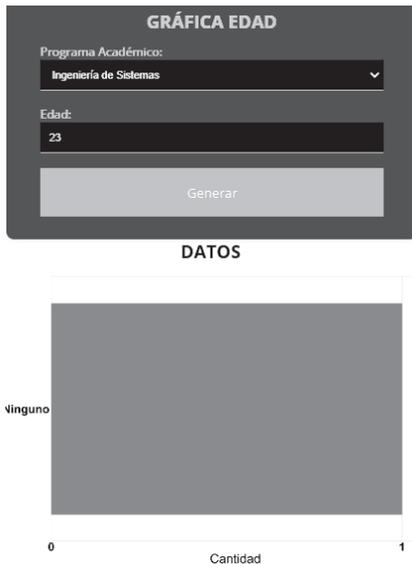
Nota: Fuente elaboración propia (2023).

Figura 9. Resultados estudiantes Ingeniería de Sistemas con 22 años



Nota: Fuente elaboración propia (2023).

Figura 10. Resultados estudiantes Ingeniería de Sistemas con 23 años



Nota: Fuente elaboración propia (2023).

De acuerdo con las estadísticas anteriores, se identifica que la mayoría de los estudiantes tienen 21 años, y es en este conjunto de datos donde hay mayor cantidad de estudiantes sin trastornos, pero, también, es donde hay más diagnósticos de ansiedad. La edad que se destaca por mayor diagnóstico de depresión es 22 años.

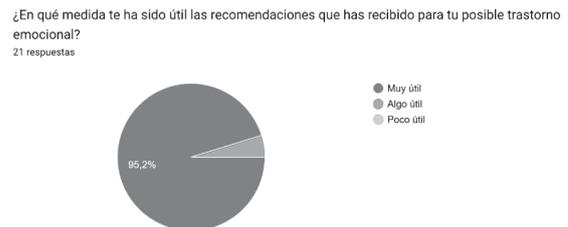
Finalmente, se anexa la información de satisfacción recolectada con los estudiantes de prueba que se puede evidenciar en la Figura 11, Figura 12 y Figura 13, las cuales incluyen los resultados positivos y el nivel de utilidad considerada. Los porcentajes mantuvieron por encima del 90% el nivel de utilidad, y por encima del 80% el nivel de recomendación.

Figura 11. Resultado 1 encuesta de satisfacción



Nota: Fuente elaboración propia (2023).

Figura 12. Resultado 2 encuesta de satisfacción



Nota: Fuente elaboración propia (2023).

Figura 13. Resultado 3 encuesta de satisfacción



Nota: Fuente elaboración propia (2023).

IV. Discusión

Se puede evidenciar en la información expuesta que, a pesar de ser una población de muestra pequeña, se lograron identificar varios estudiantes que posiblemente padezcan algún trastorno emocional, lo cual confirma la investigación realizada acerca de que es un tema que requiere atención; por tanto, los lugares educativos son un espacio importante que puede ayudar, ya sea a posibilitar espacios que promuevan la salud mental o, ya bien, a incrementar los problemas.

A la hora de solicitar la colaboración para probar el prototipo, ningún estudiante se rehusó a realizar la prueba del sistema experto; sin embargo, no todos estaban dispuestos a contactarse con la psicóloga para asignar una cita; de esto se puede deducir que los estudiantes se abren fácilmente a una herramienta tecnológica para expresar sus sentimientos y emociones, pero, en su mayoría, se rehúsan a tomar la iniciativa de buscar ayuda profesional. Esta información puede ser utilizada

por los directivos de las instituciones para buscar alternativas de promoción de la salud mental, e identificar la edad, los programas o los semestres que suelen tener más cantidad de estudiantes con posibles trastornos.

De acuerdo con lo anterior, SAMI resultó ser un sistema experto que, además de ayudar a las personas con posibles trastornos, también tiene la posibilidad de convertirse en un gran aliado de los directivos de las instituciones de educación superior, precisamente por incluir análisis estadísticos que ofrece datos que pueden ser posteriormente utilizados para beneficio del estado mental y emocional de los universitarios.

No obstante, por medio de la aplicación fue posible confirmar que la tecnología y la psicología hacen un gran equipo, porque se prioriza el bienestar mental, a su vez que se hace uso de medios con los cuales las personas hoy en día se sienten familiarizados, como lo es su celular. Lo anterior se deduce de los resultados obtenidos en la encuesta de satisfacción, en donde se evidencia que la mayoría de los estudiantes consideró a SAMI útil para la posible identificación de sus trastornos emocionales y las recomendaciones recibidas, además estuvieron de acuerdo en compartirlo con personas que tengan dudas sobre padecer algún trastorno.

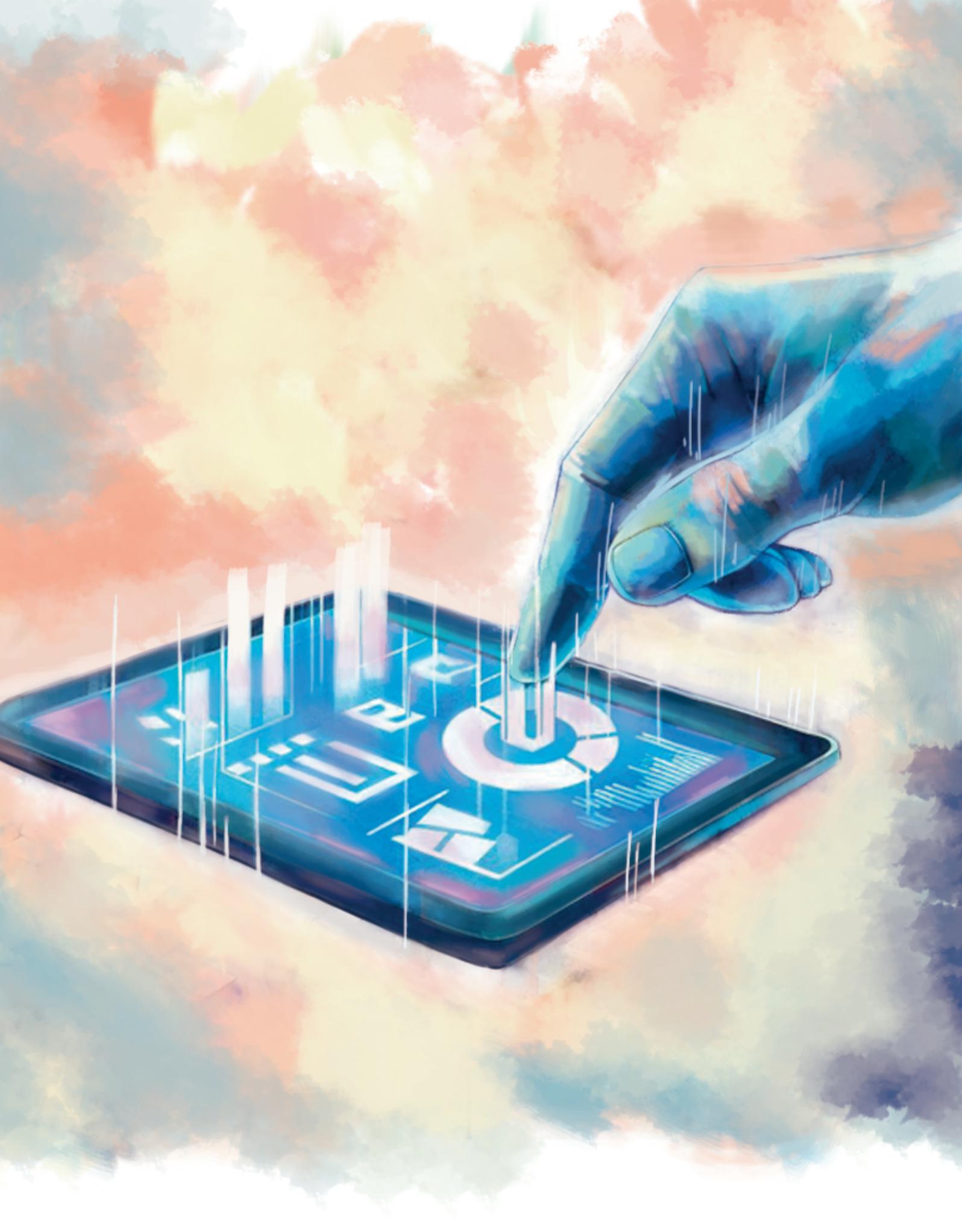
V. Conclusiones

En conclusión, el impacto de los trastornos emocionales en la vida de las personas es evidente, sobre todo en las poblaciones más vulnerables, como lo son la primera infancia, infancia y adolescencia, lo que genera grandes desafíos para la salud mental de los jóvenes a nivel mundial. Teniendo en cuenta esto, se ha desarrollado un sistema experto para el control y tratamiento de trastornos emocionales en estudiantes universitarios, con el fin de aportar a la mejora de la salud mental. SAMI se enfoca en dar un posible diagnóstico a los jóvenes, acompañado de algunas recomendaciones e, incluso, sugiere una cita con la especialista en el tema que pueda acompañar al joven en caso de ser necesario.

Dentro de este orden de ideas, el análisis estadístico es, igualmente, uno de los aportes realizados por SAMI, el cual proporciona a los directivos de las universidades una idea general del estado de salud mental de sus estudiantes, promoviendo así la importancia del bienestar emocional, psicológico y social de los jóvenes universitarios del país e, incluso, del mundo. Además, se evidencia que las herramientas tecnológicas son un gran aliado para los problemas de salud mental, porque permiten ayudar a los estudiantes que se rehúsan a buscar ayuda profesional presencial, a que obtengan recomendaciones desde su celular o computador, que son espacios virtuales con los que ellos se relacionan cotidianamente.

VI. Bibliografía

- [1] E. Cera Santodomingo, Estado del arte de la salud mental, [Trabajo de pregrado], Universidad Simón Bolívar, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, Barranquilla, 2009.
- [2] M. P. V. S. S. M. M. M. J. P. M. R. & R. A. Prince, "No health without mental health", *The lancet*, vol. 370, n° 9590, pp. 859-877, 2007.
- [3] R. M. O. E. L. J. C. J. F. M. K. F. J. M. N. R. & R. C. E. Rapee, "Adolescent development and risk for the onset of social-emotional disorders: A review and conceptual model", *Behaviour research and therapy*, n° 123, p. 103501, 2019.
- [4] L. Rouhiainen, Inteligencia artificial, Madrid: Alienta Editorial, 2018.
- [5] J. Delgadillo & D. Atzil-Slonim, "Artificial Intelligence, Machine Learning and Mental Health", in the *Encyclopedia of Mental Health* 3rd edition, 2022, [En línea]. Disponible en: https://www.prlab.co.il/wp-content/uploads/2022/08/Delgadillo-and-Atzil-Slonim-2022_AI_ML_Encyclopedia_chapter_pre-print_2022.pdf
- [6] C. D. M. B. D. T. D. & L. J. Lavoie, "The relationship between problematic internet use and anxiety disorder symptoms in youth: Specificity of the type of application and gender", *Computers in Human Behavior*, n° 140, p. 107604, 2023.
- [7] American Psychiatric Association, *Guía de consulta de los criterios diagnósticos del DSM-5*, 2014.
- [8] W. Ocampo Pazos, J. Ulloa, J. Azcona Esteban, y M. Klender Carrasco, "Metodología híbrida de desarrollo de software combinando XP y SCRUM," 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/336588210>
- [9] M. L. Joshi and N. Kanoongo, "Depression detection using emotional artificial intelligence and machine learning: A closer review", *Mater Today Proc*, vol. 58, pp. 217-226, 2022, [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/j.matpr.2022.01.467.



Santiago Augusto Hincapié Oliveros, Jhon Jader Díaz Gómez, Juan Esteban Molina Martínez (2023).

Voto electrónico como una alternativa al proceso de votación tradicional: Una revisión de literatura. Cuaderno Activa, 15, 61-69.



Voto electrónico como una alternativa al proceso de votación tradicional: Una revisión de literatura.

Electronic Voting as an Alternative to the Traditional Voting Process: A Review of the Literature

Santiago Augusto Hincapié Oliveros¹, Jhon Jader Díaz Gómez², Juan Esteban Molina Martínez³

Tipo de Artículo: Revisión de literatura

Recibido: 15/05/2023 **Aprobado:** 01/09/2023 **Publicado:** 22/12/2023

Resumen: Los sistemas de votación electrónica se exploran cada vez más como una forma de hacer que el proceso de votación sea más seguro, transparente y accesible. Buscando evitar los problemas del voto tradicional como el fraude, la piratería y la manipulación, se inicia una revisión de literatura que permita evaluar cuáles son las tendencias actuales relacionadas con la seguridad en el e-voting (Voto electrónico), el impacto de estas nuevas tecnologías en la lucha contra la corrupción en el proceso de votación y, finalmente, se busca cómo unir las tecnologías blockchain con el e-voting. Se encuentra, finalmente, que el blockchain puede garantizar la integridad general del proceso de votación electrónica unido de técnicas de encriptación y reconocimiento facial, entregando así tranquilidad para el pueblo en general a la hora de ejercer su derecho al voto.

Palabras clave: Blockchain, reconocimiento facial, voto electrónico.

Abstract: The electronic voting systems are being explored like an alternative to make the voting process more secure, reliable, and accessible. The current literature review is made looking how to avoid the issues with the traditional voting process like fraud piracy and vote manipulation, the review seek to evaluate the current tendencies related with the security in the e-voting (Electronic voting) process, this review also seeks how these new technologies can impact the corruption related with voting, and finally, the review looks for a way to apply blockchain technologies with the e-voting. The findings are that the blockchain technology can guaranty general integrity in the electronic voting using facial recognition and encryption

1 Autor correspondiente: Santiago Augusto Hincapié Oliveros. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: santiago.hincapieol@amigo.edu.co

2 Autor correspondiente: Jhon Jader Díaz Gómez. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: jhon.diazg21@outlook.com

3 Autor correspondiente: Juan Esteban Molina Martínez. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: juan.molinama@amigo.edu.co

techniques, at the end this mix of technologies can make the voting right a peaceful process.

Keywords: Blockchain, facial recognition, electronic voting.

I. Introducción

Los sistemas de votación electrónica se exploran cada vez más como una forma de hacer que el proceso de votación sea más seguro, transparente y accesible. Los sistemas de votación tradicionales a menudo se asocian con desafíos como el fraude, la piratería y la manipulación. Sin embargo, el uso de cadenas de bloques y tecnologías biométricas en el voto electrónico tiene el potencial de abordar algunos de estos desafíos al proporcionar un registro de transacciones seguro y a prueba de manipulaciones, y mejorar la precisión de la verificación de la identidad del votante.

Esta investigación tiene como objetivo explorar el uso de blockchain y tecnologías biométricas en el voto electrónico y evaluar su impacto potencial en la seguridad, privacidad y accesibilidad del proceso de votación. Específicamente, esta investigación se centrará en identificar los riesgos y vulnerabilidades potenciales asociados con la implementación de sistemas de voto electrónico que utilizan tecnologías biométricas y de cadena de bloques, evaluar la eficacia de los controles de seguridad y privacidad, el cumplimiento de los requisitos legales y reglamentarios, y el impacto del sistema sobre los votantes.

La investigación se basará en una variedad de métodos, que incluyen revisiones de la literatura y estudios de casos. Los hallazgos de esta RSL se utilizarán para informar las recomendaciones para el diseño de la investigación, la implementación y la evaluación de los sistemas de votación electrónica que utilizan tecnologías biométricas y de cadena de bloques.

La arquitectura que se expondrá dentro de esta RSL está enfocada en la denominada como microservicios; esta es un enfoque de diseño de

software que se basa en la creación de aplicaciones a partir de un conjunto de servicios pequeños, independientes y altamente especializados, que se comunican entre sí mediante interfaces bien definidas y ligeras.

En esta arquitectura, cada microservicio es responsable de una tarea específica y se ejecuta de manera autónoma en su propio proceso. Esto permite una mayor flexibilidad, escalabilidad y mantenibilidad en comparación con las arquitecturas monolíticas tradicionales, ya que los microservicios pueden ser actualizados, escalados y desplegados de forma independiente, sin afectar al resto del sistema.

En última instancia, el objetivo de esta RSL es contribuir con las bases de conocimiento que nos darán paso al desarrollo de un sistema de voto electrónico que sea seguro, transparente y accesible, y que inspire confianza en el proceso de votación, con el fin de contribuir con un método más controlado de los diferentes desafíos que conlleva que una organización, o una población en específico, realice la selección o elección de un tema determinado por medio del sistema.

II. Materiales y Métodos

Materiales

La literatura existente en la base de datos Science Direct, la cual es suministrada por la Universidad Católica Luis Amigó.

Métodos

Se empleó el identificador booleano "AND" junto con las palabras clave mencionadas anteriormente, así: "Peace engineering and blockchain", "E-voting and Blockchain". La búsqueda de la documentación de las investigaciones ya existentes con respecto a la implementación del blockchain y de las creaciones o implementaciones de E-voting en la sociedad realizó durante los años del 2020 en adelante.

III. Resultados de búsqueda

Autores	Contribución
Srijanee Mookherji, Odelu Vanga y Rajendra Prasath	Reconocen la votación por medio del uso de papeletas (papel y cajas) como un método de malas prácticas y, en muchos casos, dan la oportunidad para la manipulación.
Kashif Mehboob Khan, Junaid Arshad y Muhammad Mubashir Khan	Desarrollaron un sistema de votación basado en <i>blockchain</i> enfocado a la votación pública con un modelo en específico.
Patricia Baudier, Galina Kondrateva y Chantal Ammi	El estudio analiza las contribuciones potenciales del <i>blockchain</i> al proceso de votación.
Pawlak, M. y Poniszewska-Marañda, A.	Tendencias en los sistemas de votación electrónica basados en <i>blockchain</i> .
Revathy, G., Bhavana Raj, K., Kumar, A., Adibatti, S., Dahiya, P. y Latha, T. M.	Aporta conocimiento para el planteamiento de sistemas de votación electrónicos con el uso de tecnologías como <i>blockchain</i> y reconocimiento facial usando IA.
Berdik, D., Otoum, S., Schmidt, N., Porter, D. y Jararweh, Y.	Nos cuentan sobre el aprovisionamiento de la tecnología <i>blockchain</i> en sistemas de manejo de la información y su seguridad.
Ullah, S., Zheng, J., Din, N., Hussain, M. T., Ullah, F. y Yousaf, M.	Explican qué es la criptografía de curva elíptica, sus aplicaciones, cambios recientes, avances a futuro y tendencias.
Anitha, V., Marquez Caro, O. J., Sudharsan, R., Yoganandan, S. y Vimal.	Nos relatan acerca de la transparencia que ofrecen los sistemas de votación electrónicos basados en <i>blockchain</i> en cuanto a la seguridad e inalterabilidad de la información (votos).
Golchha, R., Joshi, A. y Gupta, G. P.	Hablan de cómo mejorar la seguridad frente a ataques cibernéticos usando "Learning Approach" para detectarlos.
Gupta, S., Gupta, A., Pandya, I. Y., Bhatt, A. y Mehta, K.	Aportan conocimiento para el planteamiento de sistemas de votación electrónicos con el uso de tecnologías como <i>blockchain</i> y su famosa llave de distribución cuantificada.
Hauk, E., Oviedo, M. y Ramos, X.	Hablan sobre la percepción europea frente a la gestión pública y corrupción en América Latina.
Panja, S. y Roy, B.	Explican la seguridad que conlleva el uso de la tecnología "end to end" en los sistemas de votación electrónicos basados en <i>blockchain</i> .
Khazaei, S. y Rezaei-Aliabadi, M.	Plantean un análisis de la electrónica descentralizada y las virtudes de esta práctica.
Fan, X., Wu, T., Zheng, Q., Chen, Y., Alam, M. y Xiao, X.	Muestran la seguridad y eficiencia que aportan los sistemas de votación electrónica basados en "homomorphic signcryption" del autor Zhen.
Lee, E. Y. y Ha, W.	Nos cuentan sobre el voto electrónico y su aporte para los sistemas socio-políticos.

IV. Resultados de selección

Año	Título	Autores	Volumen	Fascículo
2021	Peace engineering: The contribution of blockchain systems to the e-voting process	Patricia Baudier, Galina Kondrateva y Chantal Ammi	162	Pronóstico tecnológico y cambio social
2020	Investigating performance constraints for blockchain based secure e-voting system	Kashif Mehboob Khan, Junaid Arshad y Muhammad Mubashir Khan	105	Sistemas informáticos de generación futura
2022	Chapter 9 - Blockchain-based e-voting protocols	Srijanee Mookherji, Odelu Vanga y Rajendra Prasath		Blockchain Technology for Emerging Applications
2021	Trends in blockchain-based electronic voting systems.	Pawlak, M. y Poniszewska-Marañda, A.	58(4)	Information Processing & Management
2022	Investigation of E-voting system using face recognition using convolutional neural network (CNN)	Revathy, G., Bhavana Raj, K., Kumar, A., Adibatti, S., Dahiya, P. y Latha, T. M.	925	Theoretical Computer Science
2021	A Survey on Blockchain for Information Systems Management and Security.	Berdik, D., Otoum, S., Schmidt, N., Porter, D. y Jararweh, Y.	58(1)	Information Processing & Management
2023	Elliptic Curve Cryptography; Applications, challenges, recent advances, and future trends: A comprehensive survey	Ullah, S., Zheng, J., Din, N., Hussain, M. T., Ullah, F. y Yousaf, M.	47	Computer Science Review
2023	Transparent voting system using blockchain.	Anitha, V., Márquez Caro, O. J., Sudharsan, R., Yoganandan, S. y Vimal,	25	Measurement
2023	Voting-based Ensemble Learning approach for Cyber Attacks Detection in Industrial Internet of Things	Golchha, R., Joshi, A. y Gupta, G. P.	218	Procedia Computer Science
2021	End to end secure e-voting using blockchain & quantum key distribution	Gupta, S., Gupta, A., Pandya, I. Y., Bhatt, A. y Mehta, K.		Proceedings
2020	Blockchain Ethereum Clients Performance Analysis Considering E-Voting Application	Dhulavvagol, P. M., Bhajantri, V. H. y Totad, S. G.	167	Procedia Computer Science

Año	Título	Autores	Volumen	Fascículo
2021	Support for multicriteria group decision with voting procedures: Selection of electricity generation technologies	Marques, A. C., Machado, L. C., Alencar de Moraes Correia, L. M., Leal Vieira, M. J., Luíza da Silva, M., Moraes Galdino de Lima, M. F., Pontes do Espírito Santo, P. P., Moraes, D. C. y Frej, E. A.	3	Cleaner Environmental Systems
2021	A secure end-to-end verifiable e-voting system using blockchain and cloud server	Panja, S. y Roy, B	59	Security and Applications
2018	A rigorous security analysis of a decentralized electronic	Khazaei, S. y Rezaei-Aliabadi, M.	43	Journal of Information Security and Applications
2020	A secure high-efficiency electronic voting scheme based on homomorphic signcryption	Fan, X., Wu, T., Zheng, Q., Chen, Y., Alam, M. y Xiao, X.	111	Future Generation Computer Systems
2018	Electronic voting and strategic disclosure before shareholder meetings	Lee, E. Y. y Ha, W.	219	Security and Applications

V. Discusión

1. ¿Cuáles son las tendencias usadas actualmente por los sistemas *e-voting* con relación a la seguridad de la información (votos)?

Los sistemas de votación electrónica enfrentan muchos desafíos, incluidos problemas con la autenticación, la privacidad, la integridad de los datos, la transparencia y la verificabilidad. Sin embargo, la tecnología *blockchain* desarrollada hace más de 10 años proporciona una solución lista para usar en muchos de esos desafíos [1]; las autoridades de certificación deben garantizar la transparencia y precisión del conteo de votos electrónicos asegurando que las boletas de los votantes electrónicos se almacenen en un

entorno confiable y nadie pueda acceder a ellas o modificarlas o determinar el resultado de la elección antes de que se termine el protocolo. Finalmente, la privacidad es una de las obligaciones fundamentales de un sistema de votación, protegiendo a los ciudadanos del acceso fraudulento a su información personal, como el contenido de su voto o perfil, incluida su dirección y correo electrónico [2].

La votación es el proceso principal de los sistemas de voto electrónico. El principal requisito para el sistema es guardar el anonimato del voto. Por esta razón, se utiliza la tecnología *blockchain* y dentro del sistema se utiliza la firma ciega de los letreros de votante y verifica que se proporcionen certificados X.509. *Blockchain* ayuda a contar y

a salvar la integridad de los votos. Además, hoy en día esta tecnología se utiliza en muchas áreas, como medicina, transporte, seguridad, etc. [3].

Los investigadores consideran que la tecnología *blockchain* tiene un impacto positivo en los sistemas de votación electrónica. Sus principales ventajas son la inmutabilidad de los datos y su naturaleza distribuida. El primero asegura que los votos contenidos en él no fueron manipulados, y el segundo que ninguna entidad tiene el control completo del sistema [1]; debido a que *blockchain* es, por diseño, descentralizada, la tecnología es un candidato maravilloso para validar datos y mantener la integridad de las transacciones. Actualmente, los enfoques utilizados en la industria para hacer esto no están descentralizados. En cambio, confían en un tercero de confianza. Este es, por supuesto, un sistema menos que perfecto para lograr el objetivo deseado [4].

Según Revathy y otros [3] "En el proceso de registro se ingresan los parámetros solicitados por los sistemas y estos parámetros son verificados por la base de datos ciudadana del país. Hay varios requisitos para los votantes en cada país. En la base de datos ciudadana del país se guarda información de confianza sobre los votantes. Luego, la información especial que se utiliza en el proceso de votación se guarda en la base de datos de votantes. El esquema propuesto se proporciona mediante el reconocimiento facial, por lo que los rostros de los votantes se guardan en esta base de datos". También, Panja y Roy nos aportan "Las tecnologías biométricas agregan un nuevo nivel de autenticación a varias aplicaciones; sin embargo, siempre existen riesgos y desafíos relacionados con la privacidad y la seguridad de la biométrica" [5].

