

IN TER FASLS



IN TERE FASEs

OBJETIVO DE INTERFASES

Interfases es una revista digital gestionada por la Universidad de Lima para la publicación de investigaciones originales en áreas temáticas relacionadas con las ciencias de la computación, gestión de datos, aprendizaje automático, sistemas de información, gestión del conocimiento y áreas afines. Se publican artículos científicos y avances de investigación, siempre que cumplan con el proceso de revisión por pares. La revista está indexada en CrossRef, Dialnet, Latindex y DOAJ: Directory of Open Access Journals, y se publica dos veces al año, la primera en julio y la segunda en diciembre. Sin embargo, a partir de julio del 2021, los manuscritos individuales se publicarán tan pronto como estén listos, añadiéndolos progresivamente al contenido de la edición en curso en la modalidad de publicación continua. Los artículos en publicación continua siguen el proceso de revisión por pares, y ya se pueden citar utilizando el año de publicación y el DOI.

PÚBLICO OBJETIVO

- Profesionales e investigadores relacionados con la ingeniería de sistemas y afines.
- Estudiantes y docentes del pregrado y posgrado de ingeniería de sistemas.
- Público interesado.

ISSN: 1993-4912 (electrónico)
doi: <https://doi.org/10.26439/interfases2023.n017>
Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional
del Perú n.º 2020-09967

Periodicidad: semestral
Edición: n.º 17
Fecha publicación: julio del 2023
Arbitraje editorial: revisión por pares
de doble ciego
Directorios y catálogos: CrossRef, Dialnet,
Latindex y DOAJ

Las opiniones expresadas en los artículos
firmados son de exclusiva responsabilidad de los
autores. Los contenidos de la revista *Interfases* son
de acceso abierto y se encuentran bajo la licencia
Creative Commons.

Universidad de Lima
Av. Javier Prado Este 4600,
Urbanización Monterrico Chico,
Lima 33, Perú
Apartado postal 852, Lima 100, Perú
Teléfono: (511) 437-6767, anexo
30131
fondoeditorial@ulima.edu.pe
<http://www.ulima.edu.pe/>

Edición, diseño y diagramación:
Fondo Editorial
Imagen de portada:

Carrera de Ingeniería de Sistemas
[http://www.ulima.edu.pe/pregrado/
ingenieria-de-sistemas](http://www.ulima.edu.pe/pregrado/ingenieria-de-sistemas)

Contacto: interfases@ulima.edu.pe

DIRECTORA

Dra. Nadia Katherine Rodríguez Rodríguez
Universidad de Lima, Perú

EDITOR

Dr. Hernán Nina Hanco
Universidad de Lima, Perú

EDITORES INVITADOS

Mg. Franci Suni Lopez
Universidad de Lima, Perú

Dra. Nelly Condori Fernández
Universidad Santiago de Compostela, España

Mg. Angela Mayhua Quispe
Universidad de Lima, Perú

COMITÉ EDITORIAL

Hugo Alatrística-Salas, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

Víctor Ayma-Quirita, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil

César Beltrán-Castañón, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

Nelly Condori Fernández, Universidad Santiago de Compostela, España

Guillermo Antonio Dávila Calle, Universidad de Lima, Perú

Michael Dorin, University of St. Thomas, Estados Unidos

Edwin Jonathan Escobedo Cárdenas, Universidad de Lima, Perú

Juan Gutiérrez-Cárdenas, Universidad de Lima, Perú

Effie Lai-Chong Law, Durham University, Inglaterra

Carlos Mugruza-Vassallo, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Perú

María Florencia Pollo Cattaneo, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

Ruth María Reátegui Rojas, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador

Ian D. Sanders, University of South Africa, Sudáfrica

Marco Antonio Sotelo Monge, Indra, España

Álvaro Talavera-López, Universidad del Pacífico, Perú

EQUIPO DE GESTIÓN

Angelo Rodrigo Taco Jimenez
Universidad de Lima, Perú

REVISORES CIENTÍFICOS

Dra. Irene Aguilar Juárez, Universidad Autónoma del Estado de México

Dr. Alejandro Apaza Tarqui, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú

Mg. Marien Rocío Barrera Gómez, Universidad Santo Tomás, Colombia
Dr. Isaias Bianchi, Al-Farabi Kazakh National University, Kazajistán
Mg. José Alberto Caballero Ortiz, Universidad de Lima, Perú
Dr. Dennis Iván Candia Oviedo, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú
Mg. Fiorella Capcha Sánchez, Universidad de Lima, Perú
Mg. Daniel Enrique Cárdenas Salas, Universidad de Lima, Perú
Mg. Oswaldo Daniel Casazola Cruz, Universidad Nacional del Callao, Perú
Mg. Edilene Cavalcanti dos Anjos, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Mg. William Alberto Chávez Espinoza, Universidad Pública de Navarra, España
Dr. Edmanuel Cruz, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
Dr. Ignacio Díaz-Cano, Universidad de Cádiz, España
Mg. Percy Diez Quiñones, Universidad de Lima, Perú
Dra. Simena Dinas, Universidad de San Buenaventura, Colombia
Dr. Dario Francisco Dueñas Bustinza, Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú
Mg. Jisbaj Gamarra Salas, Universidad de Granada, España
Dra. Valentina Gomes Haensel Schmitt, Universidad de Lima, Perú
Dr. Juan Gutiérrez Cárdenas, Universidad de Lima, Perú
Mg. Jorge Luis Irey Núñez, Universidad de Lima, Perú
Dra. María de León Sigg, Universidad Autónoma de Zacatecas, México
Mg. Cesar Stuardo Lucho Romero, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
Mg. William-Rogelio Marchand-Niño, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú
Ing. Juan José Martínez Cámara, Universidad de Jaén, España
Dr. Víctor Hugo Menéndez Domínguez, Universidad Autónoma de Yucatán, México
Mg. Julio César Montoya Rendón, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
Mg. Javier More Sánchez, Universidad de Lima, Perú
Mg. Pilar Alexandra Moreno, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
Mg. Braulio Oscar Murillo Veliz, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
Mg. Iván Darío Peñaranda Arenas, Universidad de Granada, España
Mg. Ferdinand Edgardo Pineda Ancco, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
Dr. José Antonio Pow Sang Portillo, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
Mg. Hernán Alejandro Quintana Cruz, Universidad de Lima, Perú
Mg. Lennin Paul Quiroz Villalobos, Universidad de Lima, Perú
Mg. Lourdes Ramírez Cerna, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
Dra. Cristina del Real, Leiden University, Países Bajos
Mg. Javier Rojas Segura, Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica
Mg. Liseth Urpy Segundo Carpio, Universidade de São Paulo, Brasil
Dra. Alexandra María Silva Monsalve, Universidad Santo Tomás, Colombia

Dra. Aimiris Sosa Valcárcel, Universidad de Málaga, España
Mg. Adolfo Gustavo Tantaleán Valiente, Universidad de Lima, Perú
Dr. Osbaldo Turpo Gebera, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú
Mg. José Jesús Valdivia Caballero, Universidad de Lima, Perú
Dr. Ángel Leonardo Valdivieso Caraguay, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
Dr. Ronny Villafuerte Serna, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú
Mg. Rannoverng Yanac Montesino, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú

POLÍTICA EDITORIAL

ENFOQUE Y ALCANCE

Interfases es una revista digital gestionada por la Universidad de Lima para la publicación de investigaciones originales en áreas temáticas relacionadas con las ciencias de la computación, gestión de datos, aprendizaje automático, sistemas de información y áreas afines. Se publican artículos científicos y avances de investigación, siempre que cumplan con el proceso de revisión por pares. La revista está indexada en CrossRef, Dialnet, Latindex y DOAJ: Directory of Open Access Journals, y se publica dos veces al año, la primera en julio y la segunda en diciembre. Sin embargo, los manuscritos individuales se publicarán tan pronto como estén listos, añadiéndolos progresivamente al contenido de la edición en curso en la modalidad de publicación continua. Los artículos en publicación continua siguen el proceso de revisión por pares, y ya se pueden citar utilizando el año de publicación y el DOI.

PROCESO DE REVISIÓN POR PARES

Los manuscritos originales e inéditos enviados a la revista *Interfases* siguen un proceso de evaluación en dos etapas.

En la primera, el editor examina el contenido para determinar si el manuscrito está alineado con el alcance y ha seguido las directrices para los autores. Si el manuscrito no es aceptado, se devuelve al autor correspondiente con las razones detalladas que motivan la decisión adoptada por el editor.

Si el manuscrito es aceptado por el editor, este se envía a revisores externos expertos en el tema de investigación. Esta segunda evaluación corresponde a una revisión por pares doble ciego, donde el autor y los revisores son anónimos.

El revisor evalúa el contenido del manuscrito y, basándose en su experiencia y conocimiento, adopta una de las siguientes recomendaciones:

1. El manuscrito es aceptado sin cambios o con cambios mínimos.

2. El manuscrito se acepta con la condición de realizar cambios importantes, de acuerdo con las observaciones del revisor. La versión corregida del manuscrito debe ser aprobada en una segunda revisión.
3. El manuscrito no se acepta por las contribuciones limitadas del estudio u otras consideraciones informadas por el revisor.