Otra de las tendencias usadas o en estudio de implementación actualmente para la verificación de la identidad en los sistemas de *e-voting* es la criptografía de curva elíptica y firma digital. Según Ullah y otros [6] La transmisión de datos e información a través de redes no seguras

es vulnerable al robo y ataque de datos, lo que implica el estudio de la criptografía. La criptografía es la práctica de usar claves para cifrar información y correspondencia para que solo pueda ser interpretada y procesada por aquellos que se supone que la reciben. Una firma digital, una técnica criptográfica para la autenticación y la integridad de los datos, se basa en el mensaje que se envía al remitente y utiliza operaciones matemáticas para localizar la firma.

Las principales tendencias encontradas son los diferentes tipos de cifrado o encriptación de información usando tecnologías avanzadas; algunos tipos son:

Cifrado simétrico de búsqueda (SSE): SSE permite a una parte externalizar de forma segura su almacenamiento de datos a otra parte, mientras conserva el derecho de buscar sobre él de forma selectiva. En los últimos años, este tema ha sido objeto de investigación activa [6].

Symmetric Image Encryption (SIE): un novedoso método de cifrado de imágenes basado en una estructura compuesta caótica. Una clave externa y dos sistemas logísticos se utilizan para el cifrado, que baraja las ubicaciones y sustituye los valores grises por los píxeles de la imagen [6].

Cifrado de imagen: para proteger el contenido de la imagen, la mayoría de los algoritmos de cifrado actuales convierten la imagen original en una imagen similar a una textura o similar al ruido, que es un indicador visual obvio de la existencia de una imagen cifrada, lo que resulta en un número desproporcionadamente grande de ataques [6].

Cifrado dinámico de búsqueda (DSE): se completa utilizando las características de un esquema PEKS y un filtro Bloom; un mecanismo de búsqueda de texto cifrado se completa en un canal inseguro; la búsqueda de palabras clave difusas está habilitada utilizando un esquema de cifrado de búsqueda de clave pública. La invención admite

búsquedas de múltiples palabras clave en chino; las palabras clave de un documento se pueden agregar o eliminar dinámicamente [6].

2. ¿Qué tanto influye en el control de la corrupción electoral en una organización?

Las elecciones son representativas porque cambian la realidad de un país, es la forma en la que todos participan de la política en una democracia. La votación electrónica se presenta como una diáfanidad para la democracia por las siguientes ventajas [7]:

Manipulación sencilla: las personas no tienen necesidad de saber leer o escribir; solamente con presionar un botón que señala el candidato será suficiente para el voto [8].

Sistema Autónomo: las computadoras son creadas exclusivamente para el sistema de votación, no hay forma de acceder para robar o cambiar la información [9].

Desaparece el voto nulo: la votación, al ser por botones, no deja opción a marcar de forma incorrecta y dañar el papel de votación [10].

Permite auditorías: el software permite recoger y evaluar datos para demostrar qué tan confiable y seguro es en evitar la corrupción de los datos [11].

Control en tiempo real: cada voto tiene una huella de la hora exacta en la que el voto fue emitido. Esto es inmodificable, lo cual permite una verificación más precisa en caso de una auditoría [12].

Resultados ágiles: por el contrario del sistema de votación a papel, que toma mucho tiempo el conteo de los votos y puede ser corrompido fácilmente. El sistema electrónico puede soportar cantidades muy grandes de usuarios y realizar las operaciones muy rápidamente, entregando los resultados casi al instante [13].

3. ¿Cómo se relacionan el e-voting con el uso de tecnologías como *blockchain*?

A lo largo de los años el concepto de votación ha sido relacionado con las sociedades u organizaciones democráticas, siendo este un pilar fundamental (13); sin embargo, un gran problema que se ha manifestado constantemente en organizaciones y sociedades con la tradicional votación en papeletas, es que esta misma da lugar a malas prácticas y manipulaciones graves durante y después de la votación (242), con el fin de superar estos problemas planteados, que se podrían definir como corrupción, por los sistemas de votación o elección convencional; en 1981 Chuan introdujo el primer sistema de votación electrónica (*E-voting*) en los últimos años, el *blockchain*, el cual se puede definir como un sistema distribuido con tecnologías de registros inmutables (246), lo cual ha traído la atención de un número significativo de aplicaciones por ser una base de datos descentralizada distribuida que mantiene una lista de registros de datos en constante crecimiento (13); esto podría significar que el *blockchain* nos permite generar una votación por medio de un sistema seguro y verificable (15).

Además de esto, la implementación de un sistema de voto electrónico implica que la tecnología movilizadora esté alineada con los principios de la democracia. El advenimiento de tecnologías distribuidas como *blockchain* podrían potenciar resolver los problemas que enfrentan los actores del proceso de votación (2).

Una cadena de bloques es un conjunto de bloques compuestos por transacciones válidas que funcionan de forma descentralizada entre pares. En un sistema de cadena de bloques, cualquier nodo puede iniciar una transacción que se puede propagar a todos los nodos dentro de la red. Para evitar el no repudio, se utiliza una firma digital para verificar la identidad de un usuario (el nodo) y certificar su actividad dentro de la cadena de bloques; todos los demás nodos

pueden controlar la firma (3), Una vez que se valida la transacción, la función hash se moviliza para agregar el bloque a la cadena de bloques de forma inviolable (2).

Las cadenas de bloques se pueden segmentar de tres maneras: (1) la cadena de bloques pública, visible para todos en Internet; cualquiera puede verificar y agregar un bloque de transacciones a la cadena de bloques (); (2) la cadena de bloques privada, visible para todos en Internet, pero solo unas pocas personas pueden verificar y agregar bloques de transacciones (); y (3) el consorcio, compuesto por organizaciones o grupos que son los únicos que pueden acceder, verificar o agregar bloques () este último podría ser implementado dentro en un sistema cerrado de e-voting, para que aquellos encargado de las selecciones realicen un monitoreo exhaustivo de la legalidad de la acción de votar por parte de los usuarios.

VI. Conclusiones

Se observa que, en la evolución de los sistemas de votación y desde sus inicios, llegando hasta la actualidad, obtenemos los sistemas de votación electrónica, los cuales se buscan ajustar a la necesidades de los procesos de votación; partiendo de esto, podemos encontrar que la principales tendencias son el uso de tecnologías como criptografía o *blockchain* para garantizar la seguridad e inalterabilidad de la información,

y también el uso de la inteligencia artificial por medio de reconocimiento facial u otras tecnologías biométricas para verificar la identidad de los votantes y evitar casos de suplantación.

Se puede encontrar una estrecha relación entre un sistema de *e-voting* y el *blockchain*; todo esto debido al control y a la seguridad que el *blockchain* nos permite tener de las transacciones realizadas en un sistema, teniendo en cuenta que el *e-voting* es un sistema que intenta ser una mejora para las formas de votación o elección convencional; esta debe de partir de la idea de que el control de las excepciones o posibles fugas de veracidad que encontramos en un sistema de votación convencional, como es el del modelo físico, debe de mejorar; en este apartado es donde interviene el *blockchain*.

En conclusión, la votación electrónica se presenta como una solución efectiva y transparente para las elecciones en una democracia, ya que ofrece una serie de ventajas que mejoran la eficacia y la precisión del proceso electoral. Además, la votación electrónica elimina muchos de los problemas y riesgos asociados con el sistema de votación en papel, lo que hace que sea una opción viable para garantizar la integridad de las elecciones y la representatividad de los resultados. En resumen, la votación electrónica es una opción valiosa para mejorar la democracia y garantizar la participación de todos los ciudadanos en la política de su país.

VII. Referencias

- [1] M. Pawlak & A. Poniszewska-Marañda, "Trends in blockchain-based electronic voting systems", *Inf Process Manag*, vol. 58, n° 4, p. 102595, Jul. 2021. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.IPM.2021.102595.
- [2] P. Baudier, G. Kondrateva, C. Ammi, & E. Seulliet, "Peace engineering: The contribution of blockchain systems to the e-voting process", *Technol Forecast Soc Change*, vol. 162, p. 120397, 2021. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.TECHFORE.2020.120397.
- [3] G. Revathy, K. Bhavana Raj, A. Kumar, S. Adibatti, P. Dahiya, & T. M. Latha, "Investigation of E-voting system using face recognition using convolutional neural network (CNN)", *Theor Comput Sci*, vol. 925, pp. 61–67, 2022. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.TCS.2022.05.005.
- [4] D. Berdik, S. Otoum, N. Schmidt, D. Porter, & Y. Jararweh, "A Survey on Blockchain for Information Systems Management and Security", *Inf Process Manag*, vol. 58, n° 1, p. 102397, 2021. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.IPM.2020.102397.
- [5] S. Panja & B. Roy, "A secure end-to-end verifiable e-voting system using blockchain and cloud server", *Journal of Information Security and Applications*, vol. 59, p. 102815, 2021. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.JISA.2021.102815.
- [6] S. Ullah, J. Zheng, N. Din, M. T. Hussain, F. Ullah, & M. Yousaf, "Elliptic Curve Cryptography; Applications, challenges, recent advances, and future trends: A comprehensive survey", *Comput Sci Rev*, vol. 47, p. 100530, 2023. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1016/J.COSREV.2022.100530.



Jhan Pablo Agudelo Escalante, Camilo Alberto Yáñez Olivales, Laura Yolima Moreno Rozo (2023).

Aplicación y evaluación de métodos de conservación a corto y mediano plazo para hongos filamentosos y levaduras de interés industrial, agroindustrial y biotecnológico. Cuaderno Activa, 15, 71-83.



Aplicación y evaluación de métodos de conservación a corto y mediano plazo para hongos filamentosos y levaduras de interés industrial, agroindustrial y biotecnológico

Application and evaluation of conservation methods in the short and medium term for filamentous fungi and yeasts of industrial, agro-industrial, and biotechnological interest

Jhan Pablo Agudelo Escalante¹, Camilo Alberto Yáñez Olivales², Laura Yolima Moreno Rozo³

Tipo de Artículo: Investigación.

Recibido: 10/01/2022 **Aprobado:** 31/08/2022 **Publicado:** 22/12/2023

Resumen: El presente estudio se centró en la aplicación y evaluación de las técnicas de conservación para 14 hongos filamentosos y 4 levaduras. Los métodos utilizados fueron congelación con glicerol al 10%, suspensión en solución salina al 0,85%, desecación en papel filtro y suelo, valorados a corto y mediano plazo, donde se evaluó su viabilidad por medio de la técnica de microgota, permitiendo observar su pureza y estabilidad morfológica. Se tomó un inóculo inicial, para continuar a realizar la hora cero y sus respectivas evaluaciones durante 6 meses (M1, M2, M3, M4, M5, M6), para determinar el mejor

método al cual responden las cepas de estudio. Se realizó un diseño experimental utilizando bloques al azar, con siete repeticiones y datos estadísticos mediante software ®IBM SPSS Statistics 23 prueba Duncan y una significancia de ($\leq 0,05$). Como resultado, se recuperaron el 95% de las cepas evaluadas, demostrando que los cuatro métodos de conservación implementados cumplieron los parámetros de viabilidad, pureza y estabilidad morfológica, debido a que mantienen las características iniciales de cada microorganismo; el mejor método de conservación fue suspensión en solución salina al 0,85% con una media de

1 Autor correspondiente: Ingeniero Biotecnológico, Grupo de Investigación en Ciencias Biológicas MAJUMBA, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. jhanpabloae@ufps.edu.co. ORCID: 0000-0002-4778-3845.

2 Ingeniero Biotecnológico, Grupo de Investigación en Ciencias Biológicas MAJUMBA, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. camiloyanez29@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4790-5363.

3 Microbióloga. MSc. PhD. Docente Tiempo Completo. Grupo de Investigación en Ciencias Biológicas MAJUMBA, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. laurayolimamr@ufps.edu.co. ORCID: 0000-0001-8903-671X.

4,1535 (a) y viabilidad del 61,1% (a), seguido por congelación con glicerol al 10% con una media de 4,032(a, b) y viabilidad de 58,8% (a, b). Por lo tanto, se sugiere la implementación de estos dos métodos para preservar las presentes y futuras cepas de hongos filamentosos y levaduras del laboratorio.

Palabras clave: Hongos filamentosos, levaduras, viabilidad, pureza y estabilidad morfológica.

Abstract: The present study focused on the application and evaluation of conservation techniques for 14 filamentous fungi and 4 yeasts. The methods used were freezing with 10% glycerol, suspension in 0.85% saline solution, drying on filter paper and soil, evaluated in the short and medium term; where its viability was evaluated through the micro drop technique, allowing to observe its purity and morphological stability. An initial inoculum was taken, to continue to carry out zero hour and its respective evaluations for 6 months (M1, M2, M3, M4, M5, M6) to determine the best method to which the study strains respond. An experimental design was carried out using randomized blocks, with seven repetitions and statistical data using the IBM SPSS Statistics 23 Duncan test and a significance of (≤ 0.05). As a result, 95% of the evaluated strains were recovered, demonstrating that the four conservation methods implemented met the parameters of viability, purity, and morphological stability, since they maintain the initial characteristics of each microorganism, the best conservation method was suspension. in 0.85% saline with a mean of 4.1535 (a) and viability of 61.1% (a), followed by freezing with 10% glycerol with a mean of 4.032 (a, b) and viability of 58.8% (a, b). Therefore, the implementation of these two methods is suggested to preserve the present and future strains of filamentous fungi and yeasts in the laboratory.

Keywords: Filamentous fungi, yeasts, viability, purity and morphological stability.

I. Introducción

Los microorganismos representan un papel esencial para el mantenimiento y funcionamiento de los ecosistemas globales y como fuente de nuevos recursos para el desarrollo de la medicina, la industria, la agricultura y la biotecnología; por ello, se hace necesario conservar esta fuente microbiana y esto se garantiza mediante las colecciones de cultivos [1], [2]. Es fundamental conocer las condiciones de crecimiento y temperaturas apropiadas, las propiedades bioquímicas y las necesidades fisiológicas de cada microorganismo, así como también los métodos de preservación favorables para su conservación y mantenimiento en el tiempo [3]. La conservación microbiana contempla métodos de conservación a corto, mediano y largo plazo. La preservación a corto plazo se utiliza cuando no hay suficiente infraestructura o equipamiento, y dado que el método más utilizado para la conservación de este tipo de microorganismos es la siembra continua o repiques sucesivos.

Se ha observado que la resiembra continua o repiques sucesivos no es una técnica adecuada y muchas de las cepas bacterianas y fúngicas pierden viabilidad, y pueden presentar microorganismos contaminantes, impidiendo el mantenimiento de cultivos puros a través del tiempo, haciendo improductivo el esfuerzo del personal que ha aislado estos microorganismos. Este sistema de conservación en subcultivos seriados o repiques sucesivos es también el que tradicionalmente se ha utilizado en Colombia [4]. Con el fin de seleccionar el método de conservación más adecuado, se realizan evaluaciones de viabilidad celular, pureza e, incluso, la determinación de la actividad biológica por la cual se aisló el microorganismo [5].

El objetivo de este trabajo fue evaluar la viabilidad mediante dilución seriada y siembra por microgota, junto con diseño experimental utilizando bloques al azar, con siete repeticiones, obteniendo datos prácticos a través de experimentos en el laboratorio y comparándolos

con estudios estadísticos mediante software ®IBM SPSS Statistics 23 prueba Duncan y una significancia de ($\leq 0,05$), La prueba Duncan forma dos subconjuntos: el subconjunto 1, integrando los hongos filamentosos y levaduras, indica que sus medias son iguales, y el subconjunto 2, integrado por los cuatro métodos de conservación; esta prueba indica una diferencia significativa entre subconjuntos. Para así seleccionar el método más adecuado para la conservación de los microorganismos dentro del laboratorio y poder estudiar su pureza con un resultado de presencia o ausencia de colonias características de cada una de ellas en el medio de cultivo seleccionado; la estabilidad morfológica se realizó comparando la siembra periódicamente con la evidencia obtenida de la cepa inicial, tanto en características macroscópicas como en estructuras microscópicas, durante un periodo de 6 meses.

II. Metodología

Cultivos microbianos

Los microorganismos utilizados fueron cepas de *Beauveria bassiana*, *Fusarium semitectum*, *Fusarium sp*, *Isaria lilacinus*, *Isaria fumosoroseus*,

Penicillium crysogenum, *Penicillium roquefortii*, *Rhizoctonia sp*, *Rhizopus sp*, *Curvularia sp*, *Trichoderma viride*, *Trichoderma harzianum*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Candida utilis*, *Saccharomyces boulardii*, *Saccharomyces ovarum* y *Saccharomyces cerevisiae*, las cuales se conservaban por el método de repiques sucesivos en el Laboratorio de Investigaciones de Microbiología Avanzada de la Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. Estas cepas se reactivaron en medio avena (avena molida 20,0g, agar-agar 17,0g, micostatin 0,03mL, pH final: $6,0 \pm 0,2$ a 25°C) y agar Sabouraud (glucosa 0,4g/L, pluripeptona 10 g/L, agar 15g/L, cloranfenicol 0,05 g/L, pH final: $5,5 \pm 0,2$ a 25°C), para hongos y levaduras, respectivamente; se llevaron a incubación de 5 a 7 días/ 25°C .

Conservación de los microorganismos

Se aplicaron 4 métodos de conservación: congelación con glicerol al 10%, suspensión en solución salina al 0,85%, desecación en papel filtro y suelo. En un diseño experimental al azar por un periodo de 6 meses para evaluar su viabilidad, estabilidad y pureza de cada uno los métodos a utilizar. Los métodos que se implementaron son descritos en la tabla 1.

Tabla 1. Métodos de conservación implementados

Método	Metodología	Material a utilizar	Referencia
1	Tubos eppendorf en congelación con glicerol al 10% estéril en ultracongelación a -50°C .	90 tubos eppendorf almacenados por separado en bolsas plásticas, con 9 tubos con muestras a evaluar y 1 blanco como control.	[1] y [6] modificado de [7]
2	Tubos eppendorf en suspensión de solución salina a 0,85% estéril en refrigeración a 4°C .	90 tubos eppendorf almacenados por separado en bolsas plásticas, con 9 tubos con muestras a evaluar y 1 blanco como control.	Modificado de [8]
3	Tubos eppendorf en desecación de papel filtro estéril en refrigeración a 4°C .	90 tubos eppendorf almacenados por separado en bolsas plásticas, con 9 tubos con muestras a evaluar y 1 blanco como control.	Modificado de [9]

Método	Metodología	Material a utilizar	Referencia
4	Tubos eppendorf con suelo estéril en refrigeración a 4°C, en condiciones de oscuridad.	90 tubos eppendorf almacenados por separado en bolsas plásticas, con 9 tubos con muestras a evaluar y 1 blanco como control.	Modificado de [10]

Nota: para los 4 métodos utilizados se realizaron un total de 360 réplicas por cepa en donde se planteó de esta manera para futuras investigaciones a largo plazo.

Nota: Fuente elaboración propia (2023).

Preparación del inóculo

Para la preparación del inóculo se utilizó un Erlenmeyer aforado con solución isotónica estéril; a cada cepa se le realizó raspado con ayuda de espátula estéril y/o hisopo estéril, permitiendo homogenizar la muestra mediante un vórtex para luego calcular la concentración inicial de cada uno de los inóculos preparados (modificado de [11]), para luego ser usados en la evaluación de cada uno de los métodos de conservación. La concentración de cada inóculo fue calculada mediante conteo directo en cámara de Neubauer ®Boeco-Bright Line. La concentración debe oscilar entre 104 y 107 células/ esporas/mL [10].

Método de conservación por congelación con glicerol 10%: se agregaron 500µL de la solución de glicerol al 20% a cada tubo eppendorf, para llevar a cabo la esterilización en autoclave ®Allamerican 75X a 121°C/15 Psi/15min por 3 veces. Se adicionaron 500 µL del inóculo para cada cepa en los tubos con glicerol al 20%, logrando una concentración final del crioprotector glicerol al 10%, procediendo a la conservación en ultracongelador (®Thermo Scientific-Forma 88000 Series a -50°C) [6]. Para su recuperación se retira el tubo eppendorf del ultracongelador, se verifica que esté bien sellado, y se lleva a un baño termostático a 37°C/10min, para lograr un equilibrio térmico [6], [1] modificado [7], finalmente se realiza su evaluación de viabilidad, pureza y estabilidad morfológica de cada cepa.

Método de conservación por suspensión en solución salina al 0,85%: se agregaron 500 µL de solución salina al 0,85% a cada tubo eppendorf,

siendo esterilizados en autoclave a 121°C/15 Psi/15min. Agregando 500µL del inóculo para cada una de las cepas en los tubos previamente marcados e identificados y procediendo a la conservación en refrigerador ®Thermo Scientific-Jewett a 4°C modificado [8]. Para su recuperación se retira el tubo del refrigerador y se realiza dilución seriada.

Método de conservación en desecación de papel filtro: se cortaron tirillas de papel filtro 0,6x1,5mm, separadas en sobres de papel Kraft y se esterilizaron en horno ®Thermo Scientific-Heratherm, a 160°C/2h. Las tirillas de papel filtro se dispusieron de manera aséptica sobre cajas Petri con agar PDA, se agregaron 5µL del inóculo sobre cada tirilla y se llevaron a incubación a 25°C/5días; posteriormente, las tirillas impregnadas del microorganismo son transferidas a las cajas vacías para su proceso de desecación a 37°C/7días. Se guardaron 4 tirillas por tubo eppendorf debidamente marcado e identificado y se llevó a refrigeración a 4°C para posteriormente realizar las evaluaciones correspondientes modificado [9]. Para el proceso de recuperación de cada una de las cepas se extrajo una tirilla de papel filtro conservada, y se suspendió en 1 ml de Tween 20 al 2% estéril, agitando en vórtex por 5seg/50rpm, liberando las células y estructuras reproductivas de la cepa, permitiendo evaluar periódicamente.

Método de conservación en suelo: se añadieron 0,5 g de suelo a cada tubo eppendorf, siendo esterilizados en autoclave durante tres veces a 121°C/15Psi/30min, dejando enfriar completamente, posteriormente se adicionaron se 200µL del inóculo inicial en los tubos con

suelo, previamente marcados e identificados; se llevaron a incubación a 25°C/3días; pasado este tiempo se conservaron en refrigerador a 4°C en condiciones de oscuridad modificado [10]. Para su recuperación se suspendió el contenido total de un tubo eppendorf en un vial con agua peptona estéril al 1% agitando en vórtex por 5seg/50rpm, esperando la formación de tres fases y tomando fase intermedia para proceder a realizar dilución seriada.

Evaluación de los métodos de conservación

Con el fin de seleccionar el método de conservación adecuado, se realizaron evaluaciones periódicas para determinar la viabilidad, pureza, y estabilidad morfológica. Empleando 2 medios de cultivo específicos, agar avena para hongos filamentosos y PDA para las levaduras. Los métodos de conservación se evaluaron por un diseño experimental utilizando bloques al azar, con siete

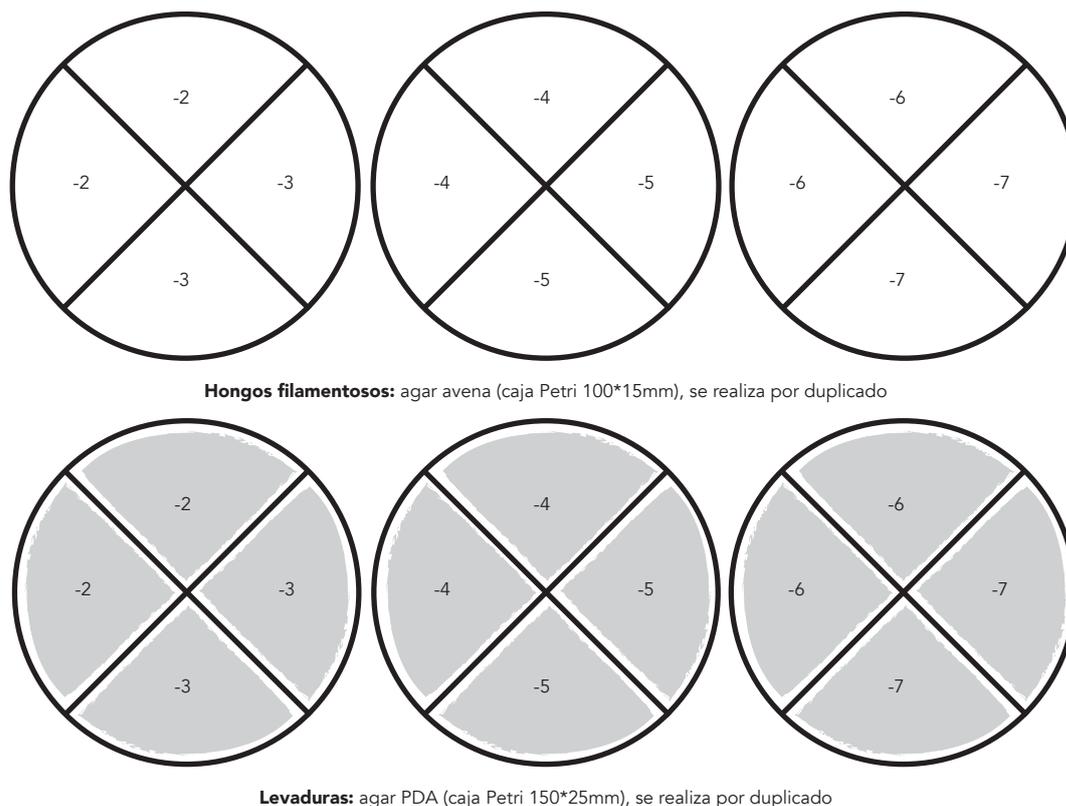
repeticiones; una evaluación inicial u hora cero, posteriormente se realizó una evaluación mensual durante los 6 meses siguientes a la conservación; retirando 3 tubos al azar con el microorganismo y el blanco por cada método; de esta forma se evaluaron 16 muestras al mes para cada cepa estudio.

La Viabilidad de cada una de las cepas se evaluó mediante técnica de goteo en placa o microgota, por tener buena resolución, ser rápida y económica para la cuantificación de células fúngicas [12]. La técnica consistió en realizar diluciones seriadas del inóculo y suspender una microgota en el medio de cultivo gelificado; para la dilución se dispuso de 3 series para cada método, desde la dilución 10-1 hasta 10-7 como lo muestra la figura 1, y para el sembrado de cada cepa utilizada se dispuso de cajas Petri de diferente tamaño y el medio de cultivo indicado para su crecimiento como lo muestra la figura 2.

Figura 1. Esquema de las diluciones usadas para la viabilidad



Nota: Fuente elaboración propia (2023).

Figura 2. Esquemas utilizados en las cajas Petri para el sembrado de las cepas

Nota: Fuente elaboración propia (2023).

Las lecturas se realizaron para los hongos filamentosos entre el día 5 y 7 luego de la siembra y para las levaduras al día 3; reportando UFC (Unidades Formadoras de Colonias/mL, UFC/mL), observando la forma de crecimiento y si presenta variación en las diferentes conservaciones. Se realizaron recuperaciones periódicas para evaluar la conservación de cada una de las cepas; es decir, que el microorganismo no variara su morfología macroscópica y microscópica. La pureza se confirmó evidenciando ausencia de crecimiento de colonias, pigmentaciones, estructuras diferentes de la cepa e implementando una prueba control o blanco para cada cepa en cada método de conservación. La estabilidad morfológica se observó con un comparativo estructural y de pigmentos con la cepa inicial, tanto macroscópicamente como microscópicamente.

Análisis estadístico

La viabilidad de cada uno de los hongos filamentosos y levaduras se realizó mediante un recuento de la población microbiana en UFC mL^{-1} según cada método de conservación, se transformó a unidades Log_{10} . El comportamiento de esta población microbiana se cuantificó con la viabilidad a corto y mediano plazo, según la ecuación 1, y se expresó como la tasa de supervivencia del microorganismo [13].

$$\frac{X_t}{X_0} * 100 \quad [14] \quad \text{Ecuación (1)}$$

A partir de estos resultados, se realizó un análisis de varianza a través de un modelo lineal general multivariante y pruebas de comparación múltiple post hoc para las medias observadas a través

de la prueba de Duncan para un nivel de una significancia ($\leq 0,05$) en el programa estadístico ©IBM SPSS Statistics 23.

Resultados

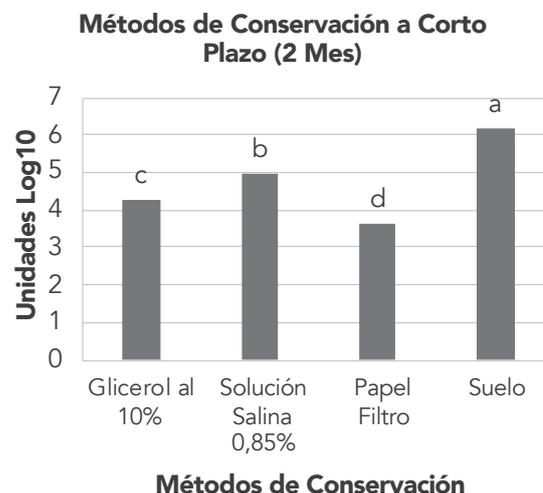
Viabilidad

La viabilidad se consideró positiva observando crecimiento solo de colonias con las mismas características iniciales para cada hongo filamentosos y levadura, correspondientes a las cualidades morfológicas como color y textura en todos los hongos evaluados. No se observó contaminación durante todas las evaluaciones realizadas. Con respecto a los resultados a corto plazo (2 meses), para la viabilidad de los 4 métodos de conservación, el análisis estadístico de las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos (a, b, c, d), mostró que el método a corto plazo más estable para las 17 cepas fue el de suelo con una media 6,1533(a), seguido de solución salina al 0,85% con 4,9631(b), glicerol al 10% con 4,2892(c) y papel filtro con 3,6033(d), como lo muestra la figura 3. El método de conservación en suelo obtuvo diferencias significativas con respecto a cada uno de los métodos, coincidiendo con resultados de investigaciones a este proceso, que explican que los conidios del hongo y blastoconidias de las levaduras posiblemente tienen afinidad con los agregados del suelo que no fueron desnaturalizados por el proceso de esterilización [15].

Así mismo, el suelo actúa como protector de los microorganismos, los cuales se adhieren a las partículas del suelo cuando ocurre la desecación con el objetivo de detener el crecimiento microbiano mediante la eliminación del agua disponible de la célula, como lo han indicado investigaciones asociadas al proceso [1], [5]. De acuerdo con ello, esta técnica también podría ser utilizada en la conservación, no solo de otros hongos filamentosos y levaduras productores de conidios y blastoconidias respectivamente, sino también de la gran mayoría de bacterias que producen células enquistadas en condiciones

adversas, como bacterias del género *Bacillus* sp formadoras de esporas, que frecuentemente son aisladas de suelo.

Figura 3. Porcentaje (%) de viabilidad a corto plazo

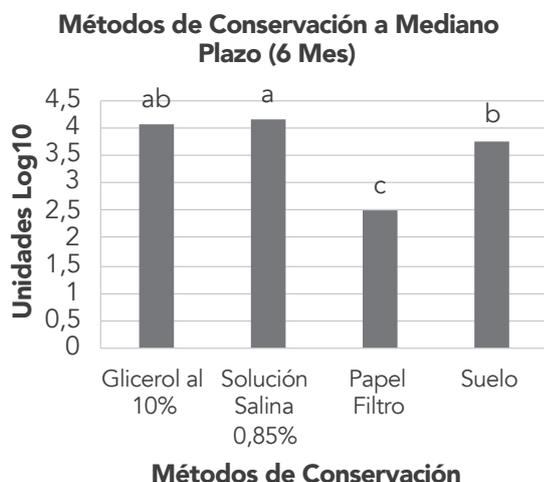


Nota: Fuente elaboración propia (2023).

En la figura 4, se observan los resultados para viabilidad con los 4 métodos de conservación aplicados después de 6 meses. El análisis estadístico mostró las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos (a, b, c), indicando que los métodos a mediano plazo (6 meses), más estables para las 17 cepas, fueron solución salina al 0,85% con una media de 4,1535(a) y glicerol al 10% con 4,032(a, b), suelo con 3,7612(b) y papel filtro con 2,4661(c), donde la conservación con solución salina a 0,85% y glicerol al 10% hacen parte de un subconjunto (a) indicando que no presentan diferencias significativas entre ellas; sin embargo, el método del glicerol al 10% pertenece también a otro subconjunto (b) junto con el método de conservación en suelo (b) lo que demuestra que, a pesar de estar en diferentes subconjuntos, es tan poca la significancia que en la práctica se puede implementar cualquiera de estos tres métodos, solución salina a 0,85%, glicerol a 10% y suelo, obteniendo excelentes resultados (Tabla 2); el papel filtro se encuentra en el subconjunto (c) indicando que existen diferencias significativas con todos los

métodos anteriores; aunque no pertenece a los primeros subconjuntos su diferencia, no supera en 1,5 unidades logarítmicas frente a los mejores métodos, queriendo decir que la conservación en papel filtro también podría ser una buena opción a la hora de implementar métodos de conservación a corto plazo, ya que al transcurrir del tiempo va perdiendo viabilidad como lo sugieren otras investigaciones [16].

Figura 4. Porcentaje (%) de viabilidad a mediano plazo



Nota: Fuente elaboración propia (2023).

La técnica suspensión en solución salina a 0,85% fue la que reportó mayor viabilidad, concordando con lo reportado con otras investigaciones que exponen que los parámetros de viabilidad y estabilidad morfológica de los cultivos microbianos aislados de *Trichoderma* sp. y *Azotobacter* sp. y el mantenimiento de su pureza, indicaron que las técnicas de conservación más adecuadas fueron los viales con solución salina estéril (0,85% NaCl) y viales con suelo estéril, ambos bajo condiciones de refrigeración a 4°C [4], [6].

La técnica de congelación en glicerol al 10%, reportó un buen porcentaje de viabilidad, debido a la concentración del crioprotector que impide que se formen cristales de hielo sin ser tóxica para

los microorganismos estudiados; estos resultados coinciden con los reportados por algunos autores, indicando que los crioprotectores son sustancias que protegen del daño que se puede producir en las células microbianas en el momento de la congelación [17], [18], [19]. La temperatura utilizada en el presente trabajo para esta técnica fue favorable, coincidiendo con la aplicación de la congelación ultra fría (-50 a -80), que afirman que los mayores porcentajes de viabilidad se dan al conservar a temperatura de -70°C [20], [21].

La conservación en suelo alcanzó un valor de 3 unidades logarítmicas por debajo de la evaluación a corto plazo (2 meses), indicando que obtuvo menos valores individuales de porcentaje de viabilidad, al ser comparado con las otras dos metodologías de conservación en solución salina a 0,85% y glicerol al 10%; sin embargo, no existen diferencias significativas entre este método y el método de conservación en glicerol al 10%, determinando igualmente que la significancia entre ellos permite deducir que no existe mayor diferencia entre los tres métodos en el momento de requerir la implementación de alguno, siendo la técnica de conservación en suelo estéril, un método efectivo, de fácil aplicabilidad y eficaz, ajustándose a lo reportado por algunos autores que fundamentan que el soporte que ofrece el suelo es estable, pues se considera un material G.R.A.S. (generalmente reconocido como seguro) y no cabe la posibilidad de que contenga sustancias que, a pesar de realizar el proceso de esterilización, sigan siendo reactivas y generen detrimento del microorganismo conservado [5].

La técnica del papel filtro que se ubica en tercer subconjunto (c) evidencia la disminución de viabilidad de 1 o 2 unidades logarítmicas con respecto a la evaluación a corto plazo (2 meses); a pesar de no obtener los valores de viabilidad deseados, no deja de ser un buen método, pues es económico, no requiere de equipos sofisticados, solo papel filtro, tubos eppendorf y un refrigerador común.

Tabla 2. Tasa de supervivencia, según los métodos de conservación después de 6 meses

Método de conservación	Tasa de supervivencia						
	Hora 0	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Glicerol al 10%	4,5924c	4,6106b*	4,2892c	3,8884b*	4,0645b*	3,7422a*	4,032ab*
NaClal0,85%	4,9076b	4,7724b*	4,9631b	4,2265b*	3,873b*	3,7682a*	4,1535a*
Papel filtro	4,0435d	3,7814c	3,6033d	3,0608c	3,271c	2,6592b	2,4661c
Suelo	5,9518a	5,5643a	6,1533a	5,3041a	4,9755a	3,5555a*	3,7612b*

(*) Medias seguidas con la misma letra en cada columna no presentan diferencias significativas entre sí por el Test de Duncan ($P \leq 0,05$).

- Mayor viabilidad.
- Menor viabilidad.

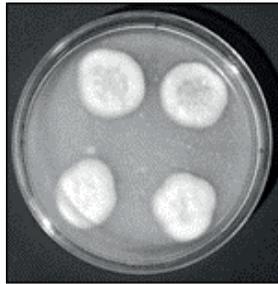
Nota: Fuente elaboración propia (2023).

Según los resultados obtenidos, se seleccionaron los métodos de conservación en tubos eppendorf con solución salina (NaCl 0,85%) refrigerados a 4°C, congelación con glicerol al 10% en ultracongelación a -50°C y viales con suelo estéril, para la conservación de los 18 microorganismos, teniendo en cuenta que fueron más presentes en el mantenimiento de la viabilidad celular y la pureza de los cultivos. Se recomendó mantener los microorganismos estudio en los tres métodos de conservación simultáneamente dentro del laboratorio.

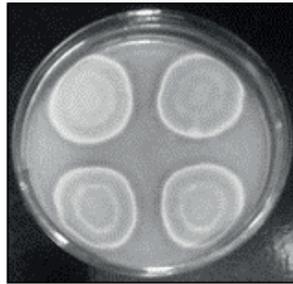
Pureza y estabilidad morfológica

La pureza y estabilidad morfológica de las cepas evaluadas durante los 6 meses se reconoció visualmente mediante un estereoscopio (Leica 500) para su microscopia y un microscopio (Leica

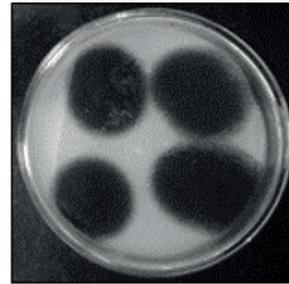
DM500) con objetivo de 40X y las levaduras con objetivo a 100X para su microscopia, buscando la presencia de contaminantes como bacterias, levaduras u otros hongos. Como resultado de esta prueba tal como se muestra en las figura 4, se observó que las cepas no fueron afectadas morfológicamente por el tiempo de conservación, ni por los métodos usados, ya que en todas las cajas evaluadas se observó únicamente crecimiento de micelio y colonias, características de cada uno de los hongos filamentosos y levaduras, lo que confirma la validez de estos métodos para mantener la pureza de hongos como lo reportan estudios de conservación microbiana, donde las cepas que se evaluaron mantuvieron su pureza en condiciones estables durante el periodo de evaluación por métodos de conservación en buenas condiciones [5], [22], [23].

Figura 5. Crecimiento de la morfología macroscópica y microscópica

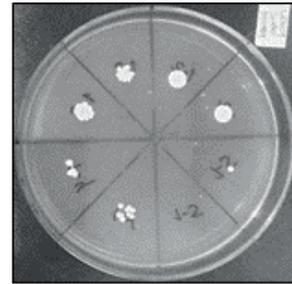
Beauveria bassiana
Método congelación
(Glicerol 10%)



Penicillium crysogenum
Método Deseccación en
Papel Filtro

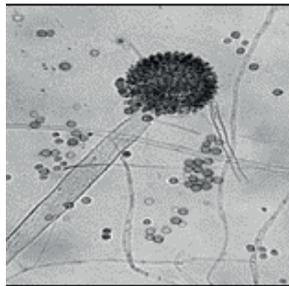


Aspergillus niger
Método Suspensión en
Solución Salina 0,85%

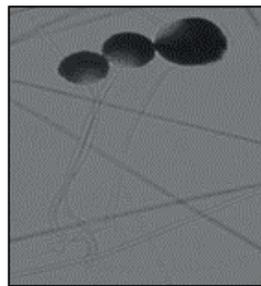


Candida utilis
Método de suelo

Macroscópio



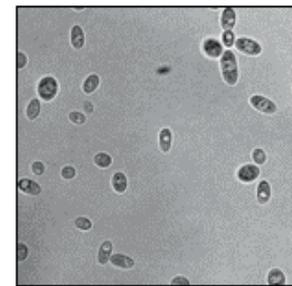
Aspergillus flavus



Rhizopus sp



Curvalaria sp



*Saccharomyces
boulardii*

Microscópio

Nota: Fuente elaboración propia (2023).

Se implementó la muestra en blanco o control, para cada una de las evaluaciones de los 4 métodos de conservación, donde se evaluó en conjunto con la viabilidad, sin presentar crecimiento alguno de microorganismos, indicando que las condiciones de asepsia del ambiente, mesones y material empleado para la conservación, siempre fueron las adecuadas para realizar la investigación, siguiendo el protocolo de desinfección empleados en el laboratorio. Los resultados obtenidos en las pruebas de pureza y estabilidad morfológica realizadas, demostraron que los métodos de conservación en estudio son aplicables para la preservación de hongos, ajustándose a lo mencionado por reportes sobre preservación de hongos, que los métodos de conservación permiten mantener su pureza y estabilidad morfológica de las cepas

almacenadas, aún después de ser mantenidas por largos periodos, incluso muchos años, sin ningún tipo de cambio de las mismas [24] y [25].

Todas las cepas de hongos filamentosos presentaron estabilidad morfológica durante el proceso de evaluación de los 4 métodos de conservación empleados, sin alterar cambios durante su crecimiento ni presentando otro tipo de estructuras miceliales diferentes a las iniciales; por otro lado, todas las cepas de levaduras también mantuvieron constantemente sus estructuras morfológicas estables, sin ser alteradas o modificadas por el tiempo de conservación; estos resultados coinciden con las afirmaciones hechas por [16], [3] y [9], quienes mencionaron que los métodos de conservación de cepas microbianas no deben afectar la

viabilidad, morfología y estabilidad de las cepas, por lo tanto los métodos evaluados en esta investigación cumplen con los objetivos de pureza y estabilidad morfológica y se pueden convertir en una buena alternativa para la preservación de hongos filamentosos y levaduras que hacen parte del Banco de Cepas del Laboratorio de Investigaciones en Microbiología Avanzada de la Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

III. Conclusiones

Los resultados del análisis estadístico realizado a los 4 métodos de conservación aplicados en el presente estudio, para mantener hongos filamentosos y levaduras, indicaron que las técnicas más adecuadas fueron congelación con glicerol al 10% en congelador a -50°C , suspensión en solución salina al 0,85% y conservación en suelo estéril; estos dos últimos bajo refrigeración a 4°C , a corto y mediano plazo no presentaron diferencias significativas entre ellos ($p \leq 0,05$), mostrando altos porcentajes de viabilidad, pureza y estabilidad en la caracterización macroscópica y microscópica de cada una de las cepas.

Los métodos de conservación evaluados y con resultados exitosos correspondientes a congelación con glicerol al 10% en ultracongelación a -50°C , suspensión en solución salina al 0,85% y conservación en suelo estéril bajo refrigeración a 4°C , fueron establecidos para mantener el banco de hongos

filamentosos y levaduras en el Laboratorio de Investigaciones en Microbiología Avanzada de la Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia, por considerarse eficaces económica y técnicamente, salvaguardando cada una de las cepas con sus características fenotípicas.

IV. Trabajo futuro

Aumentar el tiempo de incubación para los hongos filamentosos como *Rhizoctonia* sp, *Trichoderma viride*, *Trichoderma harzianum*, *Curvularia* sp, *Fusarium semitectum*, ya que generan estructuras diferenciales, tienden a retardar su completo crecimiento, mientras que *Rhizopus* sp tiende a tener un crecimiento acelerado de esporulación, su tiempo de incubación debe ser más corto.

Completar los formatos de los bancos de cepas de los laboratorios de microbiología, mediante caracterización molecular de cada una de las cepas estudio y aplicar pruebas fisiológicas, ya que, aparte de estudiar su viabilidad frente a cada método, se estudie cómo inciden los métodos en sus actividades biológicas.

Implementar otros métodos de conservación, tanto a corto, mediano y largo plazo, que permitan seguir preservando las cepas para futuros trabajos investigativos, de tal manera que se puedan ampliar los conocimientos en la aplicación de la industria de los hongos filamentosos y levaduras, y de sus metabolitos.

V. Referencias

- [1] Y. E. Morales., E. Duqu, O. Rodríguez,, "Bacterias preservadas, una fuente importante de recursos biotecnológicos", *Rev. Biotecnología Aplicada*, vol. 14, n°2, p. 11, 2010.
- [2] C. A. Del Puerto, E. Iglesias, T. Morales, N. Baños, M. D. Nocado MD, Carnota GY et al., "Organización y manejo de la colección de cepas de referencia del Instituto Finlay", *Rev. Vaccimonitor*, vol. 18, n° 1, pp. 20-24, 2009.
- [3] M. M. Panizo, V. Reviakina, V. Rodríguez-Lemoine, M. Dolande, V. Alarcón, G. Ferrara, N. García, G. González, "Micoteca del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel: 60 años preservando la diversidad fúngica de interés médico en Venezuela", *RevSocVenMicrobiol*, n° 35, pp. 4-12, 2015.
- [4] D. M. Cárdenas Caro, Y. Sarmiento Rangel, A. Hazel Vergel, "Evaluación de la estabilidad de *Trichoderma* sp. y *Azotobacter* sp. conservados por diferentes métodos", *Rev. Colomb. Biotecnol*, vol. XV, n° 1, 2013.
- [5] I. Henao, M. Franco-Correa, G. Marín, "Evaluación de métodos de conservación para *Aspergillus niger* con actividad enzimática amilolítica", *Universitas Scientiarum*, vol. 11, n° 2, pp. 51-60, 2006.
- [6] J. Camero Rodríguez, M. F. Linares Gómez, *Implementación de un Protocolo para la Conservación de Hongos Filamentosos con Potencial Biotecnológico de la Colección del Laboratorio de Química Microbiológica de la Pontificia Universidad Javeriana*, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias, 2013.
- [7] D. L. Ángel Alarcón, *Evaluación de técnicas de conservación para hongos filamentosos y levaduriformes en el cepario de la Pontificia Universidad Javeriana*, (Tesis de Pregrado). Bogotá D.C., Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, 2006.
- [8] L. P. Bermeo Escobar, *Influencia de tres métodos de conservación sobre la estabilidad y producción del hongo *Pleurotus ostreatus**. Manizales, Colombia: Universidad Católica de Manizales, Facultad Ciencias de la Salud, 2017.
- [9] J. Camero Rodríguez, M. F. Linares Gómez, *Implementación de un Protocolo para la Conservación de Hongos Filamentosos con Potencial Biotecnológico de la Colección del Laboratorio de Química Microbiológica de la Pontificia Universidad Javeriana*. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias, 2013.
- [10] L. A. Álvarez Vivas, *Identificación, conservación y conformación de un banco de hongos filamentosos aislados previamente de los páramos de cruz verde y guasca*. (Trabajo de grado). Bogotá D.C., Colombia: Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias, 2011.
- [11] D. Hernández Serna, A. S. Loaiza Cano, *Selección de un Método para la Conservación y Preservación de Actinomicetos Aislados del Suelo del Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología. Escuela de Tecnología Química, 2014.
- [12] Y. E. Morales-García, J. Hernández-Canseco, G. Ramos-Castillo, R. Pérez-y-Terrón, y J. Muñoz-Rojas, *Cuantificación de *Penicillium* sp. por el método de goteo en placa*. Puebla, México: Laboratorio de Microbiología Molecular, Laboratorio de Ecología Molecular Microbiana, Escuela de Biología, BUAP, CICM. Instituto de Ciencias, BUAP, 2016.
- [13] J. Muñoz-Rojas, P. Bernal, E. Duque, P. Godoy, A. Segura, y J. L. Ramos, "Involvement of cyclopropane fatty acids in the response of *Pseudomonas putida* KT2440 to freeze-drying", *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 72, n° 1, pp. 472-477, 2006.
- [14] L. M. Zamora, *Aislamiento, identificación y conservación de cultivos de bacterias lácticas antagonistas de microbiota contaminante de sangre de matadero*. (Tesis de Doctorado). Gerona, España: Universidad de Girona, 2003.

- [15] P. A. Vásquez, *Evaluación de diferentes métodos de conservación para cepas fúngicas de interés agrícola*. (Trabajo de grado). Bogotá D.C., Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Departamento de Microbiología. Carrera de Microbiología Industrial.
- [16] A. C. Acosta Ovallos, *Evaluación de técnicas de conservación para microorganismos de importancia en microbiología industrial en el Cepario de la Universidad de Santander*. Colombia: Universidad de Santander (UDES) Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Programa de Microbiología Industrial, 2019.
- [17] M. García y F. Uruburu, *Colección española de cultivos tipo (CECT). La conservación de cepas microbianas*. España. Universidad de Valencia, 2000. [En línea]. Disponible en: <http://www.cect.org/docs/cons.pdf>
- [18] T. Uzunova-Doneva y T. Donev: "Anabiosis and Conservation of Microorganisms", *Journal of Culture Collections*, vol. 66, n° 4, pp. 17-28, Bulgaria, 2004-2005.
- [19] D. Hernández Serna y A. S. Loaiza Cano, *Selección de un Método para la Conservación y Preservación de Actinomicetos Aislados del Suelo del Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología. Escuela de Tecnología Química, 2014.
- [20] A. Hernández, *Microbiología Industrial*. Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED), 2003. [En línea]. Disponible en: <http://books.google.com.co/>
- [21] R. A. Meza y A. F. Monroy, *Evaluación de la estabilidad del método de criopreservación en glicerol para el establecimiento de un banco de cepas*. (Trabajo de grado). Bogotá D.C., Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Departamento de Microbiología. Carrera de Microbiología Industrial, 2002.
- [22] Y. Pinzón-Gutiérrez, S.L. Bustamante y G. Buitrago, "Evaluación de métodos para la conservación de hongos fitopatógenos del ñame (*Dioscorea* sp.)", *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. XI, n° 2, pp. 8-18, 2009.
- [23] C. Fernández, L. Díaz, M. Illnait, C. Aragonés, G. Martínez, M. Perurena y I. Rodríguez, "Conservación de cultivos de hongos de importancia médica en agua destilada", *Revista Cubana de Medicina Tropical*, vol. 65, n° 3, pp. 361-369, 2013.
- [24] L. Homolka, "Preservation of live cultures of basidiomycetes - Recent methods", *Fungal Biology*, n° 118, pp. 107-125, 2024. [En línea]. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.funbio.2013.12.002>.
- [25] K. K. Nakasone, S. W. Peterson y S. C. Jong. Preservation and distribution of fungal cultures. en *Biodiversity of fungi: Inventory and monitoring methods*. El sevier Academic, USA, 2004, pp. 37-47.



Predicción y control del Trastorno por déficit de Atención con Hiperactividad en adultos: Una revisión de literatura.

Prediction and Control of Attention Deficit Hyperactivity Disorder in Adults: A review of the literature.

Juan David Ordosgoitia Salgado¹, Andrés David Díaz², Juan José Restrepo Zuluaga³

Tipo de Artículo: Revisión de literatura.

Recibido: 31/10/2023 **Aprobado:** 15/12/2023 **Publicado:** 22/12/2023

Resumen: La investigación aborda la necesidad de mejorar el diagnóstico y tratamiento del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) en adultos. Se propone utilizar técnicas de *machine learning* (ML) para desarrollar herramientas de predicción y diagnóstico temprano, así como estrategias de intervención personalizadas. Se llevó a cabo una exhaustiva Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) utilizando bases de datos especializadas como PubMed, Scopus, ScienceDirect y SpringerLink, con criterios de inclusión y exclusión definidos. Los hallazgos revelaron la eficacia de enfoques personalizados, que consideran factores individuales como el estilo de vida y el entorno social, además de los síntomas clínicos. Estos enfoques no solo mejoraron la precisión del diagnóstico, sino que también permitieron diseñar estrategias de tratamiento adaptadas a las necesidades de cada paciente. Esto resalta la importancia de integrar técnicas

de ML en la personalización de intervenciones para mejorar la calidad de vida de los adultos con TDAH.