Con base en los comentarios de los revisores, el editor informa la decisión al autor correspondiente, quien tiene hasta treinta días para realizar los cambios al manuscrito (recomendación 1 y 2), o argumenta por qué no se acepta (recomendación 3).

Una vez que los revisores reciben el manuscrito corregido, tienen hasta veinte días para informar el resultado de la nueva evaluación; posteriormente, emiten su recomendación final. Una vez que el editor recibe la segunda ronda de revisiones, toma una decisión para publicar el manuscrito y luego se le notifica al autor correspondiente.

Cualquier objeción del autor respecto de la decisión del editor o hacia los comentarios de los revisores será resuelta por el Comité Editorial como instancia final.

La revista se adhiere a los criterios establecidos por el *Guidelines on Good Publication Practice* del Committee on Publication Ethics (COPE), el cual establece las sanciones en caso de plagio.

DIRECTRICES PARA AUTORES/AS

ENVÍO DEL MANUSCRITO

Interfases publica tres tipos de artículos: trabajos de investigación (hasta 5000 palabras), avances en investigación (hasta 2800 palabras) y revisiones (hasta 1500 palabras).

Todos los artículos se envían del mismo modo. Una vez que el editor verifique que el contenido del manuscrito pertenece al ámbito de *Interfases*, lo remitirá a un proceso de revisión por pares. Este proceso (compuesto de dos rondas) toma aproximadamente de dos a tres meses, pero dependiendo de la complejidad del manuscrito, podría extenderse.

Los manuscritos enviados a *Interfases* no deben haberse publicado previamente ni estar en consideración para su publicación en otra revista.

Página del título

La página del título debe incluir:

- Un título conciso e informativo (hasta 30 palabras).
- El nombre completo de cada autor, incluyendo la afiliación institucional, la dirección de correo electrónico y el código ORCID.
- Resumen de 200 a 250 palabras. El resumen debe indicar la naturaleza y contribución del estudio. Evite las abreviaturas no definidas, las ecuaciones matemáticas o las referencias bibliográficas en el texto del resumen.
- Palabras clave (de 3 a 5) separadas por comas. Las palabras clave deben tomarse de la taxonomía de la IEEE Computer Society: <https://www.computer.org/digital-library/journals/sc/tsc-taxonomy-list>

Texto

Los trabajos enviados deben haber sido redactados en un documento Word (.doc o .docx), y aquellos aceptados para ser publicados deben usar la plantilla de *Interfases* LATEX que estará disponible pronto.

Al redactar el manuscrito, usar la opción de numeración automática para numerar las páginas. Por favor, evite el uso de funciones de campo. Utilice la función de tabla, no una hoja de cálculo pegada, para hacer tablas. Si escribe su manuscrito con Word, use el editor de ecuaciones o MathType para las ecuaciones.

Tablas

Las tablas son el núcleo de los nuevos hallazgos reportados en la corriente principal de la ciencia; por lo tanto, incluya las tablas que considera son estrictamente necesarias. Todas las tablas se numeran utilizando números arábigos (por ejemplo, Tabla 1, Tabla 2...) e incluyen un título que detalla la relevancia de los datos presentados.

Las tablas se mencionan en el orden en que aparecen en el manuscrito. Además del número, el título y los datos, las tablas pueden incluir una nota para detallar la fuente de información, así como explicaciones adicionales que no están incluidas en el manuscrito.

Abreviaturas

Use abreviaturas solo si son necesarias para mejorar la legibilidad de su documento. Debe definir cada abreviatura en la primera mención y, después, usarla de manera consistente.

Conclusiones

Recuerde que las conclusiones no son la versión narrativa y textual de las tablas incluidas en la sección Resultados. Por el contrario, reseñan y sintetizan los principales argumentos del artículo. Las conclusiones se extraen de los hallazgos y proporcionan una respuesta adecuada a la pregunta de investigación. Además, incluyen las limitaciones del estudio y sugieren nuevas preguntas y aplicaciones para futuros estudios.