Palabras clave: *Machine Learning*, Adult ADHD, ADGD diagnosis, ADHD assessment, Predictive factors, Common variables, Associated factors, Risk factors, Therapies, Treatment

Abstract: This research addresses the need to enhance the diagnosis and treatment of Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) in adults. It proposes the use of machine learning (ML) techniques to develop early prediction and diagnostic tools, along with personalized intervention strategies. An extensive Systematic Literature Review (SLR) was conducted, involving a comprehensive search in specialized databases such as PubMed, Scopus, ScienceDirect and SpringerLink, with defined inclusion and exclusion

1 Autor correspondiente: Juan David Ordosgoitia Salgado. Título: Ingeniero en Sistemas. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: juan.ordosgoitiasa@amigo.edu.co

2 Autor correspondiente: Andrés David Díaz. Título: Ingeniero en Sistemas. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: andres.diazon@amigo.edu.co

3 Autor correspondiente: Juan José Restrepo Zuluaga. Título: Ingeniero en Sistemas. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: juan.restrepozu@amigo.edu.co

criteria. The findings revealed the effectiveness of personalized approaches, taking into account individual factors like lifestyle and social environment in addition to clinical symptoms. These approaches not only improved diagnostic accuracy but also enabled the design of tailored treatment strategies to meet each patient's specific needs. This underscores the importance of integrating ML techniques in customizing interventions to enhance the quality of life for adults with ADHD.

Keywords: Machine Learning, Adult ADHD, ADGD diagnosis, ADHD assessment, Predictive factors, Common variables, Associated factors, Risk factors, Therapies, Treatment

I. Introducción

La presente investigación surge de la necesidad de abordar de manera más efectiva el diagnóstico y posible tratamiento del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) en adultos. El TDAH es una condición neuropsiquiátrica que puede tener un impacto significativo en la vida cotidiana de quienes lo padecen, afectando la concentración, la impulsividad y la hiperactividad. Dada la complejidad de este trastorno y su diagnóstico tardío en adultos, se busca emplear técnicas de *machine learning* (ML) para desarrollar herramientas de predicción y diagnóstico temprano, así como explorar posibles estrategias de intervención personalizadas para mejorar la calidad de vida de aquellos afectados.

Este trabajo tiene como objetivo analizar el estado actual de la investigación en el campo de la predicción y diagnóstico del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) en adultos, así como la identificación de individuos en riesgo de desarrollar esta condición. Se examinarán estudios que aborden el uso de técnicas basadas en *machine learning* (ML) para mejorar la precisión en la detección de TDAH en adultos. Además, se investigarán estrategias de intervención personalizadas, propuestas en estos estudios, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas afectadas.

Para alcanzar los objetivos propuestos, se llevó a cabo una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) exhaustiva y rigurosa. La metodología de la RSL se basó en una búsqueda de artículos científicos y publicaciones relevantes en bases de datos especializadas, como PubMed, Scopus y SpringerLink. Se utilizaron palabras clave y términos relacionados con el TDAH, el diagnóstico y tratamiento en adultos, así como ML y técnicas de inteligencia artificial. Los criterios de inclusión y exclusión se definieron para seleccionar estudios pertinentes y de alta calidad. La extracción y síntesis de datos se llevó a cabo de manera sistemática, analizando la metodología, resultados y conclusiones de los estudios seleccionados. Esta RSL permitió identificar tendencias, brechas y enfoques exitosos en la detección y tratamiento del TDAH en adultos, sentando las bases para la propuesta y desarrollo de la solución planteada.

Uno de los hallazgos más relevantes obtenidos a través de la Revisión Sistemática de la Literatura fue la creciente evidencia de la eficacia de enfoques personalizados en el diagnóstico y tratamiento del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) en adultos. Se identificó un conjunto de estudios que destacaban la importancia de considerar, no solo los síntomas clínicos, sino también factores individuales como el estilo de vida, el entorno social y las preferencias personales. Estos enfoques holísticos no solo mejoraron la precisión del diagnóstico, sino que también permitieron diseñar estrategias de tratamiento más efectivas y adaptadas a las necesidades

específicas de cada paciente. Este hallazgo resalta la necesidad de integrar técnicas de ML en la personalización de intervenciones para maximizar el impacto positivo en la calidad de vida de los adultos afectados por el TDAH.

II. Justificación de la revisión

Materiales

La realización de una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) en el tema del diagnóstico y tratamiento del Trastorno por Déficit de Atención

e Hiperactividad (TDAH) en adultos se justifica por diversas necesidades imperantes en el mundo real. En primer lugar, el TDAH es una condición neuropsiquiátrica que afecta a una considerable proporción de adultos en todo el mundo, generando una serie de desafíos en términos de diagnóstico temprano y enfoques de tratamiento adecuados. Dado que el TDAH en adultos a menudo pasa desapercibido o es malinterpretado, existe una necesidad urgente de desarrollar herramientas de diagnóstico precisas que consideren la complejidad de los síntomas y las características individuales.

Además, la creciente incorporación de técnicas de ML y análisis de datos, en el ámbito de la salud mental, ofrece una oportunidad única para abordar estas necesidades. La RSL permitirá identificar tendencias actuales en la literatura científica, así como enfoques exitosos y metodologías innovadoras para el diagnóstico y tratamiento del TDAH en adultos. Dada la diversidad de factores que influyen en la presentación y evolución de esta condición, la personalización de las intervenciones se ha convertido en una prioridad. La RSL brindará una comprensión más profunda de cómo se han aplicado las técnicas de ML en la personalización de tratamientos, permitiendo llenar un vacío en la literatura existente y ofreciendo soluciones con un enfoque más completo y efectivo.

En última instancia, esta RSL puede contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los adultos afectados por el TDAH al proporcionar una base sólida de conocimientos que guiará el diseño y desarrollo de sistemas de diagnóstico y tratamientos más precisos y personalizados. Además, la información recopilada podría tener un impacto positivo en la comunidad médica, al resaltar las mejores prácticas y enfoques prometedores en el campo de la salud mental y la aplicación de tecnologías de vanguardia. Por lo tanto, la realización de esta RSL se justifica como un paso esencial para abordar las necesidades actuales del mundo real en la temática del TDAH en adultos.

III. Formulación de las preguntas de investigación

1. ¿Cómo se ha aplicado el *machine learning* para la detección de posibles signos de TDAH en adultos?
2. ¿Cuáles son las variables más frecuentes para encontrar TDAH en adultos?
3. ¿Cuáles Terapias se han implementado en población adulta con TDAH?

IV. Definición y conceptos básicos

Algoritmo de clasificación: es un método que permite asignar una categoría o clase a un elemento, basándose en sus características o atributos. Por ejemplo, un algoritmo de clasificación podría determinar si una persona tiene o no una enfermedad, según sus síntomas, o si un correo electrónico es o no spam, según su contenido. Los algoritmos de clasificación se utilizan en diversas áreas como la medicina, la informática, la biología, la psicología, el marketing, etc. (6).

Detección Multimodal: es el proceso de reconocer e interpretar información proveniente de diferentes modalidades sensoriales, como el sonido, la imagen, el tacto o el movimiento. Permite a los sistemas informáticos interactuar con los usuarios de forma más natural y eficiente, así como mejorar el rendimiento y la precisión de las tareas de análisis de datos (6).

EEG (Encefalograma): Encefalograma o EEG, es una prueba que se usa para estudiar el funcionamiento del sistema nervioso central, concretamente de la actividad de la corteza del cerebro. Consiste esencialmente en registrar mediante electrodos especiales las corrientes eléctricas que se forman en las neuronas cerebrales, y que son la base del funcionamiento del sistema nervioso. Gracias a él se pueden diagnosticar alteraciones de la actividad eléctrica cerebral que sugiera

enfermedades como la epilepsia, la narcolepsia o demencias, entre muchas otras. También es una prueba imprescindible para certificar una muerte en paciente en coma (31).

Genética: la genética es la ciencia que estudia la herencia biológica, es decir, cómo se transmiten ciertas características o rasgos de padres a hijos como resultado de cambios en la secuencia de ADN. Un gen es un segmento de ADN que contiene las instrucciones para elaborar una o más moléculas que ayudan al funcionamiento del cuerpo (25).

Inteligencia Artificial (IA): Se refiere a sistemas o máquinas que imitan la inteligencia humana para realizar tareas y pueden mejorar iterativamente a partir de la información que recopilan (27).

Machine Learning: es una disciplina científica del ámbito de la Inteligencia Artificial que crea sistemas que aprenden automáticamente. Aprender, en este contexto, quiere decir identificar patrones complejos en millones de datos. La máquina que realmente aprende es un algoritmo que revisa los datos y es capaz de predecir comportamientos futuros (14).

Neuroimagen: es el conjunto de técnicas que permiten obtener imágenes del cerebro y del sistema nervioso, con fines diagnósticos, terapéuticos o de investigación. La neuroimagen se puede clasificar en dos tipos: estructural y funcional. La neuroimagen estructural muestra la anatomía del cerebro, mientras que la neuroimagen funcional muestra la actividad cerebral relacionada con procesos cognitivos, emocionales o sensoriales (30).

Síntoma: problema físico o mental que presenta una persona, el cual puede indicar una enfermedad o afección. Los síntomas no se pueden observar y no se manifiestan en exámenes médicos. Algunos ejemplos de síntomas son el dolor de cabeza, el cansancio crónico, las náuseas y el dolor (3).

Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH): es uno de los trastornos del neurodesarrollo más frecuentes de la niñez.

Habitualmente su diagnóstico se realiza en la niñez y, a menudo, dura hasta la adultez. Los niños con TDAH pueden tener problemas para prestar atención, controlar conductas impulsivas (pueden actuar sin pensar cuál será el resultado) o ser excesivamente activos (11).

V. Proceso de búsqueda de documentos

Cadenas o ecuaciones de búsqueda

Pregunta 1

Scopus

- TITLE-ABS-KEY(adhd AND diagnosis AND with AND machine AND learning AND in AND adults) AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO [SUBJAREA, "MEDI"] OR LIMIT-TO [SUBJAREA, "NEUR"] OR LIMIT-TO [SUBJAREA, "COMP"])

PubMed

- ("machine learning" [MeSH Terms] OR ("machine" [All Fields] AND "learning" [All Fields]) OR "machine learning" [All Fields]) AND ("attention deficit disorder with hyperactivity" [MeSH Terms] OR ("attention" [All Fields] AND "deficit" [All Fields] AND "disorder" [All Fields] AND "hyperactivity" [All Fields]) OR "attention deficit disorder with hyperactivity" [All Fields] OR "adhd" [All Fields]) AND ("detect" [All Fields] OR "detectabilities" [All Fields] OR "detectability" [All Fields] OR "detectable" [All Fields] OR "detectables" [All Fields] OR "detectably" [All Fields] OR "detected" [All Fields] OR "detectible" [All Fields] OR "detecting" [All Fields] OR "detection" [All Fields] OR "detections" [All Fields] OR "detects" [All Fields]).

Pregunta 2

Scopus

- TITLE-ABS-KEY ("Adult ADHD" OR "ADHD diagnosis" OR "ADHD assessment") AND ("Predictive factors" OR "Common

variables" OR "Associated factors" OR "Risk factors")) AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2024 AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "NEUR") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "MEDI")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Adult"))).

- TITLE-ABS-KEY ("Adult ADHD diagnosis" OR "Common diagnostic variables" OR "Frequent assessment factors" OR "Adult ADHD assessment" OR "Most common diagnostic criteria" OR "Predominant assessment measures") AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Adult")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "MEDI"))

PubMed

- (("Adult ADHD" [Title/Abstract] OR "ADHD diagnosis" [Title/Abstract] OR "ADHD assessment" [Title/Abstract]) AND ("Predictive factors" [Title/Abstract] OR "Common variables" [Title/Abstract] OR "Associated factors" [Title/Abstract] OR "Risk factors" [Title/Abstract])) AND ((y_5 [Filter]) AND (alladult [Filter])).

- (("Adult ADHD" [Title/Abstract] OR "Adult Attention Deficit Hyperactivity Disorder" [Title/Abstract] AND ("diagnosis" [Title/Abstract] OR "assessment" [Title/Abstract] OR "variables" [Title/Abstract] OR "risk" [Title/Abstract])) AND (y_5 [Filter]) AND (alladult [Filter])).

Pregunta 3

Scopus

- TITLE-ABS-KEY ("adhd" AND "adults" AND "therapies" OR "treatment") AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "english")) AND (LIMIT-TO (OA, "all")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "comp")).

PubMed

- (((("ADHD" [Title/Abstract] AND "Adults" [Title/Abstract] AND "Therapies" [Title/Abstract] OR "Treatment" [Title/Abstract] AND "Diagnosis" [Title/Abstract] OR "impulsiveness" [Title/Abstract]) AND "neuropsychology" [Title/Abstract]) AND ((y_5 [Filter]) AND (humans [Filter]) AND (english [Filter])).

ScienceDirect

- "ADHD" AND "Adults" AND "Therapies" OR "Treatment".

SpringerLink

- "ADHD" and "Adults" and "Therapies" or "Treatment" and "Internet-based intervention".

Bases de datos empleadas

Scopus, SpringerLink, PubMed, ScienceDirect.

Período de búsqueda

Del 2018 al 2023

Criterios de inclusión

Los estudios incluidos deben abordar de manera específica la diagnosis del Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (ADHD) en adultos. Deben detallar aspectos relacionados con esta condición en población adulta, como manifestaciones clínicas, métodos de evaluación y características específicas de diagnóstico en adultos. Asimismo, se espera que los estudios aborden variables y factores relevantes que puedan influir en la diagnosis del ADHD en adultos, considerando perspectivas, tanto en el ámbito de la neurociencia como en la psicología. Es importante que los artículos proporcionen información detallada y precisa sobre estos temas, contribuyendo así al avance del conocimiento en el campo del diagnóstico del ADHD en población adulta. Criterios de exclusión.

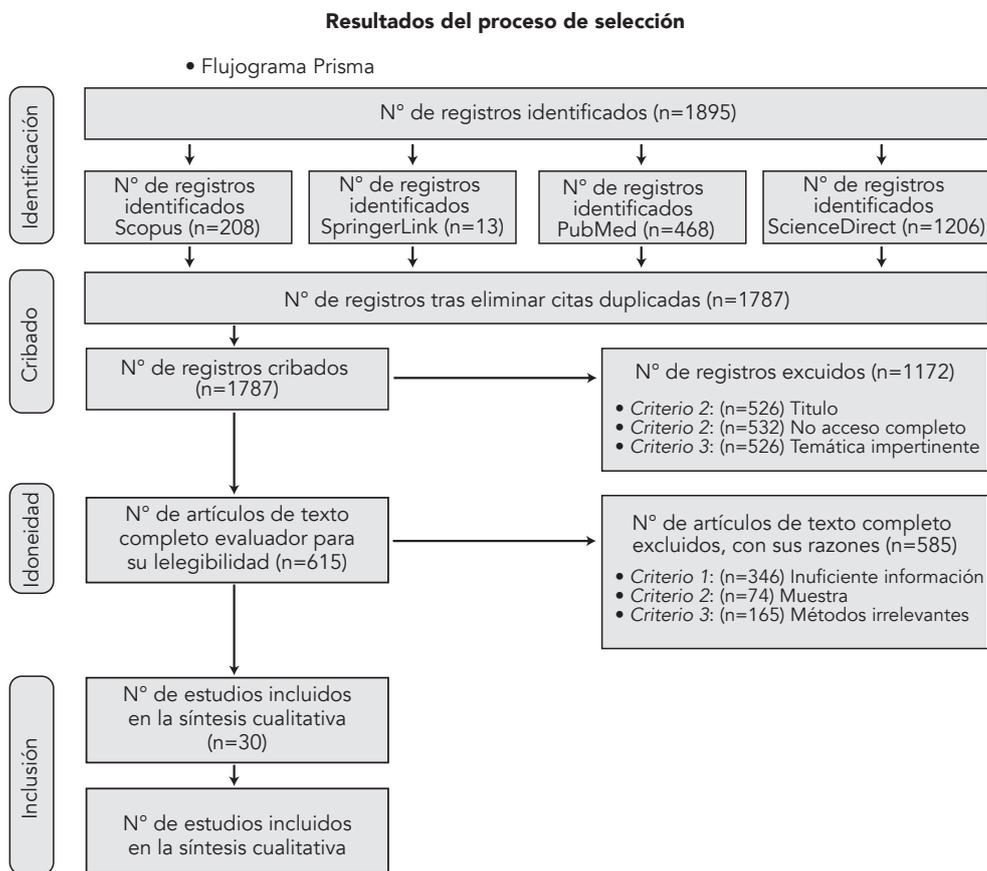
Criterios de exclusión

Los estudios excluidos deben abordar exclusivamente la población pediátrica, es decir, niños y adolescentes. Deben centrarse en la diagnosis del Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (ADHD); en estos grupos etarios, detallando aspectos relacionados con manifestaciones clínicas, métodos de evaluación y

características específicas de diagnóstico en niños y adolescentes. Por tanto, se rechazarán aquellos estudios que no se centren en la población adulta y sus particularidades en relación con el ADHD. Esto garantizará que los estudios incluidos se enfoquen de manera específica en el diagnóstico del ADHD en adultos y contribuyan al avance del conocimiento en este ámbito.

VI. Resultados del proceso de selección

Figura 2. Flujograma Prisma



Nota: Fuente elaboración propia (2023).

VII. Discusión

Pregunta 1

¿Como se ha aplicado el *machine learning* para la detección de posibles signos de TDAH en adultos? Estudios recientes han explorado el uso de ML para abordar el diagnóstico y detección del Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH) en diversas poblaciones. Ehrig et al. (10), desarrollaron "FASDetect", una aplicación basada en ML que se centra en la detección del Trastorno del Espectro Alcohólico Fetal (FASD) en adolescentes con TDAH. Por otro lado, Mohd et al. (21), se enfocaron en desarrollar un método de detección de TDAH utilizando algoritmos de ML. Otros estudios han intentado mejorar la precisión de la detección del TDAH en adultos utilizando datos de actividad en tiempo real (11), o señales de EEG (16). El ML también ha explorado nuevas perspectivas sobre los mecanismos neuronales subyacentes al TDAH (5). Se han realizado intentos de predecir el TDAH y los trastornos del sueño en adultos utilizando datos de dispositivos móviles y ML (16). Además, un estudio investigó la posibilidad de detectar el TDAH basándose en la complejidad y la simetría del diámetro de la pupila (26), mientras que otro estudio se centró en predecir los trastornos por uso de sustancias en jóvenes con TDAH utilizando datos de registros suecos y ML (16). Finalmente, en el Reino Unido se llevó a cabo un ensayo clínico que utilizó inteligencia artificial para diagnosticar el TDAH en adultos (6). Además, se utilizó la Escala de calificación del TDAH en adultos de Conners Christiansen et al. (7), para clasificar a los adultos con TDAH y otros trastornos. Estos enfoques muestran cómo se puede aplicar el ML en diferentes contextos y poblaciones para mejorar la detección y la comprensión del TDAH. El ML se ha aplicado de diversas formas para detectar posibles signos de TDAH en adultos. Esto incluye el desarrollo de aplicaciones como "FASDetect" para detectar el trastorno en individuos con TDAH, y la exploración de algoritmos de ML para identificar sujetos con TDAH. Además, se ha utilizado información en tiempo real de registros diarios de actividad y electroencefalogramas (EEG) junto con técnicas de ML para predecir y mejorar la precisión del diagnóstico en adultos. También se

ha llevado a cabo investigación sobre cómo el ML puede proporcionar nuevos conocimientos sobre los mecanismos neurales del TDAH y cómo utilizar datos de dispositivos portátiles para predecir la condición en adultos. Estas diversas aplicaciones demuestran el potencial del ML para detectar y comprender el TDAH en adultos desde múltiples perspectivas.

Pregunta 2

¿Cuáles son las variables más frecuentes para encontrar TDAH en adultos?

Del artículo de Effat et al. (9), se observa que una de las variables más comunes asociadas con el TDAH en adultos es el consumo y abuso de sustancias, un punto que Therribout et al. (34) reitera al enfatizar el uso de herramientas para un diagnóstico preciso. Por otro lado, Beheshti et al. (2), presentan una perspectiva algo diferente, al notar que las variables y respuestas emocionales juegan un papel significativo en el diagnóstico y tratamiento del TDAH en adultos, un sentimiento que también comparte Soler-Gutiérrez et al. (33), quienes consideran la regulación emocional y la actividad cerebral como variables igualmente importantes. En línea con esto, Lauvsnes et al. (18), sugieren que los problemas de salud mental, la ansiedad y la dependencia del alcohol son variables pertinentes en el TDAH en adultos. M et al. (20), nos informan sobre cómo los trastornos alimenticios en adultos también pueden ser relevantes para diagnosticar el TDAH en adultos. Comenzando con Mortimer et al. (22), vemos un fuerte énfasis en la relación entre la genética y el TDAH en adultos, un sentimiento respaldado por Palladino et al. (28), quienes proporcionan un contexto importante sobre la epigenética y los factores ambientales. Basándose en esto, Weiß et al. (36), ofrecen una perspectiva integral, enfatizando la importancia de considerar una variedad de variables externas como la fenética, la epigenética y el entorno circundante. Por último, Li et al. (19), no solo otorgan la debida importancia a las variables mencionadas anteriormente, sino que también tienen en cuenta los eventos estresantes en la vida de la persona al evaluar y diagnosticar el TDAH en adultos. Existe consenso en que los síntomas emocionales, como la desregulación

emocional y la labilidad emocional, son aspectos fundamentales del TDAH en adultos. Se identifica una correlación positiva entre la gravedad de los síntomas del TDAH y la desregulación emocional, especialmente las respuestas emocionales negativas. Además, varios estudios destacan la alta prevalencia del abuso de sustancias en adultos con TDAH. Sin embargo, también se observan lagunas en el conocimiento y la necesidad de futuras investigaciones, especialmente en relación con las variables específicas de diagnóstico y tratamiento del TDAH en adultos y su relación con el abuso de sustancias. Se destaca la importancia de abordar tanto las variables emocionales como el abuso de sustancias en futuros estudios y en el diseño de enfoques de diagnóstico y tratamiento más efectivos para el TDAH en adultos.

Pregunta 3

¿Cuáles Terapias se han implementado en población adulta con TDAH?

La investigación en el ámbito del Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH) en adultos ha proporcionado una perspectiva amplia y diversificada sobre las posibles intervenciones. Diez estudios examinados destacan diversas estrategias, desde la influencia de intervenciones dietéticas Breda et al. (4), hasta la efectividad de la Terapia de Aceptación y Compromiso (ACT) de Munawar et al. (23), y el papel del cannabis en el tratamiento de Francisco et al. (12). Asimismo, se exploró el potencial de intervenciones gamificadas de Alabdulkareem y Jamjoom (1), y se evaluaron las aplicaciones móviles como herramientas para abordar el TDAH en Păsărelu et al. (29). En este contexto, se subraya la viabilidad y aceptabilidad de tratamientos basados en Internet de Nasri et al. (24), sugiriendo, incluso, que podrían ser preferidos por muchos participantes en comparación con el tratamiento cara a cara de Shelton et al. (32). Se destaca la importancia de los tratamientos farmacológicos de Weibel et al. (35), con un énfasis en la eficacia de los psicoestimulantes, aunque también se reconocen los beneficios de enfoques no medicinales de Cojocarú et al. (8). En conjunto, estos hallazgos indican que un enfoque integral, que integre tanto intervenciones médicas

como digitales, puede ser esencial para el éxito en el manejo del TDAH en adultos.

Estos hallazgos sugieren que un enfoque holístico, que incluya tanto intervenciones médicas como terapias digitales, podría ser esencial para el tratamiento exitoso del TDAH en adultos. Los tratamientos basados en aplicaciones móviles e intervenciones en línea representan una frontera emocionante y prometedora en este campo. Sin embargo, se necesita un continuo esfuerzo de investigación y evaluación para comprender completamente el alcance y los beneficios de estos tratamientos digitales en el contexto del TDAH en adultos.

VIII. Conclusiones

En conclusión, utilizar el *machine learning* para detectar posibles signos de TDAH en adultos ha demostrado ser una estrategia prometedora y versátil. A través de aplicaciones especializadas, algoritmos de *machine learning* para identificar sujetos con TDAH, se han logrado avances significativos en precisión y comprensión de esta condición en adultos. Además, el *machine learning* también se ha aplicado para predecir el TDAH en jóvenes e identificar posibles comorbilidades, destacando su versatilidad en la investigación y diagnóstico de este trastorno neurológico. Estos enfoques innovadores abren nuevas puertas para el diagnóstico temprano y un mejor tratamiento del TDAH en adultos, lo que podría impactar significativamente en la calidad de vida de quienes padecen esta enfermedad.

En conjunto, los artículos revisados resaltan la complejidad del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) en adultos y la cantidad de variables que desempeñan un papel crucial en su diagnóstico y tratamiento. Las variables emocionales, como la desregulación emocional y la alta prevalencia del abuso de sustancias, se destacan como aspectos clave del TDAH en adultos. Además, la genética, la epigenética y los factores ambientales también se identifican como factores influyentes. La presencia de trastornos comórbidos, como la ansiedad y los trastornos relacionados con el alcohol y la alimentación,

añade una capa adicional de complejidad al diagnóstico. En resumen, estos artículos subrayan la importancia de abordar el TDAH en adultos de manera holística, teniendo en cuenta una amplia gama de factores para mejorar la precisión diagnóstica y el tratamiento efectivo.

Los estudios han demostrado de manera consistente que las intervenciones psicológicas basadas en Internet son una opción valiosa y efectiva para el tratamiento de adultos con TDAH. La aceptabilidad y la efectividad de estos tratamientos han sido notables, lo que sugiere que ofrecen una alternativa o complemento a

la medicación. Además, la preferencia de los participantes por esta modalidad de tratamiento sobre el enfoque cara a cara subraya su relevancia en el contexto actual de salud digital.

Por otro lado, las aplicaciones móviles destinadas al TDAH también han demostrado ser una herramienta prometedora. Se ha observado que estas aplicaciones pueden ser bien recibidas por los usuarios y proporcionar un medio eficaz para mejorar las funciones ejecutivas en individuos con TDAH. Sin embargo, es crucial destacar la necesidad de investigaciones adicionales para evaluar su seguridad y eficacia a largo plazo.

IX. Referencias

- [1] E. Alabdulkareem, & M. Jamjoom, "Computer-assisted learning for improving ADHD individuals' executive functions through gamified interventions: A review", *Entertainment Computing*, vol. 33, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2020.100341>
- [2] A. Beheshti, M. -L. Chavanon & H. Christiansen, "Emotion dysregulation in adults with attention deficit hyperactivity disorder: A meta-analysis", *BMC Psychiatry*, vol. 20, n° 1, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12888-020-2442-7>
- [3] C. Bembibre, *Definición de Síntoma*. Definición ABC.
- [4] V. Breda et al., "Is there a place for dietetic interventions in adult ADHD?" *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, n° 119, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2022.110613>
- [5] M. Cao, E. Martin y X. Li, "Machine learning in attention- deficit/hyperactivity disorder: new approaches toward understanding the neural mechanisms", *Translational Psychiatry*, vol. 13, n° 1, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41398-023-02536-w>
- [6] T. Chen et al., "Diagnosing attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD) using artificial intelligence: a clinical study in the UK", *Frontiers in Psychiatry*, vol. 14, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpsy.2023.1164433>
- [7] H. Christiansen et al., "Use of machine learning to classify adult ADHD and other conditions based on the Conners' Adult ADHD Rating Scales", *Scientific reports*, vol. 10, n° 1, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75868-y>
- [8] A. Cojocarú et al., "Effectiveness of psychostimulant and non-psychostimulant drug therapy in the attention deficit hyperactivity disorder, *Applied Sciences* (Switzerland)", vol. 11, n° 2, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app11020502>
- [9] S. Effat et al., "Adult attention-deficit hyperactivity disorder among patients with substance use disorders", *Middle East Current Psychiatry*, vol. 29, n° 1, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s43045-022-00249-2>
- [10] L. Ehrig et al., "FASDetect as a machine learning-based screening app for FASD in youth with ADHD", *npj Digital Medicine*, vol. 6, n° 1, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41746-023-00864-1>

- [11] S. Faraone, "Meeting report: Report from the third international meeting of the attention-deficit hyperactivity disorder molecular genetics network", *American Journal of Medical Genetics - Neuropsychiatric Genetics*, vol. 114, n° 3, 2002. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ajmg.10039>
- [12] A. P. Francisco et al., "Cannabis use in Attention – Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): A scoping review", *Journal of Psychiatric Research*, vol. 157, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2022.11.029>
- [13] A. Y. Galvez-Contreras et al., "Therapeutic Approaches for ADHD by Developmental Stage and Clinical Presentation", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, n° 19, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph191912880>
- [14] A. Gonzales, "¿Qué es Machine Learning?" ¿Qué Es Machine Learning?
- [15] N. Ahire, R. N. Awale & A. Wagh, "Electroencephalogram (EEG) based prediction of attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) using machine learning", *Applied Neuropsychology. Adult*, pp. 1-12, 2023 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/023279095.2023.2247702>
- [16] N. Kaur & K. S. Kahlon, "Accurate Identification of ADHD among Adults Using Real-Time Activity Data", *Brain sciences*, vol. 12, n° 7, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/brainsci12070831>
- [17] W. P. Kim et al., "Machine Learning-Based Prediction of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder and Sleep Problems With Wearable Data in Children", *JAMA network open*, vol. 6, n° 3, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.3502>
- [18] A. D. Lauvsnes, "ADHD and Mental Health Symptoms in the Identification of Young Adults with Increased Risk of Alcohol Dependency in the General Population-The HUNT4 Population Study", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, n° 21, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph182111601>
- [19] T. Li et al., "Mapping relationships between ADHD genetic liability, stressful life events, and ADHD symptoms in healthy adults", *American Journal of Medical Genetics, Part B: Neuropsychiatric Genetics*, vol. 186, n° 4, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ajmg.b.32828>
- [20] M. R. F., A. C. P., T. I. G. M., C. C. M., & M. Á. M. J., "[Presence and influence of attention deficit hyperactivity disorder symptoms in adults with an eating disorder]", *Anales del sistema sanitario de Navarra*, vol. 45 n° 1, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.23938/ASSN.0984>
- [21] A. Mohd, A. M. Ali & S. A. Halim, "Detecting ADHD Subjects Using Machine Learning Algorithm". 2022 *IEEE International Conference on Computing, ICOCO 2022*, pp. 299-304.[En línea]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85148454446&doi=10.1109%2fICOCO56118.2022.10031796&partnerID=40&md5=4eb322fb08d27e6c74adc58f30ae62e9>
- [23] N. Mortimer et al., "Transcriptome profiling in adult attention-deficit hyperactivity disorder", *European Neuropsychopharmacology: The Journal of the European College of Neuropsychopharmacology*, vol. 41, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2020.11.005>
- [24] K. Munawar et al., "Acceptance and commitment therapy for individuals having attention deficit hyperactivity disorder (ADHD): A scoping review", *Heliyon*, vol. 7, n° 8, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07842>
- [25] B. Nasri et al., "Internet delivered cognitive behavioral therapy for adults with ADHD - A randomized controlled trial", *Internet Interventions*, n° 100636. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.invent.2023.100636>
- [26] National Institute of General Medical Sciences, "¿Qué es un gen?", 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.nigms.nih.gov/education/pages/factsheet_genes.aspx
- [27] S. Nobukawa et al., "Identification of attention-deficit hyperactivity disorder based on the complexity and symmetry of pupil diameter",

- Scientific reports*, vol. 11, n° 1, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88191-x>
- [28] Oracle, "¿Qué es la inteligencia artificial (IA)?", 2022. Oracle México.
- [28] V. S. Palladino, R. McNeill, A. Reif & S. Kittel-Schneider, "Genetic risk factors and gene-environment interactions in adult and childhood attention-deficit/hyperactivity disorder", *Psychiatric Genetics*, vol. 29, n° 3, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/YPG.0000000000000220>
- [29] C. R. Pășărelu, G. Andersson & A. Dobrean, "Attention-deficit/hyperactivity disorder mobile apps: A systematic review", *International Journal of Medical Informatics*, Vol. 138, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2020.104133>
- [30] Revista Colombiana de Psiquiatría, "Neuroimagen: conceptos básicos y aplicaciones clínicas". [En línea]. Disponible en: <https://www.scielo.org.co/pdf/rcp/v29n4/v29n4a02.pdf>
- [31] D. Saceda Corralo, "Electroencefalograma (EEG), qué es", *Pruebas Médicas*. 2018.
- [32] C. R. Shelton, C. M. Hartung & W. H. Canu, "Feasibility and Acceptability of an Internet-Based Intervention for Young Adults with ADHD", *Journal of Technology in Behavioral Science*, vol. 7, n° 4, pp. 428-438, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s41347-022-00256-4>
- [33] A. M. Soler-Gutiérrez, J. C. Pérez-González & J. Mayas, "Evidence of emotion dysregulation as a core symptom of adult ADHD: A systematic review", *PloS One*, vol. 18, n° 1, e0280131, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280131>
- [34] N. Therribout et al., "Feasibility of an Extensive Strategy for Adult Diagnosis of Attention Deficit Hyperactivity Disorder Among Patients Suffering From Substance Use Disorders", *Frontiers in Psychiatry*, vol. 13, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.803227>
- [35] S. Weibel et al., "Practical considerations for the evaluation and management of Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) in adults. Considérations pratiques pour l'évaluation et la prise en charge du Trouble Déficit de l'Attention/Hyperactivité (TDAH) chez l'adulte".
- [36] A. L. Weiß et al., "DNA methylation associated with persistent ADHD suggests TARBP1 as novel candidate", *Neuropharmacology*, vol. 184, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2020.108370>
- [37] Y. Zhang-James et al., "Machine-Learning prediction of comorbid substance use disorders in ADHD youth using Swedish registry data", *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, vol. 61, n° 12, pp. 1370-1379, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jcpp.13226>





Análisis de la aplicación del modelo CONWIP en los países latinoamericanos: Una revisión de literatura

*Analysis of the application of the CONWIP model in Latin American
countries: A review of the literature*

Oscar Mauricio Gelves Alarcón¹, Elisa del Carmen Navarro²

Tipo de Artículo: Revisión de Literatura.

Recibido: 17/07/2023. **Aprobado:** 7/12/2023. **Publicado:** 22/12/2023.

Resumen: El modelo Conwip fue diseñado en los años 90 del siglo XX por Spearman, publicándose en el libro *Factory Physics* con el objetivo de la disminución del inventario en proceso o WIP; para ello esta revisión de literatura tiene como objetivo reconocer el desarrollo de este modelo en el contexto latinoamericano, teniendo en cuenta las publicaciones durante los últimos años en diferentes bases de datos como Scopus, ScienceDirect, Scielo y Google Academics; en base a los resultados de la ecuación de búsqueda, se establece el tamizaje por medio de la metodología prisma y se definen las principales estadísticas por país, enfoque de investigación, herramientas complementarias y promedio por año de las publicaciones. Según el tamizaje realizado, se define que Brasil es el país

de la región con mayor número de publicaciones en las cuales el enfoque de investigación, en su mayoría, son estudios de casos. El nivel de publicaciones en la región de Latinoamérica es bajo en comparación a otras regiones del mundo y es posible aplicar el modelo Conwip en diferentes contextos aparte de la manufactura, como, por ejemplo, la construcción.

Palabras clave: Conwip, Latinoamérica, Producción.

Abstract. The Conwip model was designed in the 90s of the 20th century by Spearman, published in the book *FACTORY PHYSICS* with the objective of reducing the inventory in process or WIP, for this purpose this literature review aims to recognize the

1 Autor correspondiente: Oscar Mauricio Gelves Alarcón. Mayor título: Maestría en Ingeniería de Dirección Industrial. Filiación institucional: Universidad Militar Nueva Granada. País: Colombia, Ciudad: Cajicá. Correo electrónico: oscar.gelves@unimilitar.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0557-775X2>.

2 Autor correspondiente: Elisa del Carmen Navarro Romero Mayor. Título: Maestría en Ingeniería Industrial. Filiación institucional: Universidad del Bosque. País: Colombia, Ciudad: Bogotá D.C. Correo electrónico: EDNAVARRO@unbosque.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0557-775X2>.

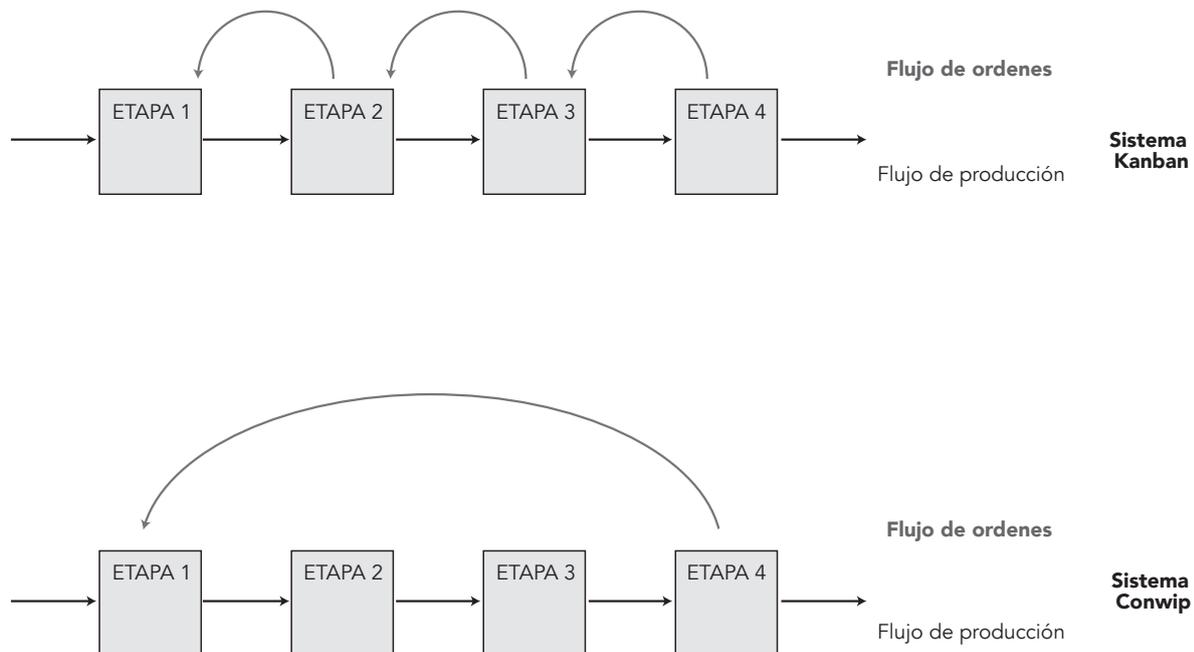
development of this model in the Latin American context, taking into account the publications during the last years in different databases such as Scopus, ScienceDirect, Scielo and Google Academics, based on the results of the search equation, the screening is established by means of the prism methodology and the main statistics by country, research focus, complementary tools and average publications per year. According to the screening carried out, it is defined that Brazil is the country in the region with the highest number of publications in which the research focus is mostly case studies. The level of publications in the Latin American region is low compared to other regions of the world and it is possible to apply the Conwip model in different contexts apart from manufacturing, such as construction.

Keywords: Conwip, Latin America, Production.

I. Introducción

El modelo Conwip o trabajo en proceso constante es un método para gestionar los procesos de producción de una planta, basados en la filosofía de jalar las piezas base de la metodología *Just in time*, el modelo Conwip fue aplicado en los años 90 por Spearman en su obra *Factory physis*, teniendo como objetivo la disminución del inventario, pero con la intención de mantener una tasa de producción eficiente [1]. El modelo de Conwip trabaja con tarjetas o contenedores, al igual que el sistema de producción Kanban, la diferencia de estos dos métodos consiste en que el modelo Conwip se utiliza una tarjeta al iniciar la línea de producción, mientras en Kanban se utilizan en cada una de las estaciones de trabajo; además, según Sipper; por otro lado cabe resaltar que los modelos Conwip utilizan una lista de faltantes para definir la secuencia de partes y en el modelo Conwip se asocian las tarjetas a todas las partes fabricadas por una línea de producción [2], como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Comparación de flujos del modelo Kanban y Modelo Conwip



Nota: Fuente tomada de [2].

Dentro de las revisiones literarias investigadas se observan varios resultados de la aplicación del modelo Conwip, por ejemplo, cabe citar a Jaegler [3] donde se compara el modelo Conwip con los modelos Push and Pull y Polca, en el que se concluye que el modelo Conwip tiene mejores indicadores de gestión con respecto al Kanban y el MRP al estudio realizado por Marek [4] y Gong [5], por otro lado, Jaegler [3] concluye, en base a los estudios de Korungan [6], que la comparación entre los métodos Híbridos-Kanban y Conwip depende de la naturaleza de la demanda, por lo general, el híbrido Kanban se comporta de mejor manera en casos de demanda constante que el sistema Conwip.

Agrawal [7] define al modelo Conwip como un modelo el cual disminuye los niveles de inventario y establece un aumento en la performance de sistemas MRP; a la vez de su aplicación en diferentes ambientes de producción, también Agrawal cita a Zhou [8], el cual, al comparar los resultados obtenidos de las metodologías Conwip y Kanban, define que los modelos Kanban generan tiempos de espera promedio más largos que los sistemas Conwip; también resalta que los sistemas Conwip generan un mayor promedio de rendimiento (*THROUGHPUT*) que los sistemas Kanban. En la revisión de la literatura se observa el éxito de la combinación de las técnicas del sistema Kanban con el sistema Conwip, en la cual se resalta la revisión de literatura realizada por Bonilla [9] donde define que los factores claves para el éxito de la técnica híbrida es la definición de lotes pequeños y un alto nivel de personalización y establece en el estudio realizado una disminución de un 38% en el tiempo de ciclo y el aumento de la rotación del inventario.

En la revisión literaria realizada por Bagni [11] propone evoluciones de técnicas híbridas del modelo Conwip como BK_Conwip (Base stock-Kanban Conwip), la técnica HK Conwip (Hibryd kanban -Conwip) y B-Conwip (The Basestock - constant-work in Process), el cual fue propuesto por Hawari [10] donde define dos parámetros esenciales para el desarrollo de la técnica, los cuales son los siguientes:

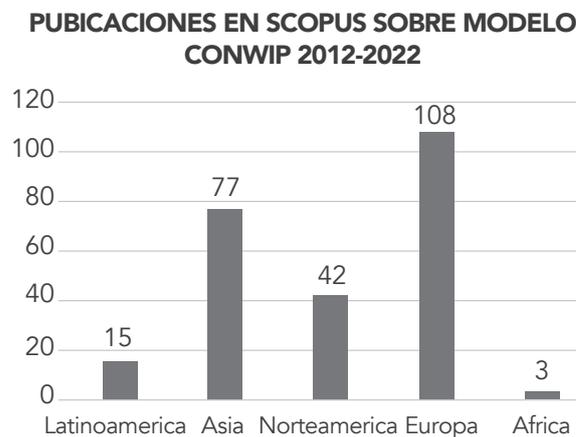
- Niveles de inventario mínimos en cada etapa para cumplir con la demanda.
- Limitar el sistema basado en las tarjetas Conwip.

Según Bagni [11], la principal diferencia entre la técnica BK Conwip y B Conwip es la no utilización de las tarjetas Kanban entre estaciones; también afirma Bagni [11] que, de acuerdo a la variable a medir, uno de los métodos es mejor que el otro; por ejemplo, si aumenta la demanda el B-Conwip es más apropiado, mientras, si el indicador es el inventario en proceso, es mejor utilizar la técnica BK Conwip.

II. Materiales y Métodos

Dentro de la recolección de la información, se realizó una clasificación de los documentos relacionados en Scopus con respecto al tema Conwip durante los años 2012 y 2022, el cual se encuentra en la figura 2.

Figura 2. Publicaciones en Scopus sobre modelo Conwip 2012-2022



Nota: Fuente elaboración propia.

En publicaciones en Scopus Latinoamérica se encuentra rezagada en comparación de los países asiáticos y europeos en documentos que apliquen de manera directa o indirecta el modelo Conwip y

esto demuestra la poca aplicación del modelo en los últimos veinte años en las organizaciones de la región. A continuación, se definen las siguientes preguntas de investigación para el desarrollo de la revisión literaria:

- ¿Cuáles países latinoamericanos tienen mayor cantidad de publicaciones en base de datos relacionados a la aplicación del modelo Conwip?
- ¿Cuáles son los enfoques de investigación que se realizan sobre el modelo Conwip?
- ¿Con qué otras herramientas de la ingeniería industrial se aplicó el modelo Conwip resultado de las publicaciones encontradas?
- ¿Cómo funciona el Conwip en comparación a otros modelos de producción?

Definición de fuentes

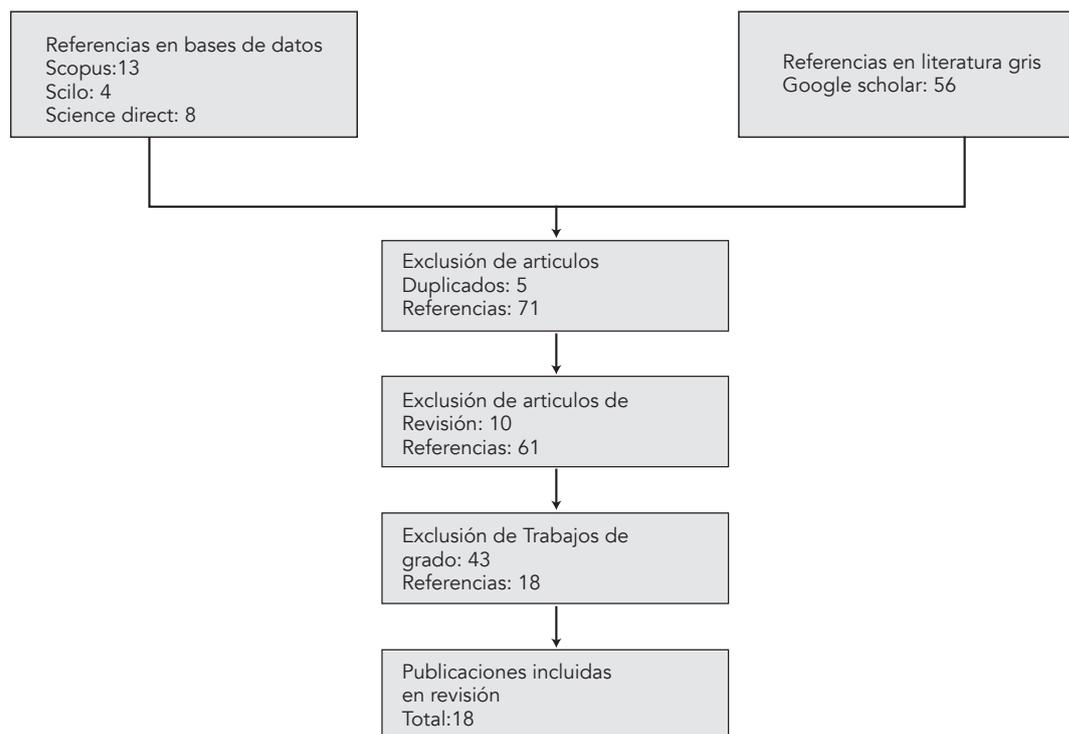
Para el desarrollo de la revisión literaria se utiliza la base de datos de Scopus, ScienceDirect, Google Scholar y Scielo.

Criterios de exclusión

Dentro de los criterios de exclusión se determinaron las siguientes condiciones:

- Artículos de revisión literaria.
- Artículos relacionados al modelo Conwip escritos antes del año 2012.
- Artículos que no se encuentran escritos por autores latinoamericanos o filiación a un ente educativo latinoamericano.
- Artículos donde la aplicación no se adecúe a un contexto latinoamericano.

Figura 3. Proceso de tamizado de artículos según metodología Prisma



Nota: Fuente elaboración propia.

III. Resultados

En total, se incluyeron 18 publicaciones; a continuación, los cuales se clasificaron en los ítems bases de datos, país, Año, tipo de investigación, herramienta complementaria e industria; en la tabla 1, se muestra el detalle de cada artículo:

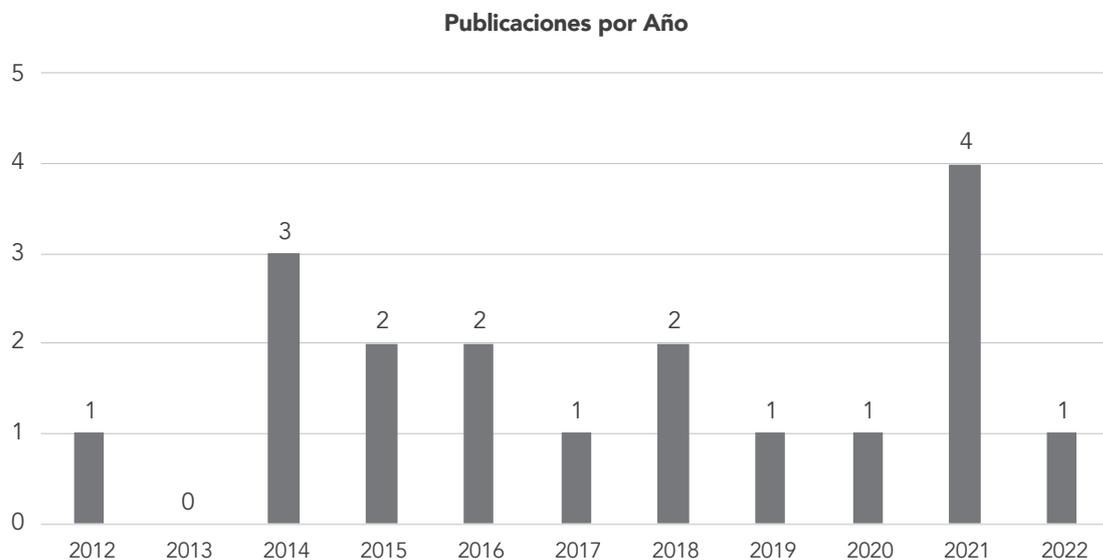
Tabla 1. Listado de publicaciones después de proceso de tamizado

No.	Título de la publicación	Base de datos	País	Año	Tipo de investigación	Herramienta complementaria
1	Determining production and inventory parameters: An integrated simulation and mavy approach with tradeoff elicitation [13]	Scopus	Brasil	2018	Diseño de modelo	Simulación discreta
2	Implementation of hybrid Kanban-CONWIP system: A case study [14]	Scopus	Brasil	2017	Estudio de Caso	Kanban
3	A multi-attribute decision model for setting production planning parameters [15]	Scopus	Brasil	2016	Diseño de modelo	Diseño de experimentos-simulación discreta
4	Implementation of a hybrid system of the type constant work in progress (CONWIP) for the production control in a manufacturing plant of agriculture machine parts [16]	Scopus	Chile	2016	Estudio de caso	Ninguna
5	Concerning Workload Control and Order Release: The Pre-Shop Pool Sequencing Decision [17]	Scopus	Brasil	2015	Comparación de modelos	Simulación discreta
6	Work in process level definition: A method based on computer simulation and electre tri	Scopus	Brasil	2014	Diseño de modelo	Simulación discreta- Análisis multicriterio
7	Throughput Analysis of an Amazon Go Retail under the COVID-19-related Capacity Constraints [18]	Scopus	Colombia	2021	Estudio de caso	Teoría de colas
8	Simulated systems optimization through response surface techniques [19]	Scopus	Colombia	2015	Estudio de caso	Diseño de experimentos-simulación discreta
9	Production Control Model Using Lean CONWIP Systems to Improve Productivity in the Process of Sand Casting in a Heavy Metalworking SME Manufacturing Tools and Kanban/ [20]	Scopus	Perú	2021	Estudio de caso	Kanban
10	Card-based workload control for job shops: Improving COBACABAN [21]	Science direct	Brasil	2014	Comparación de modelos	Simulación discreta
11	Drum-buffer-rope in an engineering-to-order system: An analysis of an aerospace manufacturer using data envelopment analysis (DEA) [22]	Science direct	Brasil	2020	Estudio de caso	Diseño de experimentos-simulación discreta

No.	Título de la publicación	Base de datos	País	Año	Tipo de investigación	Herramienta complementaria
12	Serial production line performance under random variation: Dealing with the 'Law of Variability' [23]	Science direct	México	2019	Comparación de modelos	Diseño de experimentos-simulación discreta
13	Comparación y análisis de algunos sistemas de control de la producción tipo "pull", mediante simulación [24]	Google academics	Colombia	2012	Comparación de modelos	Simulación discreta
14	Applying a Markov approach as a lean thinking analysis of waste elimination in a rice production process [25]	Google academics	Costa Rica	2014	Comparación de modelos	Diseño de experimentos-Cadenas de Markov
15	Production time estimation on a ConWIP line that includes scrap and rework [26]	Google academics	Costa Rica	2021	Estudio de Caso	Diseño de experimentos
16	Manufacturing Strategies for an optimal pull-type production control system. Case study in a textile industry [27]	Scopus	Ecuador	2018	Estudio de caso	Simulación discreta
17	Personalized production in Industry 4.0: a CONWIP approach, [28]	Scopus	Argentina	2022	Diseño de Modelo	Industrias 4.0, Simulación
18	One-of-a-kind Production in Cyber-Physical Production Systems Considering Machine Failures [29]	Scopus	Argentina	2021	Diseño de Modelo	Industrias 4.0, Simulación

Nota: Fuente elaboración Propia (2022).