Referencias

Las citas y las referencias deberán indicarse de acuerdo con las normas APA. Según la norma señalada, las referencias, enlistadas al final de la publicación, se realizarán de la siguiente forma:

a. Libros

Apellido del (los) autor(es), letra inicial del nombre del (los) autor(es). (Año de la publicación). *Título del libro* (en cursiva) (número de la edición). Nombre de la editorial.

b. Artículos de revistas o capítulos de un libro:

Apellido del (los) autor(es), letra inicial del nombre del (los) autor(es). (Año de publicación). Título del artículo o el capítulo. *Nombre de la revista o el libro* (en cursiva), número de la revista (en cursiva), páginas en las que se encuentra el artículo o el capítulo.

c. Libros electrónicos

Apellido del (los) autor(es), letra inicial del nombre del (los) autor(es). (Año de publicación). *Título del texto electrónico* (en cursiva). [http://...](#) (dirección web).

d. Artículos de revistas electrónicas

Apellido del (los) autor(es), letra inicial del nombre del (los) autor(es). (Año de publicación). Título del artículo. *Nombre de la revista* (en cursiva), número de la revista (en cursiva), páginas en las que se encuentra el artículo. [http://...](#) (dirección web).

f. Ponencias en congresos o simposios

Apellido del (los) expositor(es), letra inicial del nombre del (los) autor(es). (Año, [indicar día] de [indicar mes]). *Título de la ponencia* (en cursiva). Conferencia presentada en el [nombre del evento]. [http://...](#) (dirección web).

Material suplementario electrónico

Los autores pueden incluir archivos de texto (incluyendo tablas y figuras) y hojas de cálculo como material complementario. Sin embargo, para datos de investigación, es recomendable archivarlos en repositorios de datos. Para el código de *software*, los autores pueden usar plataformas como GitHub o similares.

Si los originales contienen fotografías o reproducciones de obras pictóricas, estas se entregarán aparte en archivos TIFF o JPG, con 300 píxeles de resolución (DPI). Si contienen gráficos, cuadros, dibujos, flujogramas u otros elementos, estos deben entregarse igualmente en un archivo aparte y en el programa original en que fueron creados (por ejemplo, Excel, Illustrator, etcétera).

Lista preliminar para la preparación de envíos

Los artículos deberán respetar el siguiente formato:

- a. Formato de página A4.
- b. Título del artículo, centrado en negrita, con letra Times New Roman en doce puntos.
- c. Títulos del texto, en negrita, con letra Times New Roman de doce puntos, dejando dos líneas en blanco antes del párrafo.
- d. Texto del cuerpo con letra Times New Roman de doce puntos, con espacio y medio de interlineado.

Declaración de privacidad

Los nombres y las direcciones de correo electrónico introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines establecidos en ella y no se proporcionarán a terceros o para su uso con otros fines.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	17
<i>Nadia Katherine Rodríguez Rodríguez</i>	
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
Cómo promueven los Estados la ciberseguridad de las pymes	21
<i>Olda Bustillos Ortega</i>	
<i>Javier Rojas Segura</i>	
Competencias de comportamiento, determinando la existencia de una brecha entre la academia y el mercado laboral de TI	38
<i>Cindy Ortiz Acuña</i>	
<i>Jennier Solano Cordero</i>	
<i>Eugenia Ferreto Gutiérrez</i>	
<i>Javier Rojas Segura</i>	
Comparativa entre RESNET-50, VGG-16, Vision Transformer y Swin Transformer para el reconocimiento facial con oclusión de una mascarilla	56
<i>Brenda Xiomara Tafur Acenjo</i>	
<i>Martin Alexis Tello Pariona</i>	
<i>Edwin Jhonatan Escobedo Cárdenas</i>	
Lógica difusa para regular la velocidad de un motor de corriente continua (CC)	79
<i>Guillermo Tejada Muñoz</i>	
Optimización de planes de vuelo para múltiples drones en zonas de construcción	96
<i>Alvaro Sotelo Vila</i>	
<i>Lourdes Ramírez Cerna</i>	

Aspectos relevantes de la cultura organizacional de los docentes en una institución de educación superior tecnológica peruana	123
<i>Edwin Humberto Calderón-Fuentes</i>	
<i>Edgar Huamaní-Sayán</i>	
Modelo para la mejora del servicio de atención al cliente mediante la teoría de colas: caso de estudio de una agencia bancaria	146
<i>Leticia Siu Leng León Lazo</i>	
<i>Lorena Paola Vivanco Vivanco</i>	
ARTÍCULO DE REVISIÓN	
La enseñanza de la programación mediante <i>software</i> educativo especializado y los agentes conversacionales	170
<i>Omar Ayala Cadena</i>	
<i>Irene Aguilar Juárez</i>	
ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN	
Aplicación del modelo Canvas para la creación de la fábrica de <i>software</i> en una universidad pública: caso de estudio UNFV-FIIS	188
<i>Luis Avelino Muñoz Ramos</i>	
<i>Milagros Elisa Leonardo Ramos</i>	
DATOS DE LOS AUTORES	220

PRESENTACIÓN

La revista *Interfases* tiene como uno de sus principales objetivos fomentar la comunicación científica en áreas temáticas relacionadas con la ingeniería de sistemas, la ingeniería del *software*, los sistemas de información, las tecnologías de la información, la ciberseguridad, la ciencia de datos, la ciencia de la computación y áreas afines. En línea con este propósito, nos complace presentar la edición número 17, correspondiente al período de enero a junio del 2023. En esta edición, hemos incluido un total de nueve artículos que han pasado por un riguroso proceso de revisión por pares. Estos artículos abordan diversas temáticas y han sido redactados por autores provenientes de México, Costa Rica y Perú.

En primer lugar, tenemos el artículo de investigación de Olda Bustillos y Javier Rojas, ambos de la Universidad Internacional de las Américas en Costa Rica, quienes discuten el impacto de la tecnología en la sociedad actual y cómo junto con estos avances tecnológicos también han surgido mayores riesgos, especialmente en forma de ciberataques. Estos ataques representan una amenaza para la cadena de suministro global, siendo las pequeñas y medianas empresas y su ecosistema los más afectados debido a la falta de recursos para proteger sus activos de información.

En segundo lugar, se encuentra el trabajo de Cindy Ortiz, Jennier Solano, Eugenia Ferreto y Javier Rojas, todos ellos del Tecnológico de Costa Rica. El objetivo de su artículo es identificar las competencias de comportamiento relevantes para los profesionales de TI y evaluar si existe una brecha entre las competencias desarrolladas por la academia y las requeridas por el mercado laboral en Costa Rica.

En tercer lugar, Brenda Tafur, Martin Tello y Edwin Escobedo, pertenecientes a la Universidad de Lima, hacen una evaluación de cuatro modelos preentrenados por aprendizaje por transferencia: VGG-16, RESNET-50, Vision Transformer (ViT) y Swin Transformer, los cuales se entrenaron en sus capas superiores con un conjunto de datos

propio. El aporte de la investigación recae en la experimentación con dos tipos de arquitecturas: CNN y *transformers*, así como en la creación del conjunto de datos público que se comparte a la comunidad científica.

En cuarto lugar, se presenta el artículo científico que se enfoca en el diseño y descripción del funcionamiento de un controlador difuso para regular la velocidad de un motor de corriente continua (CC), que se usa en naves espaciales, maquinaria de defensa, robótica, entre otros. Fue desarrollado por Guillermo Tejada, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

En quinto lugar, los autores Alvaro Sotelo y Lourdes Ramírez, ambos de la Universidad de Lima, proponen el diseño de modelos de planificación de vuelo con el fin de optimizar el tiempo y la velocidad de vuelo. Su objetivo principal es desarrollar un modelo que permita emplear múltiples drones para llevar a cabo tareas de supervisión en zonas de construcción.

En sexto lugar, Edwin Calderón y Edgar Huamaní, ambos pertenecientes a la Escuela de Posgrado de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, analizan en su investigación la cultura organizacional, actual y deseada, en una institución de educación superior tecnológica en el Perú, según las percepciones de sus docentes. Su importancia radica en que ofrecen a los responsables de gestión educativa en la institución un conocimiento más detallado sobre las principales características de la cultura organizacional, entre otros.

En séptimo lugar, Leticia León y Lorena Vivanco, de la Universidad de Lima, desarrollan un modelo para la mejora del servicio de atención al cliente mediante la teoría de colas aplicada a un caso de estudio de una agencia bancaria en Lima Metropolitana. Obtuvieron resultados positivos, tales como reducción de tiempo en cola en un 52,61 %, según la simulación con el *software* Arena.

En octavo lugar, los autores de la Universidad Autónoma del Estado de México, Omar Ayala e Irene Aguilar, hacen una revisión acerca del uso del *software* educativo y de los agentes conversacionales en la enseñanza de la programación. Su objetivo es identificar la potencialidad de este tipo de programas que apoyarán a los docentes en la formación de los programadores y en el acompañamiento de los alumnos en la autogestión del aprendizaje.

En noveno lugar, el artículo de divulgación desarrollado por Luis Muñoz y Milagros Leonardo, de la Universidad Nacional Federico Villarreal y la Universidad Tecnológica del Perú respectivamente, utiliza el modelo de negocio Canvas para establecer una fábrica de *software* académica en la Universidad Nacional Federico Villarreal. Se emplearon cinco de los nueve bloques que componen el modelo: propuesta de valor, segmento de clientes, relaciones con clientes, actividades clave y recursos clave, debido a las limitaciones financieras de