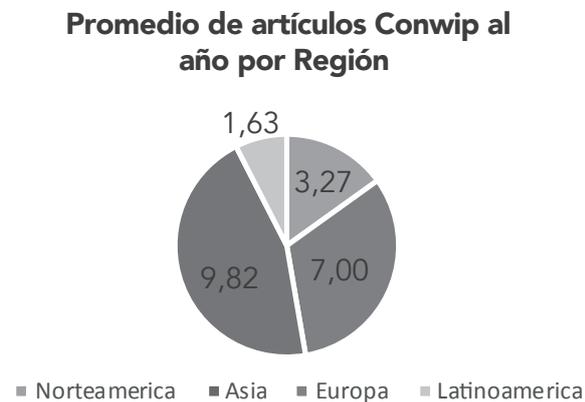
Figura 4. Publicaciones latinoamericanas por año en bases de datos del modelo Conwip



Nota: Fuente elaboración propia.

El promedio de publicaciones con respecto al Modelo Conwip en la región latinoamericana fue de 1,63 artículos al año, lo cual, en comparación a otras regiones del mundo, está por debajo de los promedios de Europa o de los países asiáticos; esto puede ser debido a la industrialización de cada región (Figura 5).

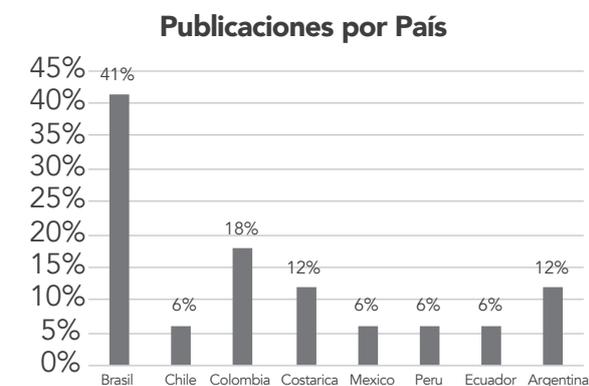
Figura 5. Promedio de artículos del Modelo Conwip al año por región



Nota: Fuente elaboración propia.

Dentro de la región latinoamericana, el país con mayor cantidad de publicaciones fue Brasil con un 41%, seguido por Colombia con un 18%; cabe resaltar la falta de publicaciones de México, a pesar de ser uno de los países más industrializados de la región (Figura 6).

Figura 6. Porcentaje de publicaciones del modelo Conwip por país

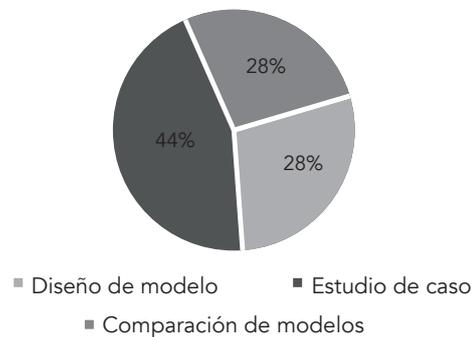


Nota: Fuente elaboración propia.

El enfoque de investigación se encontró que está dividido en estudios de casos, diseños de modelos y comparación de modelos, como se puede observar en la figura 7.

Figura 7. Enfoque de investigación de las publicaciones seleccionadas

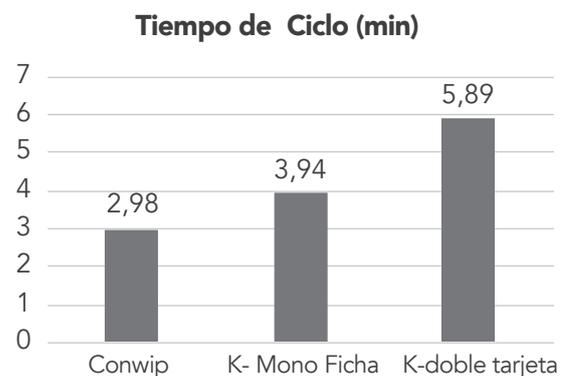
Enfoque de la Investigación



Nota: Fuente elaboración propia.

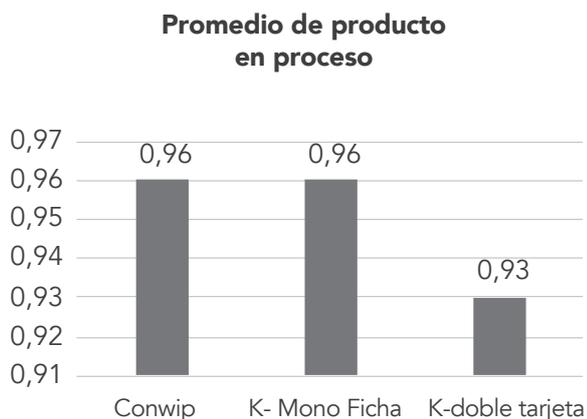
Se observa que varios de los escritos se enfocan en la comparación de los modelos Conwip con otros modelos de producción y definen los siguientes resultados en el estudio propuesto por Mora [24], quien compara con diferentes clases de modelos Kanban; existe un menor número de tiempo de ciclo en el modelo Conwip, pero son similares en el promedio de producto de proceso (los cuales se pueden observar en las figuras 8 y 9).

Figura 8. Tiempos de ciclo, según el modelo aplicado datos basados en Mora



Nota: Fuente tomada de [24].

Figura 9. Comparación de inventario promedio en proceso por tipo de modelo



Nota: Fuente tomado de [24].

Por otro lado, Romero [23] define que el modelo Conwip puede ser superior a las técnicas MRP y Kanban; sin embargo, es importante tener en cuenta los datos que requiere la capacidad del inventario en proceso para su buen desarrollo. En relación con los estudios de caso encontrados en la literatura, se tiene en cuenta, en particular, el estudio realizado por Prakash [28], en el cual la investigación realizada arroja resultados como:

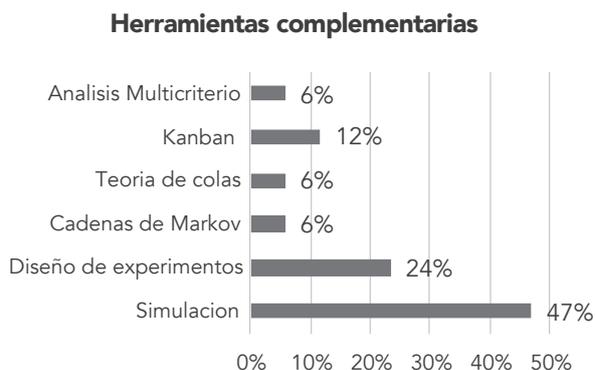
- Un mejoramiento de los niveles de stocks por medio del sistema Conwip en comparación del sistema empujar.
- Por medio del Conwip se evita la emisión de más de una orden de producción para un producto.
- Utilizando el sistema Conwip la producción se acerca a las ventas de productos, pasando de una media de diferencias del 11% al 4,6%.
- Una menor variabilidad por medio del sistema Conwip para el suministro de líneas en comparación al sistema Push.

En la revisión literaria se determinó el diseño de modelos basados en la técnica Conwip; en resumen, se observa que los modelos se encaminan a la toma de decisiones; los autores como Pergher [29] concluyen que las configuraciones de los procesos

impactan de manera significativa en el rendimiento de los inventarios en proceso. Los tres autores basan sus modelos en técnicas multicriterio, la utilización de la simulación como herramienta de validación y los principios del modelo Conwip para el desarrollo de los modelos propuestos.

A continuación, se presenta el porcentaje de herramientas complementarias utilizadas con el modelo Conwip de las publicaciones escogidas.

Figura 10. Herramientas complementarias observadas en las publicaciones después del tamizaje



Nota: Fuente elaboración propia.

IV. Discusión

Para resaltar, es importante citar a Spearman [32], el cual, en el año 2022 realiza un documento sobre la evolución del modelo Conwip y recoge situaciones en que este modelo no define claramente sus bondades, las cuales se resumen en los siguientes puntos:

1. La naturaleza del Conwip.
2. La superioridad los modelos POLCA y DBR.
3. La reducción de plazos de entrega a los clientes.
4. La posibilidad de trabajar en sistemas con alta variabilidad.

Para el primer punto, Spearman define que el Modelo Conwip no es un modelo híbrido entre Push y Pull, sino que es un modelo totalmente Pull; cabe resaltar que esta confusión en su naturaleza se debió a diferentes definiciones de los modelos Pull por parte de autores como Womak y Jones en los años 90. En el segundo punto, los modelos POLCA y DBR han sido superiores en situaciones cuando hay distintos cuellos de botella y estos no se mueven; Spearman asegura que es cierta la superioridad de los modelos en comparación del Conwip, pero afirma que la relación costo-beneficio es más baja y el grado de complejidad para implementar estos sistemas es mucho más alto en comparación al modelo Conwip. En el tercer punto propuesto en el documento de Spearman, es posible la reducción de plazos de entrega a los clientes por medio de la generación de una cola ficticia, la cual permite aumentar o reducir la capacidad, además de proporcionar una respuesta rápida a pedidos de emergencia de los clientes. En el cuarto punto Spearman considera que el Conwip se puede adaptar a sistemas con alta variabilidad, pero las mediciones de los indicadores de trabajo del Conwip deben ser tomadas diferentes, según la gama de productos, y si tienen el mismo o diversos cuellos de botella en el proceso.

Por último, Spearman considera que el modelo Conwip se ha aplicado en diferentes contextos en la manufactura y, a futuro, propone la aplicación de este modelo en la planeación y aplicación de proyectos de diferente índole como, por ejemplo, la construcción.

V. Conclusiones

El desarrollo del modelo Conwip en Latinoamérica, en base a las publicaciones científicas de los últimos diez años, ha sido bajo en comparación a otras regiones del mundo, lo cual puede definir una correlación con los procesos de industrialización de las regiones, a pesar de que en México no se encontraron publicaciones relevantes en los últimos diez años relacionadas al tema Conwip.

El modelo Conwip ha demostrado, según las publicaciones revisadas, un rendimiento mejor que otros modelos como Kanban o MRP, en indicadores como tiempos de ciclo, manejo de inventario en proceso y disminución de la variabilidad.

En las publicaciones se define como herramienta la validación de los modelos Conwip; herramientas como la simulación discreta y el diseño de experimentos, que permiten definir los resultados de los modelos sin necesidad de aplicarlos de forma física.

Dentro de los resultados obtenidos de la revisión, los autores se han enfocado en tres tipos de investigación en los modelos Conwip, como el diseño de modelos, estudios de caso en comparación con modelos tipo Pull y Push, se observa una mayor adhesión a los estudios de caso en diferentes contextos industriales.

VI. Referencias

- [1] P. González, "Control de la Producción Mediante un Sistema con Inventario en Proceso Constante: CONWIP. Estado de la Cuestión", *Conferencia de Ingeniería de Organización*, 2002, Vigo, España, pp. 457-465
- [2] D. Sipper and B. Robert, *Planeación y control de la producción*, México, McGraw Hill, 1998.
- [3] Y. Jaegler, A. Jaegler, D. Trentesaux, P. Burlat and S. Lamori, "The Conwip production control system: a systematic review and classification", *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, vol. 50, n° 3, pp. 187, 2017.
- [4] R. Marek, P. Elkins, and D. Smith, "Understanding the fundamentals of Kanban and CONWIP pull systems using simulation", In *Proceeding of the 2001 Winter Simulation Conference*, 2001, Arlington USA (vol. 2, pp. 921-929).
- [5] Q. Gong, Y. Yang, and S. Wang, "Information and decision-making delays in MRP, KANBAN, and CONWIP", *International Journal of Production Economics*, vol. n° 156, pp. 208-213, 2014.
- [6] A. Korugan and S. Gupta, "An adaptive CONWIP mechanism for hybrid production systems", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 74, n° 5, pp. 715-727, 2014.
- [7] N. Agrawal, "Review on just in time techniques in manufacturing systems", *Advances in Production Engineering & Management*, Vol. 5, n 2, pp. 101-110, 2010.
- [8] F. Zhou, P. Ma, Y He., S. Pratap , P. Yu, and B. Yang, "Lean production of ship-pipe parts based on lot-sizing optimization and PFB control strategy", *Kybernetes*, vol. 50, n° 5, pp. 1483-1505, 2020. [En línea]. Disponible en: doi: <https://doi.org/10.1108/K-06-2019-0389>
- [9] G. Bonilla and J. Ocoro, *Revisión de la implementación de la técnica Kanban en empresas productivas*, Doctoral dissertation, Universidad Santiago de Cali, Cali Colombia, 2019.
- [10] T. Al-Hawari, A. Qasem and H. Smadi, "Development and evaluation of a Basestock-CONWIP pull production control strategy in balanced assembly systems", *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol., n° 84, pp. 83-105, 2018.
- [11] G. Bagni, M. Godinho Filho, M. Thürer and M. Stevenson, "Systematic review and discussion of production control systems that emerged between 1999 and 2018", *Production Planning & Control*, vol. 32, n° 7, pp. 511-525, 2021.
- [12] G. Urrutia, and X. Bonfill, "Declaración Prisma: "Una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y meta análisis", vol. 135, n° 11, pp. 507-511, 2010.
- [13] I. Perguer, "Determining production and inventory parameters: An integrated simulation and mavn approach with tradeoff elicitation", *Revista Pesquisa Operacional*, vol. 38, n° 1, pp. 87-97, 2018.
- [14] D. Leonardo, B. Sereno, D. Silva, M. Sampaio, A. Massote and J. Simoes, "Implementation of hybrid Kanban-CONWIP system: A case study", *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 28, n° 6, pp. 714-736, 2017.
- [15] I. Perguer and A. Teixeira, "A multi-attribute decision model for setting production planning parameters", *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 42, n° 1, pp. 224-232, 2017.
- [16] A. Hoose, L. Consalter and O. Duran, "Implementation of a hybrid system of the type constant work in progress (CONWIP) for the production control in a manufacturing plant of agriculture machine parts", *Revista Información tecnológica*, vol. 27, n° 2, pp. 111-120, 2016.
- [17] M. Thürer, L. Martin, M. Stevenson, F. Lawrence, F. Moacir, "Concerning Workload Control and Order Release: The Pre-Shop Pool Sequencing Decision", *Production and Operations Management*, vol. 24, n° 7, pp. 1179-1192, 2015.
- [18] I. Perguer and G. Roehe, "Work in process level definition: A method based on computer

- simulation and electre tri", *Production*, vol. 24, n° 3, pp. 536-547, 2014.
- [19] A. Calderon, J. Coronado, I. Portnoy, "Throughput Analysis of an Amazon Go Retail under the COVID-19-related Capacity Constraints", *Procedia Computer science*, vol. 198, pp. 602-607, 2022.
- [20] L. Prada, J. Chinchay, F. Maradiegue, C. Raymundo, "Production Control Model Using Lean Manufacturing Tools and Kanban/CONWIP Systems to Improve Productivity in the Process of Sand Casting in a Heavy Metalworking SME", *5th Brazilian Technology Symposium*, 2019, Brazilian, pp. 439-447.
- [21] M. Thüerer, L. Martin, M. Stevenson, "Card-based workload control for job shops: Improving COBACABAN", *International Journal of Production Economics*, vol. 147, pp. 180-188, 2014.
- [22] E. Telles, D. Lacerda, M. Morandi and F. Piran, "Drum-buffer-rope in an engineering-to-order system: An analysis of an aerospace manufacturer using data envelopment analysis (DEA)", *International Journal Of Production economics*, p. 107500, 2020.
- [23] R. Romero, E. Marsilac, S. Shabban, M. Hurtado, "Serial production line performance under random variation: Dealing with the 'Law of Variability" *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 50, pp. 278-289, 2019.
- [24] B. Mora, L. Tobar and M. Soto, "Comparación y análisis de algunos sistemas de control de la producción tipo "pull", mediante simulación", *Scientia Et Technica*, vol. 17, n° 51, pp. 100-106, 2012.
- [25] M. Caldwell and G. Eldon, "Applying a Markov approach as a Lean Thinking analysis of waste elimination in a Rice Production Process", *International Journal on Food System Dynamics, International Center for Management, Communication, and Research*, vol. 5, n° 4, pp. 1-8, 2015.
- [26] A. Mejicano, and E. Barrantes, "Production time estimation on a ConWIP line that includes scrap and rework", *First Central American and Caribbean International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Port-au-Prince Haiti, 2021.
- [27] D. Aldás, J. Reyes, L. Morales, K. Álvarez, N. Portalanza and R. Amán, "Manufacturing Strategies for an optimal pull-type production control system. Case study in a textile industry", *Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)* (pp. 1-6), Bogotá Colombia, 2018.
- [28] G. Vinci and D. Alejandro "Personalized production in Industry 4.0: a CONWIP approach", *International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA)*, Chiangrai, Tailandia, 2022, doi: 10.1109/DASA54658.2022.9765135
- [29] G. Vinci Carlván and D. A. Rossit, "One-of-a-kind Production in Cyber-Physical Production Systems Considering Machine Failures", *Journal of Integrated Design and Process Science*, Preprint, pp. 1-20, 2021.
- [30] J. Prakash and J. Chin, "Effects of inventory classifications on CONWIP system: a case study", *Journal of Management Analytics*, vol. 4, n° 3, pp. 296-320, 2017.
- [31] I. Pergher, *Um método para quantificar o estoque em processo à luz da simulação computacional e da análise multicritério*, (Teses de Maestria) Engenharia de produção e sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2011.
- [32] M. Spearman, D. Woodruff and W. Hopp, "CONWIP Redux: reflections on 30 years of development and implementation", *International Journal of Production Research*, vol. 60, n° 1, pp. 381-387, 2022.
- [33] M. Stopper, B. Gastermann, F. Luftensteiner and B. Katalinic, "ConWIP-based Packing Order Planning Software Prototype for Variant-centered Manufacturing", In *Proceedings of the*

- International MultiConference of Engineers and Computer Scientists* (vol. 2), 2014.
- [34] O. Oviedo and R. Peñabaena, "Optimización de sistemas simulados a través de técnicas de superficie de respuesta", *Revista Chilena de Ingeniería*, vol. 23, n° 3, pp. 421-428, 2015.
- [35] F. Bernardi, A. Freitas, O. Agostinho, "A interdependência entre sistemas de controle de produção e critérios de alocação de capacidades", *Revista gestão & produção*, vol. 9, pp. 215-234, 2002.
- [36] R. Alcocer, J. García, V. Fernández and H. González, "Aplicación de la herramienta Conwip para mejorar el proceso en la empresa productos forestales Floviesa", *Revista Pistas Educativas*, vol. 42, pp. 136, 2020.
- [37] R. Ruiz Usano and M. Muñoz Pérez, "Sistemas de control push-pull. Un estudio comparativo", *IV Congreso de Ingeniería de Organización*, Sevilla, España, 2002.
- [38] R. Ruiz, J. Framiñán, A. Crespo and M. Muñoz, "Simulación continua y discreta de un sistema de producción con inventario en proceso constante", *IV Congreso de Ingeniería de Organización*, Sevilla, España, 2002.
- [39] P. González, J. Framiñán and R. Ruiz, "Control de la Producción Mediante un Sistema con Inventario en Proceso Constante: CONWIP. Estado de la Cuestión", *IV Conferencia de Ingeniería de Organización*, Sevilla, España, 2002.
- [40] P. González, J. Framiñán, M. Muñoz and Ruiz, "Ajuste dinámico de tarjetas en un sistema CONWIP", *V Congreso de Ingeniería de Organización*, Valladolid, España, 2003.
- [41] P. Rodríguez, J. Blanco and R. Usano, "Establecimiento de los parámetros de operación de un sistema de control de la producción Conwip dinámico mediante RSM", *IX Congreso de Ingeniería de Organización*, Gijón, España, 2005.
- [42] D. da Silva, A. Dupont, G. Vaccaro, and J. Júnior, "Avaliação da implantação de um sistema CONWIP com o uso de simulação computacional", *XXX Encontro Nacional de engenharia de produção*, São Carlos, Brasil, 2010.
- [43] J. Mesa, D. Cadavid, and J. Montoya, "Aplicación de CONWIP para mejorar los ciclos de retorno de canastillas para el manejo de frutas y verduras en almacenes de cadena", *Revista Soluciones de Postgrado*, vol. 2, n° 3, pp. 95-112, 2009.
- [44] M. Mesquita and R. Castro, "Análise das práticas de planejamento e controle da produção em fornecedores da cadeia automotiva brasileira", *Gestão & Produção*, vol. 15, n° 1, pp. 33-42, 2008.
- [45] M. García, and J. García, "Reducción del trabajo en proceso en una empresa manufacturera mediante la aplicación de un sistema de tarjetas Kanban y escenarios de simulación", *Revista Pistas Educativas*, vol. 41, p. 133, 2019.
- [46] F. Mariz, *Análise comparativa dos modelos Drum-Buffer-Rope e Constant Work-In-Process em um ambiente com montagem e produção contra pedido*, Doctoral dissertation, engenharia de produção, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2019.
- [47] L. Ferro and J. Núñez, *Evaluación de diferentes modelos de producción aplicada a la empresa litográfica LitoPerla Impresores Ltda.*, Tesis de pregrado, Facultad de ingeniería, Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2010.
- [48] C. Gutiérrez, *Comparación de sistemas de control de piso en presencia de recursos de capacidad limitada mediante simulación con Redes de Petri*, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 2005.
- [49] A. Barón, J. López and J. Mejía, "Comparación y análisis de algunos sistemas de control de la producción tipo "pull", mediante simulación",

- Scientia et technica*, vol. 17, n° 51, pp. 100-106, 2012.
- [50] J. Torres and R. Usano, "Modelo de programación lineal para la secuenciación de trabajos en una línea de flujo regular controlada por un sistema con inventario en proceso constante", *XXV Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa*, Vigo, España, 2000.
- [51] P. González, J. Molina, J. León and R. Ruiz, "Evaluación del impacto del reprocesado en los sistemas Kanban y Conwip", *Dirección y Organización*, vol. 42, pp. 46-53, 2010.
- [52] F. Souza, A. Rentes, and O. Agostinho, "A interdependência entre sistemas de controle de produção e critérios de alocação de capacidades", *Gestão & Produção*, vol. 9, n° 2, pp 215-234, 2002.
- [53] A. Lorenzo 2018, *Dinámica de sistemas para la simulación de técnicas híbridas de control de la producción*, Tesis de pregrado, Departamento de organización Industrial, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2018
- [54] M. Da Silva Dias, *Análise e Melhoria dos Processos e Implementação do Conwip Numa Empresa Industrial*, Doctoral dissertation, Instituto Politécnico do Porto, Porto, Portugal, 2019.
- [55] O. Rubiano, M. Hurtado Jiménez and D. Rangel, "Exploración del postponement como estrategia de gestión de la cadena de valor", *Revista Heurística*, 2013.
- [56] J. Guichard, "Sistema de Produção Pull realizado na Bosch Car Multimedia Portugal", Tesis de maestría 2009, Faculdade de engenharia Industrial e Gestão, Universidade do Porto, 2009.
- [57] F. Chinet and M. Godinho Filho, "Sistema POLCA: revisão, classificação e análise da literatura", *Gestão & Produção*, vol. 21, n° 3, pp. 532-542, 2014.
- [58] D. Pinzón, W. Sarmiento, and D. Sandoval, "Uso y aplicación de herramientas del modelo de producción Toyota: una revisión de literatura", *Revista Politécnica*, vol. 14, n° 27, pp. 80-92, 2018.
- [59] C. Cheng, L. Shu-Fen Li, L. Chia-Leng, R. Jientrakul, and C. Yuangyai, "A Comparative Study of Unbalanced Production Lines Using Simulation Modeling: A Case Study for Solar Silicon Manufacturing", *Sustainability*, vol. 14, n° 2, p. 697, 2022.
- [60] S. Vespoli, A. Grassi, G. Guizzi and V. Popolo, "A Deep Learning Algorithm for the Throughput Estimation of a CONWIP Line", *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, [En línea], 2021.
- [61] L. Leaven, S. Wang, L. Coley and S. Udoka, "Achieving Optimal Safety Inventory Levels for Oil Companies using the CONWIP Approach", *Int. J. Sup. Chain. Mgt*, vol. 6, n° 4, p. 17, 2017.
- [62] O. Olaitan, E. Alfnes, J. Vatn and J. Strandhagen, "CONWIP implementation in a system with cross-trained teams", *International Journal of Production Research*", vol. 57, n° 20, pp. 6473-6486, 2019.
- [63] C. Gutti, F. Segura, F. Maradiegue and J. Alvarez-Merino, "Kanban-CONWIP Hybrid Model for Improving Productivity of an Electrostatic Coating Process", *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 1295-1299), Macao, China, 2019.
- [64] T. Yang, Y. Hung and K. Huang, "A simulation study on CONWIP system design for bicycle chain manufacturing", *IFAC-PAPERS ONLINE*", vol. 52, n° 13, pp. 2477-2481, 2019.

- [65] S. Khan and C. Standridge, "Aggregate simulation modeling with application to setting the CONWIP limit in a HMLV manufacturing cell", *International Journal of Industrial Engineering Computations*, vol. 10, n° 2, pp. 149-160, 2019.
- [66] D. Roy and V. Ravikumar, "An extensive evaluation of CONWIP-card controlled and scheduled start time based production system designs.", *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 50, pp. 119-134, 2019.
- [67] X. Li, Z. Li and G. Wu, G, "Lean precast production system based on the CONWIP method", *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 22, n° 7, pp. 2167-2177, 2018.
- [68] W. Yanhong, H. Junxia, T. Yuanyuan, T. Zhongda and Z. Jun, "A modified CONWIP production control strategy for lamp production line", *2018 Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Shenyang, China, 2018.
- [69] Yue, W., Rui, M., & Yan, L., "The Research of Shipbuilding Schedule Planning and Simulation Optimization Technique Based on Constant Work-In-Process System", *Journal of Ship Production and Design*, vol. 34, n° 1, pp. 20-31, 2018.
- [70] M. Durmusoglu and C. Aglan, "CONWIP and hybrid CONWIP production control systems: a literature review", *Production Management: Advanced Models, Tools, and Applications for Pull Systems*, CRC Press, Boca Ratón, Estados Unidos, 2017.
- [71] J. Prakash and J. Chin, "Modified CONWIP systems: a review and classification", *Production Planning & Control*, vol. 26, n° 4, pp. 296-307, 2015.
- [72] A. Hübl and G. Fischer, "Simulation-based business game for teaching methods in logistics and production", *Winter Simulation Conference (WSC)*, Las Vegas, Estados Unidos, 2017.
- [73] G. Huang, J. Chen, X. Wang, Y. Shi, and H. Tian, "From loop structure to policy-making: A CONWIP design framework for hybrid flow shop control in one-of-a-kind production environment", *International Journal of Production Research*, vol. 55, n° 12, pp. 3374-3391, 2017.
- [74] H. Xiaoju and W. Dingwei, W, "Simulation on RFID-enable CONWIP control strategy for multi-echelon inventory of supply chain", *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Yinchuan, China, 2016.
- [75] T. Frazee and C. Standridge, "Conwip versus POLCA: A comparative analysis in a high-mix, low-volume (HMLV) manufacturing environment with batch processing", *Journal Of Industrial Engineering And Management (JIEM)*, vol. 9, n° 2, pp. 432-449, 2016.
- [76] F. Crop, T. Lacornerie, X. Mirabel and E. Lartigau, "Workflow optimization for robotic stereotactic radiotherapy treatments: application of constant work in progress workflow", *Operations Research for Health Care*, vol. 6, pp. 18-22, 2015.
- [77] C. Aglan and M. Durmusoglu, Lot-splitting approach of a hybrid manufacturing system under CONWIP production control: a mathematical model", *International Journal of Production Research*, vol. 53, n° 5, pp. 1561-1583, 2015.
- [78] S. Heragu and A. Gupta, "CONWIP: closed or semi-open queuing network?", *International Journal of Operational Research*, vol. 24, n° 3, pp. 356-367, 2015.
- [79] P. Renna, "A fuzzy control system to adjust the number of cards in a CONWIP-based manufacturing system", *International Journal of Services and Operations Management*, vol. 20, n° 2, pp. 188-206, 2015.
- [80] J. Mortágua, N. Fernandes and S. Carmo-Silva, "Comparing card-based production control mechanisms in MTO production ", *28th European Simulation and Modelling Conference-ESM'2014. FEUP-University of Porto*, Porto, Portugal, 2014.
- [81] S. Ajorlou and I. Shams, "Artificial bee colony algorithm for CONWIP production control system in a multi-product multi-machine

- manufacturing environment", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 24, n° 6, pp. 1145-1156, 2013.
- [82] M. Aziz, E. Bohez, R. Pisuchpen and M. Parnichkun, "Petri Net model of repetitive push manufacturing with Polca to minimise value-added WIP", *International Journal of Production Research*, vol. 51, n° 15, pp. 4464-4483, 2015.
- [83] H. Yoon and J. Kim, " Heuristic scheduling policies for a semiconductor wafer fabrication facility: minimizing variation of cycle times", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 67, n° 1, pp. 171-180, 2013.



Neider Vergara, David Aguirre, Gabriel E. Ávila

Propuesta de una plataforma Open Source de IoT como estrategia didáctica para la Escuela TIC del Politécnico Grancolombiano. Cuaderno Activa, 15, 113-127.



Propuesta de una plataforma de código abierto para el Internet de las Cosas como estrategia didáctica para la Escuela de TIC del Politécnico Grancolombiano.

Proposal of an open source platform for the Internet of Things as a didactic strategy for the ICT School of the Politécnico Grancolombiano

Neider Vergara¹, David Aguirre², Gabriel E. Ávila³

Tipo de Artículo: Investigación.

Recibido: 01/12/2023. **Aprobado:** 15/12/2023. **Publicado:** 22/12/2023

Resumen: Los estudiantes de la Escuela TIC del Politécnico Grancolombiano carecen de herramientas de despliegue y alojamiento para sus proyectos de Internet de las Cosas (IoT), lo que los lleva a utilizar recursos externos y limita su comprensión del contexto en telecomunicaciones y sistemas de información. Para abordar esta situación, se construyó una secuencia didáctica apoyada en un ecosistema IoT ajustado a las necesidades y posibilidades de la institución. Este ecosistema se constituyó a partir de software de código abierto. El resultado es una arquitectura de IoT que, en conjunto con la secuencia constructora, habilita a los estudiantes para el

desarrollo de proyectos y prácticas educativas en la Escuela. Esta infraestructura IoT propia tiene la particularidad de crecer con los objetos construidos por los estudiantes, mientras interactúan con la secuencia. La solución es económica y está lista para un piloto con estudiantes, brindando una valiosa oportunidad de aprendizaje. Este enfoque aborda las limitaciones actuales en las actividades de los estudiantes, mejorando su comprensión y capacidades en el ámbito de las TIC.

Palabras clave: IoT, Open Source, didáctica, educación superior, educación en ingeniería.

1 Autor correspondiente: Neider Vergara. Mayor título: Magíster en enseñanza de las ciencias exactas y naturales. Filiación institucional: Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: nvergara@poligran.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4492-8807>

2 Autor correspondiente: David Aguirre. Mayor título: Magíster en educación en tecnología. Filiación institucional: Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: daguirre@poligran.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9014-6403>

3 Autor correspondiente: Gabriel E. Ávila Buitrago. Mayor título: Magíster en Ingeniería de Sistemas y Computación. Filiación institucional: Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano. País: Colombia, Ciudad: Bogotá. Correo electrónico: gavilabu@poligran.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1407-7933>

Abstract. The students at the ICT School of Politécnico Grancolombiano lack deployment and hosting tools for their Internet of Things (IoT) projects, leading them to rely on external resources and limiting their understanding of the telecommunications and information systems context. To address this situation, a didactic sequence supported by an IoT ecosystem was built, fitted to the requirements and possibilities of the institution. This ecosystem is constituted from open-source software. The result is an IoT architecture that, along with the constructionist sequence, enables students to develop projects and educational practices within the school. The development of projects and educational practices at the school, this own IoT infrastructure has the particularity of grow with the objects build by the students, as they interact with the sequence. The solution is cost-effective and ready for a pilot with students, providing a valuable learning opportunity. This approach addresses current limitations in students' activities, enhancing their understanding and capabilities in the field of ICT.

Keywords: IoT, Open source, didactics, College education, Engineering education.

Introducción

En el ámbito de la enseñanza de ciencias aplicadas los docentes a menudo enfrentan desafíos pedagógicos significativos, particularmente en ingeniería, donde los procesos didácticos demandan prácticas y aplicaciones como herramientas para consolidar el aprendizaje. Esto es acorde con el contexto de la visión constructivista del aprendizaje, teoría que se centra también en el acto de “aprender a aprender” y la importancia de crear cosas en el proceso educativo. Papert enfatizó la idea de que los aprendices deben ser activos en su proceso de adquisición de conocimientos, participando en la construcción de “entidades públicas” que expresan su comprensión del mundo. Estas entidades públicas pueden tomar la forma de proyectos, creaciones, discusiones o incluso objetos inteligentes y conectados [1].

En esta visión del aprendizaje se identifican cuatro etapas: contexto y justificación, conceptualización, aplicación (probar y resolver), y nuevas situaciones [2]. La tercera etapa mencionada implica la aplicación de conceptos previamente estudiados mediante ejercicios prácticos, fomentando el desarrollo y la creatividad en la formación de ingenieros y resaltando la necesidad de promover la creatividad como parte fundamental en la educación en ciencias aplicadas.

El Politécnico Grancolombiano, en su Proyecto Educativo Institucional (PEI), señala el desarrollo de propuestas innovadoras centradas en el estudiante, como uno de los desafíos a abordar en el marco de su apuesta por una educación que responda de manera adecuada a los estudiantes de hoy [3]. La institución subraya la importancia del uso innovador de tecnologías en el proceso de enseñanza-aprendizaje, dentro de un diseño institucional que abarca estructuras, procesos y sistemas de información, comprometiéndose a incorporar activamente estas innovaciones en sus procesos.

En este contexto educativo, el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) se consolida como una estrategia fundamental para impulsar la aplicación de conceptos en la educación en ingeniería. Esta metodología no solo facilita la integración del conocimiento, sino también su aplicación en escenarios prácticos y reales [4]. La Escuela TIC del Politécnico Grancolombiano ha implementado con éxito esta estrategia pedagógica en algunas asignaturas para respaldar el aprendizaje de los estudiantes. No obstante, en ocasiones, se ejecutan proyectos que demandan herramientas técnicas y tecnológicas a las que estudiantes y docentes no tienen acceso gratuito, lo que presenta obstáculos para el desarrollo pleno de los mismos.

El presente documento busca proponer una alternativa para aquellos proyectos que utilicen tecnologías de Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés), el cual se define como “una infraestructura global para la sociedad de la información, que permite servicios avanzados

mediante la interconexión (física y virtual) de cosas, basada en tecnologías interoperables de información y comunicaciones, existentes y en evolución” [5].

El desarrollo de proyectos enfocados en IoT aporta múltiples beneficios a los estudiantes de programas de ingeniería, facilitando procesos de aprendizaje dinámicos, interactivos y significativos, a través de la participación en actividades prácticas y experimentales. Además, promueve la colaboración y el trabajo en equipo a través de la conexión entre dispositivos, dentro de proyectos más complejos. Finalmente, impulsa el desarrollo de habilidades tecnológicas y digitales, mediante la solución a problemas de sus contextos y el uso de tecnologías actuales de transmisión, almacenamiento y visualización de información, que los prepara para enfrentar problemas futuros [6]. En este sentido, las tecnologías de IoT ofrecen características idóneas para mejorar la interacción entre estudiantes y entre ellos y su entorno, lo que potencia el desarrollo del aprendizaje.

Sin embargo, la adecuación de dispositivos de IoT presenta varios retos en el entorno universitario. Para su construcción, los estudiantes se encuentran con diversidad de placas de desarrollo, sensores inteligentes, protocolos de comunicación y plataformas de visualización. Usualmente, para desarrollar proyectos en aula se recurre a placas de desarrollo y computadoras tipo placa sencilla (*SBC, Single Board Computer*). Respecto a los protocolos de comunicación, comprender adecuadamente el uso de HTTP, MQTT o AMQP, genera dificultades para interconectar dispositivos. Adicionalmente, los riesgos de seguridad resultan en limitaciones de acceso a redes universitarias para la transmisión de información. Esta diversidad de problemáticas implica una barrera importante de acceso para el desarrollo de proyectos, al tener que incorporar un conocimiento extensivo para lograr que sean exitosos.

La carencia de teorías del aprendizaje en las investigaciones en el ámbito de la aplicación de las tecnologías de la información y las comunicaciones en educación es generalizada

[7]. En general, estas investigaciones emplean métodos predominantemente cuantitativos, toda vez que los objetivos de investigación apuntan a medir el desempeño de las tecnologías, dejando en segundo plano su impacto y sentido pedagógico.

El construccionismo, por otra parte, subraya la importancia de que los estudiantes sean capaces de generar sus propios objetos, que actúen como instrumentos para construir su comprensión del mundo y, finalmente, su aprendizaje. La implementación efectiva de esta teoría en entornos educativos requiere plataformas tecnológicas adecuadas.

Por estas razones, nuestra propuesta implica la facilitación de un entorno de desarrollo adecuado, para que estudiantes y docentes puedan llevar a cabo proyectos en el marco del IoT de una forma más adecuada, según los tiempos de desarrollo y sus conocimientos.

Materiales y Métodos

Teniendo en cuenta el contexto del construccionismo, se busca desarrollar secuencias didácticas alineadas con los objetivos educativos de la Escuela, con el fin de gestionar y facilitar el proceso de aprendizaje y colaboración entre los estudiantes.

Una secuencia didáctica se entiende como una serie de actividades educativas coherentes y adaptables que se diseña con intención y respaldo teórico. Su planificación se inicia con una reflexión profunda para trazar la ruta que docentes y estudiantes seguirán, facilitando la construcción y reconstrucción del conocimiento para lograr los objetivos planteados [8].

Descripción del diseño de la Secuencia Didáctica

En consonancia con esto, se ha diseñado una secuencia didáctica coherente y flexible que parte de una base teórica sólida. Su objetivo es guiar a docentes y estudiantes en la construcción y reconstrucción del conocimiento. Esta secuencia se centra en la promoción del aprendizaje activo y

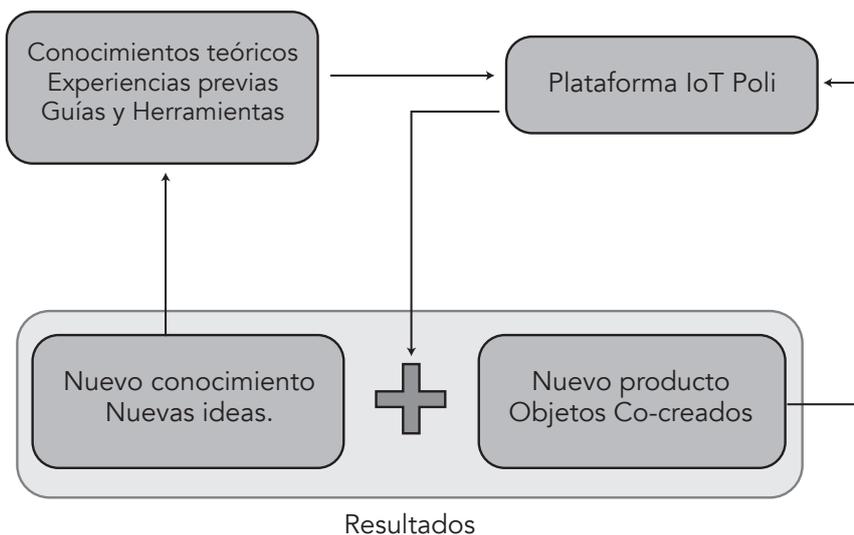
significativo, donde los estudiantes desempeñan un papel fundamental en la creación de su propio entendimiento a través de la interacción con el contenido de estudio y los objetos creados y recreados con este fin. La metodología se enfoca en la planificación y la intencionalidad, trazando una ruta clara para los participantes con el fin de alcanzar los objetivos propuestos

En esta secuencia didáctica, los docentes actúan como facilitadores del proceso, proporcionando orientación y apoyo para que los estudiantes desarrollen habilidades de pensamiento crítico y creatividad. Resumiendo, esta secuencia didáctica permite a los estudiantes ser agentes en su proceso de aprendizaje, construyendo su comprensión del mundo a través de la reflexión, el análisis y la aplicación en contextos relevantes. En la figura 1 se presenta la secuencia didáctica propuesta que consta de tres componentes que

se corresponden con aspectos pedagógicos y tecnológicos.

En la fase inicial, identificada en color amarillo, se establece el punto de partida a partir del reconocimiento de saberes previos. Estos saberes previos interactúan con el componente tecnológico en dos direcciones. En primer lugar, permiten la integración de nuevos conocimientos en los saberes previos, lo que se alinea con los principios de aprendizaje significativo y situado del enfoque constructivista. Este mismo componente facilita la co-construcción y creación activa de nuevos elementos y objetos en la plataforma, a través de la interacción con los elementos que se acumulan como resultado de la colaboración entre estudiantes y docentes. Estos productos, identificados en colores azul claro y verde, a su vez enriquecen los conocimientos que se incorporan a la base de saberes co-construidos.

Figura 1. Secuencia didáctica plataforma IoT Poli



Nota: Fuente elaboración propia.

En este proceso, la plataforma base, representada en azul oscuro, desempeña un papel crucial al facilitar la articulación entre los componentes pedagógicos y tecnológicos. Además de esta función, actúa como un espacio de experimentación

y colaboración, donde los estudiantes pueden interactuar, tanto entre ellos como con el entorno, a través de objetos para pensar articulados en un micro mundo que habilita el comportamiento de estos objetos como entidades públicas, siguiendo

la filosofía de Seymour Papert. En resumen, la plataforma base, en azul oscuro, no solo integra todos los elementos, sino que también sirve como escenario principal para la experimentación y la interacción, promoviendo así un ambiente propicio para el aprendizaje activo y creativo en un contexto de ingeniería.

Los estudiantes usuarios-constructores, a medida que interactúan con la plataforma de visualización, no solo acceden a datos en tiempo real y resultados de proyectos anteriores, sino que también son alentados a modificar y mejorar la plataforma, de acuerdo con sus propias necesidades y objetivos de aprendizaje. Esta dinámica promueve un ambiente de colaboración y co-construcción de conocimiento, donde el grupo de base desempeña un papel de mentoría y apoyo técnico. De este modo, se logra una experiencia de aprendizaje constructorista que combina la creación tecnológica con la participación de los estudiantes, enriqueciendo su comprensión de la ingeniería y fomentando la apropiación y el desarrollo tecnológico.

La implementación de esta secuencia se propone en 4 etapas: exploración de la plataforma a través del ecosistema de objetos, conocimiento en profundidad de las características y potencialidades del IoT, construcción de nuevos objetos y socialización de los resultados de aprendizaje a través de los objetos construidos por los estudiantes. Las etapas de esta secuencia se apoyan en los componentes descritos previamente y se llevan a cabo a través de las actividades de aprendizaje descritas a continuación.

Secuencia Didáctica para Apropiación Básica de Tecnologías de IoT

La secuencia didáctica se concibe con el propósito fundamental de facilitar la apropiación de competencias fundamentales destinadas a la utilización efectiva de la plataforma IoT POLI. La atención se centra específicamente en el desarrollo de habilidades necesarias para llevar a cabo la publicación, suscripción y visualización de datos provenientes de objetos conectados. La estructura de la secuencia se ha diseñado con el

objetivo de orientar a los estudiantes desde una comprensión teórica inicial hasta la aplicación práctica en proyectos tangibles.

La iniciativa comienza con la exploración de los referentes teóricos en el ámbito de IoT, donde los estudiantes exploran modelos de referencia, utilidades e implementaciones, tanto de código abierto como comerciales. Esta actividad se plantea como el fundamento teórico esencial que permitirá a los estudiantes adquirir una comprensión profunda antes de abordar la fase práctica.

A continuación, la secuencia procede con la exploración de objetos en la plataforma, focalizando en la instrumentalización del uso de nodos y la visualización de datos mediante la tarjeta ESP32, un kit de sensores y objetos virtuales para visualización de datos preconstruidos. Esta parte de la secuencia ofrece a los estudiantes una experiencia práctica inicial, consolidando así la comprensión teórica mediante la aplicación práctica.

El desarrollo de conocimientos básicos en redes constituye un segmento crítico, en el cual los estudiantes contextualizan el modelo IoT en sus conocimientos previos sobre redes. Identifican elementos de hardware/software y sus roles específicos, lo que contribuye a una comprensión situada del entorno de IoT.

A continuación, se aborda el reconocimiento e incorporación de conocimientos previos de programación. Los estudiantes, en esta fase, revisitan y adaptan sus habilidades de programación al contexto de la plataforma IoT POLI, modificando un sencillo código "Hola Mundo". Este segmento de la secuencia tiene por objetivo principal fomentar la adaptabilidad y la integración de habilidades previas.

La implementación de un objeto conectado se constituye como una etapa de especial importancia. Aquí, los estudiantes diseñan e implementan un objeto propio, lo conectan a la plataforma y visualizan los datos generados. Este tramo de la secuencia representa un avance significativo

hacia la aplicación práctica, consolidando las habilidades adquiridas previamente.

La secuencia prosigue con el diseño y codificación de una visualización personalizada. Esta fase añade un componente de creatividad, permitiendo a los estudiantes personalizar la representación visual de los datos generados por sus objetos conectados.

El proceso culmina con la identificación de una aplicación real de interés, en la cual los estudiantes proponen una aplicación con su respectiva justificación y contexto. Esta etapa fomenta la reflexión crítica y la aplicación de conocimientos en un contexto práctico.

Finalmente, la iteración de diseño para la aplicación seleccionada implica el desarrollo iterativo de un prototipo funcional, empleando la plataforma IoT POLI. Esta última fase integra de manera cohesiva todos los aspectos explorados en la secuencia, permitiendo a los estudiantes aplicar de manera completa sus competencias en un proyecto.

La secuencia sigue una progresión lógica, comenzando con la exploración teórica y avanzando hacia la aplicación práctica. Cada actividad se relaciona con la siguiente, construyendo gradualmente sobre los conocimientos previos y desarrollando habilidades específicas a medida que los estudiantes avanzan en la secuencia.

La plataforma tecnológica de soporte para la secuencia didáctica se implementó de acuerdo con el modelo de referencia de IoT, que puede describirse en 4 capas bien definidas: capa de aplicación, capa de servicios y aplicación, capa de red y capa de dispositivo [5].

La implementación de modelos de este tipo pretende cubrir necesidades propias del sistema como la conectividad, despliegue de aplicaciones, soporte para servicios genéricos y específicos, y gestión de dispositivos; este modelo sirve de orientación para enfocar cualquier plataforma de IoT o modificación de éstas.

El enfoque seleccionado refleja un compromiso decidido con la innovación y la eficiencia en la educación y en la gestión de proyectos, aprovechando las ventajas del código abierto y de protocolos de comunicación versátiles para satisfacer las necesidades tecnológicas de la educación actual [9].

El software de código abierto implica una colaboración abierta que permite a cualquier individuo utilizar, examinar, modificar y redistribuir el software sin limitaciones, generalmente sin costos asociados. Este enfoque de acceso abierto permite su uso en diversos dominios, siendo la educación uno de los campos más beneficiados.

Plataforma tecnológica “Ecosistema IoT Poli”

Para la plataforma que da soporte a la secuencia didáctica propuesta, se decidió trabajar con 3 herramientas diversas: un servidor dedicado para MQTT, una instancia de Thingsboard y el uso libre de la plataforma ThingSpeak.

La primera opción consistió en configurar un broker basado en el protocolo MQTT, que destaca como una de las tecnologías emergentes y prometedoras en el campo de la ingeniería. El protocolo MQTT, con su enfoque en el modelo “Publicar/Suscribir”, facilita la transmisión de mensajes en una estructura muchos-a-muchos, lo que lo convierte en una solución idónea para el intercambio de información entre diversas tecnologías, como sensores y placas de procesamiento.

La infraestructura para el servidor MQTT comprende un computador Orange Pi 4. A nivel de software, se utiliza un broker MQTT de código abierto (Mosquitto) sobre el sistema operativo Raspbian, junto con bibliotecas para clientes MQTT nativos y web socket y una aplicación web personalizada para la visualización de datos. Estos recursos son esenciales para llevar a cabo la investigación de manera eficiente y efectiva en el contexto de la experticia requerida.

La segunda opción consiste en la implementación de un servidor con la plataforma ThingsBoard

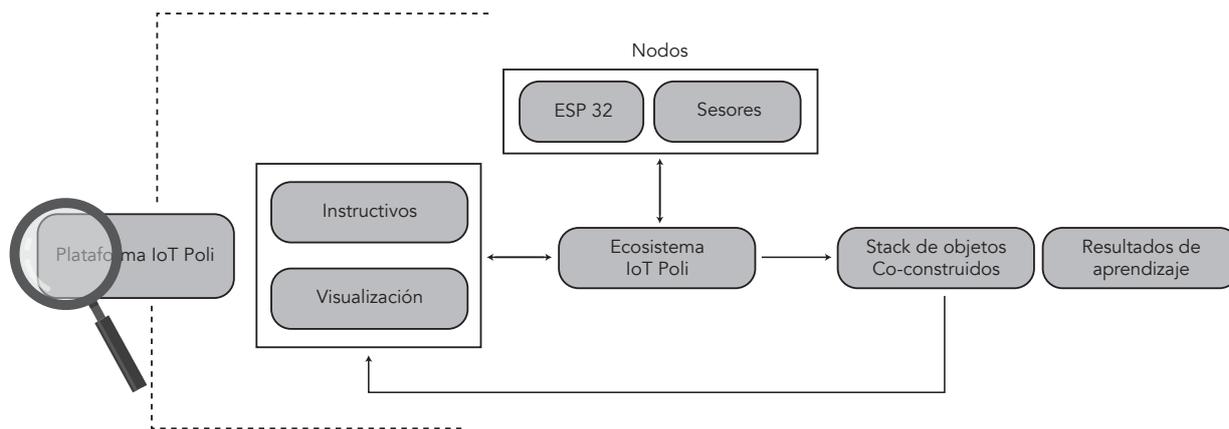
en una Raspberry PI con disponibilidad para uso de protocolo HTTP y MQTT. Se trata de una plataforma IoT de código abierto con diversas funcionalidades, como gestión de sensores, análisis de datos y visualización en tiempo real. Es compatible con varios dispositivos y protocolos, ofrece seguridad configurable y tiene amplia documentación y una comunidad activa. Puede desplegarse localmente o en la nube, con opciones gratuitas y planes comerciales [10].

Finalmente, con el fin de proveer una herramienta abierta y de fácil acceso para los estudiantes, se plantea la plataforma ThingSpeak. Esta plataforma permite el envío de datos a la nube de forma privada, facilita el análisis y visualización, y permite activar respuestas. Otras características con las que cuenta incluyen la recopilación y compartición de datos, API RESTful y MQTT,

análisis con MATLAB, alertas, programación de eventos y una comunidad global. Compatible con dispositivos como Arduino, Raspberry Pi y aplicaciones móviles [11].

La figura 2 presenta una vista detallada de la plataforma planteada; en el centro de la interacción se presenta la plataforma IoT Poli encargada de gestionar los mensajes entre los actores del entorno, se plantean varias capas y contextos en los cuales se orienta y gestiona la interacción de estudiantes y docentes basados en la secuencia. En color amarillo se tiene la capa de presentación, en ella el usuario encuentra las guías de uso básicas y una herramienta de visualización de los diferentes temas suscritos en el servidor, la visualización de datos se hace con base en gráficos que, según las necesidades, el usuario puede seleccionar.

Figura 2. Detalle de la plataforma IoT Poli.



Nota: Fuente elaboración propia.

En la capa de nodos se presentan diferentes posibilidades para que el usuario pueda conectar diferentes dispositivos de adquisición de datos y transmitirlos a la plataforma, de esta manera se genera una interacción de construcción donde los estudiantes generan información que luego será consumida por otros usuarios, reforzando el aprendizaje en comunidad desde la construcción del conocimiento propio; también pueden existir

conexiones de consumo o suscripción; desde estas los estudiantes pueden realizar tareas de recolección, análisis y co-creación a partir de los temas creados por otros.

Estos dispositivos harían parte del ecosistema de objetos, basado en placas de prototipado usando dispositivos como el ESP 8266 y ESP 32 para nodos, incluyendo sensores para la adquisición

de datos. Para la conexión a internet de las placas se pretende hacer uso de redes WiFi, por limitaciones de presupuesto y de facilidad de uso de los estudiantes.

Todo este trabajo se refleja en un banco de objetos co-creados que puede ser consultado y utilizado por todos los usuarios, de manera que se producen cambios y adaptaciones de acuerdo con las necesidades de cada proyecto. Este proceso evidencia la construcción de conocimiento en comunidad, reforzado desde la secuencia didáctica y el entorno construido para su desarrollo.

Rúbricas para evaluación de la secuencia didáctica

El constructivismo destaca la naturaleza personal y subjetiva del aprendizaje, enfatizando la interacción social, la reconstrucción de

conocimientos culturales y el papel crucial de los conocimientos previos en la construcción del nuevo aprendizaje. Asimismo, resalta la importancia de contextos auténticos y significativos, la resolución de problemas con sentido y la conexión entre lo nuevo y lo conocido. Estos principios fundamentales del constructivismo se centran en la construcción activa del conocimiento a través de experiencias interactivas y significados personales. [12]. Basados en estos principios, se construyó una rúbrica que pretende resumir los elementos mencionados usando como criterios: "Reconocimiento de saberes previos", "Construcción activa de nuevo conocimiento", "Rol del docente", "Rol del estudiante", "Naturaleza de las actividades de aprendizaje" y "Aprendizaje significativo" que, mediante niveles de cumplimiento de dichos criterios, busca evaluar desde el punto de vista constructivista los aportes que la secuencia didáctica hace al proceso de aprendizaje planteado.

Tabla 1. Rúbrica de evaluación de la plataforma vista desde el Constructivismo.

Criterio	Descripción
Reconoci-miento de saberes previos.	1: No se consideran los saberes previos. 2: Se reconoce de manera mínima. 3: Reconocimiento parcial y limitado. 4: Reconoce adecuadamente. 5: Reconocimiento integral y activo.
Construcción activa de nuevo conocimiento.	1: Poca o ninguna actividad de construcción. 2: Construcción mínima y pasiva. 3: Actividades parcialmente construidas. 4: Construcción activa en la mayoría de las actividades. 5: Construcción activa y reflexiva constante.
Rol del docente.	1: Docente como único transmisor de conocimientos. 2: Rol del docente predominante directivo. 3: Equilibrio entre dirección y facilitación. 4: Rol del docente mayormente facilitador. 5: Docente actúa principalmente como facilitador.
Rol del estudiante.	1: Estudiante como receptor. 2: Participación mínima del estudiante. 3: Participación parcial y ocasional. 4: Estudiante participa activamente. 5: Estudiante asume un rol proactivo en su aprendizaje.

Criterio	Descripción
Naturaleza de las actividades de aprendizaje.	1: Actividades tradicionales repetitivas. 2: Algunas actividades fomentan la exploración. 3: Actividades mixtas, algunas exploratorias. 4: Mayoría de actividades son exploratorias. 5: Todas las actividades son experiencias significativas.
Aprendizaje significativo.	1: Poca o ninguna conexión con la vida cotidiana. 2: Conexiones mínimas con experiencias personales. 3: Algunas conexiones significativas. 4: Conexiones frecuentes y relevantes. 5: Aprendizaje altamente significativo y aplicable.

Nota: Fuente elaboración propia.

El construccionismo se basa en tres conceptos clave desde la perspectiva didáctica: objetos para pensar, micromundos y entidades públicas. Los objetos para pensar son herramientas que ayudan a los estudiantes a explorar y crear, facilitando la construcción interna del conocimiento al trabajar con objetos externos. Los micromundos son entornos de aprendizaje

que permiten a los estudiantes experimentar con conceptos complejos mediante la interacción con los objetos para pensar. Las entidades públicas son construcciones compartibles y discutibles que enriquecen el diálogo interno y social, contribuyendo tanto a la construcción individual como a la social del conocimiento. [13].

Tabla 2. Rúbrica de evaluación de la plataforma vista desde el Construccionismo.

Criterio	Descripción
Objetos para pensar.	1: Pocos o ningún objeto para pensar. 2: Objetos mínimamente relacionados con conceptos. 3: Algunos objetos facilitan la reflexión. 4: Objetos conectados a conceptos de manera significativa. 5: Amplia variedad de objetos que fomentan la reflexión profunda.
Entidades públicas	1: Falta de interacción social en relación con los objetos. 2: Interacción social mínima en relación con los objetos. 3: Alguna interacción social facilitada por los objetos. 4: Interacción social frecuente y significativa. 5: Alta mediación social a través de objetos.
Micro mundos.	1: Escasa o ninguna exploración y experimentación. 2: Exploración limitada em micro mundos. 3: Aguna exploración y experimentación. 4: Exploración frecuente y variada en micro mundos. 5: Amplia exploración y experimentación en diversos micro mundos.

Criterio	Descripción
El objeto construido como instrumento para elaboración del conocimiento.	1: Mínima elaboración del conocimiento a través de objetos. 2: Construcción de objetos con relevancia limitada para el aprendizaje. 3: Objetos construidos contribuyen en cierta medida a la elaboración del conocimiento. 4: Objetos construidos tienen un papel significativo en la elaboración del conocimiento. 5: Construcción de objetos es esencial para la comprensión y aplicación del conocimiento.

Nota: Fuente elaboración propia.

A partir de esta base, se elaboró una segunda rúbrica para evaluar la presencia de cada uno de estos elementos dentro de las actividades de aprendizaje presentes en la secuencia didáctica. La rúbrica evalúa el enfoque constructorista de Papert en tres aspectos clave: "Objetos para pensar", "Entidades públicas" y "Micromundos". En relación con los "Objetos para pensar", se valora desde la presencia mínima hasta la amplia variedad que fomente una reflexión profunda. La "Entidad pública" se evalúa en términos de la mediación social facilitada por los objetos, desde la falta de interacción hasta una alta mediación social. En cuanto a los "Micromundos", se considera la exploración y experimentación, evaluando desde la escasa o ninguna hasta la amplia exploración y experimentación en diversos micromundos. Además, se examina cómo el objeto construido sirve como instrumento para la elaboración del conocimiento, evaluando desde una mínima contribución hasta una construcción esencial que impulsa la comprensión y aplicación del conocimiento. La escala de evaluación varía de 1 a 5, reflejando el nivel de integración y efectividad del constructorismo en cada uno de estos aspectos.

Resultados

La secuencia didáctica descrita se presenta como una opción interesante y de impacto positivo en la labor académica a desarrollar. Las rúbricas de evaluación construidas, desde el punto de vista del constructivismo y el constructorismo, permiten obtener una visión de cumplimiento y de

los diferentes criterios que estas teorías proponen para lograr los resultados.

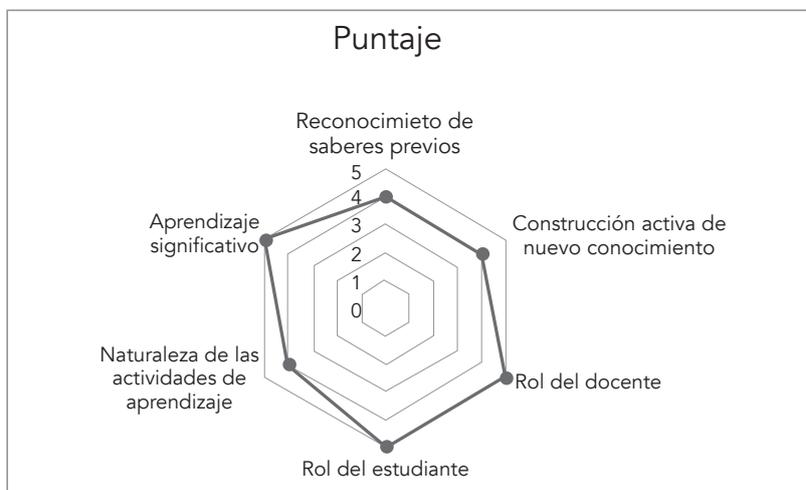
Al evaluar la secuencia didáctica en relación con la Rúbrica 1 del Constructivismo, se destacan diversas observaciones (entre paréntesis la nota otorgada por los autores):

En cuanto al "Reconocimiento de saberes previos (4/5)", se aprecia que es puntual y orientado a un aprendizaje significativo al integrar los conceptos nuevos en el conocimiento preexistente del estudiante. Sin embargo, se sugiere mejorar la comprensión del significado de este reconocimiento, enfocándolo más hacia un aprendizaje situado. En relación con la "Construcción activa (4/5)", se señala la necesidad de incorporar una construcción reflexiva más profunda para potenciar el impacto en el aprendizaje mediante la metacognición. El "Rol del docente como facilitador (5/5)" se destaca por su evolución a lo largo de la secuencia, pasando de un papel inicial de dirección a uno de facilitación progresiva. La sugerencia de diversas fuentes de información desde el principio respalda este enfoque, promoviendo la autonomía del estudiante. La "Proactividad del estudiante (5/5)" se reconoce como un diferenciador, especialmente motivado en los espacios de diseño. Esta proactividad se alinea con el rol del docente como facilitador, aunque se reconoce que no puede garantizarse de manera absoluta. En relación con el "Aprendizaje significativo (4)", se destaca la conexión con la cotidianidad y la integración con conocimientos previos del

estudiante, pero se sugiere enriquecer algunas actividades con la construcción del contexto de aplicación. Finalmente, se subraya que el área de estudio, centrada en las aplicaciones IoT, es altamente aplicable y significativa (puntuación 5), siendo relevante para estudiantes de ingeniería de sistemas y telecomunicaciones, cada uno con sus especificidades y posibles fortalezas.

En conjunto, la secuencia demuestra una sólida adhesión a los principios constructivistas, con áreas de mejora identificadas para potenciar aún más la calidad del aprendizaje. La figura 3 muestra de manera gráfica los resultados de la evaluación de la rúbrica 1.

Figura 3. Evaluación de la secuencia didáctica desde el constructivismo



Nota: Fuente elaboración propia.

Al evaluar la secuencia didáctica empleando la Rúbrica 2 del constructivismo, se destacan las siguientes observaciones:

En el aspecto de "Objetos para pensar (4/5)", se reconoce que están conectados de manera significativa a los conceptos. Sin embargo, se sugiere que el crecimiento de la base de objetos co-construidos podría ampliar la exploración hacia una variedad aún mayor, fomentando así una reflexión más profunda. En relación con las "Entidades públicas (5/5)", se subraya la importancia de los objetos co-construidos en la construcción social del conocimiento y la exploración inicial y continua para el desarrollo de nuevas aplicaciones. Se destaca que las actividades explícitas de socialización, junto con los espacios de diseño y las rúbricas a vista, facilitan el diálogo social y la reflexión interna mediante el objeto diseñado/construido como punto de partida. En

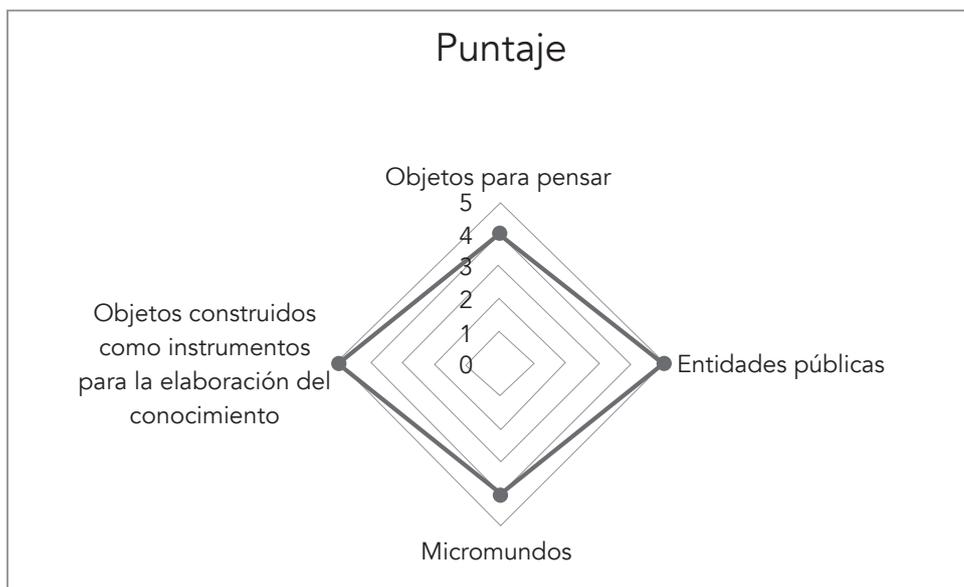
el ámbito de "Micro mundos (4/5)", se evidencia un proceso de exploración y apropiación de los objetos previamente construidos y sus interacciones. Aunque la extensión inicial de los micro mundos es limitada, se ofrece espacio para que los objetos co-construidos enriquezcan estos entornos para nuevos estudiantes. En cuanto al "Objeto construido como instrumento para elaboración del conocimiento (5/5)", se destaca la esencial contribución de la construcción de objetos a la comprensión y aplicación del conocimiento. La secuencia muestra que la construcción de objetos no es solo relevante, sino fundamental para el proceso de aprendizaje.

En resumen, la secuencia demuestra una sólida implementación de los principios del constructivismo, especialmente en la conexión significativa de los objetos con conceptos y en la creación de entornos propicios para la construcción

social del conocimiento. Se identifican áreas para mejorar, como la expansión de la base de objetos

y la profundización reflexiva en la construcción activa. Estos resultados se ven en la figura 4.

Figura 4. Evaluación de la secuencia didáctica desde el construccionismo



Nota: Fuente elaboración propia.

En cuanto a la parte técnica propuesta para la Plataforma IoT Poli, se logró la implementación de los dos servidores propuestos, desarrollando pruebas iniciales de conexión, transmisión de información y verificación de protocolos. Respecto a ThingsBoard, la herramienta en nube, esta ha venido siendo utilizada por los cursos presenciales y virtuales, buscando apropiarse los conceptos de transmisión, visualización y análisis de información.

Discusión

La secuencia didáctica se sitúa en el marco del constructivismo y el construccionismo, enriqueciendo la experiencia de aprendizaje al alinearla con principios fundamentales de ambas corrientes pedagógicas. El constructivismo sostiene que el aprendizaje es un proceso activo y social en el cual los estudiantes construyen su propio conocimiento a través de la interacción con su entorno y sus pares.

Desde una perspectiva constructivista, la fase inicial de exploración de referentes teóricos de IoT se presenta como un momento crucial. Aquí, los estudiantes no solo identifican e incorporan información teórica, sino que, de manera activa, construyen su comprensión conceptual a través de la exploración y la síntesis de diversos conceptos relacionados con IoT. Esta fase fomenta la participación y la construcción personalizada del conocimiento.

El construccionismo amplía al constructivismo al enfatizar la importancia de la construcción física y tangible en el proceso de aprendizaje. La fase de exploración de objetos de la plataforma, donde se instrumentaliza el uso de nodos y la visualización de datos mediante la tarjeta ESP32 y el kit de sensores, se alinea de manera directa con los principios del construccionismo. Aquí, los estudiantes no solo adquieren conocimientos teóricos, sino que también participan en la construcción física y práctica de sus propios objetos conectados.

La iteración de diseño para la aplicación seleccionada también incorpora elementos clave del construccionismo al enfocarse en el desarrollo iterativo de un prototipo funcional. Este enfoque permite a los estudiantes no solo concebir soluciones basadas en IoT de manera abstracta, sino también construir y mejorar continuamente sus creaciones, consolidando así su comprensión y habilidades prácticas.

En consonancia con el constructivismo, la identificación de una aplicación real de interés propone un enfoque significativo y contextualizado. Aquí, los estudiantes aplican su comprensión de IoT para identificar problemas del mundo real que deseen abordar, lo que favorece la conexión del aprendizaje con situaciones auténticas y relevantes.

El construccionismo también se manifiesta en la implementación de un objeto conectado, donde los estudiantes diseñan y construyen activamente sus propios artefactos, conectándolos a la plataforma y visualizando datos generados. Este proceso físico de construcción refuerza el aprendizaje al proporcionar una experiencia práctica tangible.

Las características mencionadas evidencian una secuencia didáctica fundamentada en el enfoque construccionista, aprovechando la infraestructura tecnológica y los recursos previamente mencionados. Su objetivo primordial es impulsar el aprendizaje activo y significativo de los estudiantes mediante la creación, implementación y análisis de soluciones tecnológicas en el ámbito del internet de las cosas. Los estudiantes utilizarán la plataforma de prototipado y los sensores para adquirir datos, desarrollando proyectos que aborden desafíos reales en la disciplina. A través de la aplicación web de visualización de datos y la interacción con el Ecosistema IoT Poli, los estudiantes experimentarán con el monitoreo y control de sistemas, enriqueciendo su comprensión de conceptos fundamentales. Esta secuencia didáctica busca fomentar la adquisición de habilidades técnicas, el pensamiento crítico y la resolución de problemas, preparando a los futuros

ingenieros para afrontar con eficacia y creatividad los desafíos tecnológicos en su campo.

La secuencia fomenta la participación de un grupo de estudiantes que desempeñó un papel central en la creación de la plataforma de visualización. Este grupo de base, conformado por estudiantes con habilidades técnicas sólidas, junto con el grupo de docentes, asumió el rol de "constructores" y "facilitadores", contribuyendo al diseño y desarrollo de la plataforma. Su experiencia se convierte en un punto de partida valioso para la interacción de los demás estudiantes, ya que estos últimos se convierten en "usuarios-constructores". Continuando la reflexión sobre el rol de los objetos y la plataforma desde una perspectiva construccionista, se busca que, tanto los objetos preconstruidos como los co-creados, sirvan de vehículo para la exteriorización de ideas y el fomento del diálogo interno reflexivo en los estudiantes, actuando como verdaderos "objetos para pensar". Todo esto se desarrolla en un entorno integrado que posibilita la interacción, la experimentación, la modificación y la construcción de conocimiento mientras se dan forma a los objetos, generando un "micro mundo" de aprendizaje.

En este marco, las características del Internet de las cosas (IoT) están diseñadas para fomentar la interacción, facilitando así el proceso de diálogo social. Esto habilita a los estudiantes a exponer, comunicar, defender, debatir y co-construir conocimiento, reflejando la noción de "entidades públicas" planteada por Papert. De este modo, la plataforma se convierte en un espacio dinámico donde los objetos y elementos tecnológicos se transforman en herramientas para el pensamiento y la generación de conocimiento, promoviendo la colaboración entre los estudiantes dentro del contexto educativo de la ingeniería.

Conclusiones

El desarrollo de la secuencia didáctica, alineada con los enfoques constructivista en general y construccionista en particular, ha permitido obtener una estrategia para el desarrollo de cursos

futuros, que fomenten un aprendizaje activo y significativo. Esta estructura flexible se espera posibilite la construcción colaborativa y reflexiva de conocimientos entre docentes y estudiantes, fortaleciendo la autonomía estudiantil y el papel facilitador de los educadores.

En ese sentido, la implementación de la plataforma IoT Poli ayudará a transmitir, visualizar y analizar información, cumpliendo con los propósitos técnicos y pedagógicos establecidos.

La plataforma IoT Poli ofrece un entorno adecuado para la construcción social del conocimiento a través de objetos para el pensamiento, micromundos y entidades compartidas. La interacción con estos objetos impulsa la exploración y la reflexión, fundamentales para comprender y aplicar el conocimiento de manera efectiva.

Desde el punto de vista técnico, la implementación de la plataforma facilita la transmisión,

visualización y análisis de información. Esta herramienta será un recurso importante, tanto en cursos presenciales como virtuales, contribuyendo a una mejor comprensión de los conceptos relacionados con IoT. La secuencia didáctica propuesta, acompañada de la plataforma IoT Poli, permitirá promover un aprendizaje colaborativo, significativo y tecnológicamente relevante.

Aunque los resultados son prometedores, es importante reconocer algunas limitaciones respecto a la evaluación de las rúbricas, el uso con grupos estudiantiles de las plataformas propuestas y evaluaciones a largo plazo para observar el impacto en el aprendizaje.

Como una siguiente fase del trabajo desarrollado, se espera explorar la implementación de la plataforma en diferentes contextos educativos y evaluar cómo se adapta a diferentes niveles de habilidades y conocimientos.

Referencias

- [1]. X. Zaldivar-Colado, U. Zaldivar-Colado, C. Marmolejo-Rivas, R. Bernal-Guadiana & J. Hernandez-Payan, 'Learning and technology in virtual environments with a constructionism theory', *6th International conference of education, research and innovation (ICERI 2013)*, 2013, pp. 6995-7001.
- [2]. S. C. Barreiro y D. F. Bozutti, "Desafíos y dificultades en la enseñanza de la ingeniería a la generación Z: Un caso de estudio", *Propósitos y Representaciones*, vol. 5, n° 2, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.20511/pyr2017.v5n2.163>
- [3]. Proyecto Educativo Institucional, Politécnico Grancolombiano, Bogotá, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.poli.edu.co/sites/default/files/p-e-i-n2020.pdf>
- [4]. E. F. Pascagaza and B. G. Bohórquez, "El aprendizaje basado en proyectos y su relación con el desarrollo de competencias asociadas al trabajo colaborativo," *Revista Amauta*, vol. 17, n° 33, pp. 103-118, 2019, doi: 10.15648/am.33.2019.8.
- [5]. Unión Internacional de Telecomunicaciones, "Recomendación ITU-T Y.2060, Descripción general de Internet de los objetos", 2012.
- [6]. J. S. Santoyo Díaz, E. Carrillo Zambrano, and J. Samper Zapater, "State of the art about use of IoT in education", In *Proceedings of the Euro American Conference on Telematics and Information Systems (EATIS '18)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 22, 1-5. <https://doi-org.loginbiblio.poligran.edu.co/10.1145/3293614.3293655>
- [7]. O. Zawacki-Richter, V. I. Marín, M. Bond, et al., "Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators?" *Int. J. Educ. Technol. High Educ.*, vol. 16, p. 39, 2019. DOI: 10.1186/s41239-019-0171-0.
- [8]. C. L. Rincón Valdiri and N. C. Rincón Valdiri, "Diseño e implementación de una estrategia didáctica para el fortalecimiento de la escritura a través de textos digitales en los estudiantes del grado 203 del colegio distrital Estrella del Sur," (Tesis de maestría), Universidad Libre de Colombia, 2015.
- [9]. IBM, "¿Qué es el software de código abierto?". [En línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/es-es/topics/open-source>
- [10]. N. Martínez, "Ecosistema de IoT para integración de proyectos de aula utilizando herramientas de código abierto". (Tesis de pregrado). Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano, 2023. <http://hdl.handle.net/10823/7014>
- [11]. J. Manotas y N. Martínez, "Exploración de las plataformas IOT en el mercado para fomentar el conocimiento, buen uso y efectividad de los dispositivos IOT creados en la facultad de ingeniería y ciencias básicas de la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano". (Tesis de pregrado). Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano, 2023. <http://hdl.handle.net/10823/1215>
- [12]. F. Díaz Barriga y G. Hernández Rojas, "Estrategias docentes para un aprendizaje significativo (Una interpretación constructivista)", 2a ed. México: McGraw-Hill, 2004.
- [13]. E. Badilla Saxe, A. Chacón Murillo, "Construccionismo: Objetos para pensar, entidades públicas y micromundos", *Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación"*, vol. 4, n° 1, enero-junio, 2004, p. 0, Universidad de Costa Rica San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica.

Cuaderno

Activa
• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

Tipografía: Avenir
Materiales: Propalcote 300 gr y Bond 90 gr.

Impreso por:
Divegraficas S.A.S.
Cra. 50 # 35-62 Medellín, Antioquia
Tel: (604) 322 50 96

Sello Editorial TdeA
Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria
Dirección de Investigación - Facultad de Ingeniería
Calle 78B No. 72-220. Medellín - Colombia, Suramérica.
www.tdea.edu.co

2023

1. Inteligencia artificial aplicada al riesgo de las viviendas: Una revisión de literatura.
2. Formulación de una propuesta de realidad aumentada aplicada a un mariposario en el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas en el municipio de Otanche, Boyacá
3. Construcción de un modelo para predecir la morosidad de cartera
4. Análisis y creación de un sistema experto para el control y seguimiento de trastornos emocionales en estudiantes universitarios
5. Voto electrónico como una alternativa al proceso de votación tradicional: Una revisión de literatura.
6. Aplicación y evaluación de métodos de conservación a corto y mediano plazo para hongos filamentosos y levaduras de interés industrial, agroindustrial y biotecnológico
7. Predicción y control del Trastorno por déficit de Atención con Hiperactividad en adultos: Una revisión de literatura.
8. Análisis de la aplicación del modelo Conwip en los países latinoamericanos: Una revisión de literatura
9. Propuesta de una plataforma de código abierto para el Internet de las Cosas como estrategia didáctica para la Escuela de TIC del Politécnico Grancolombiano

Cuaderno

Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •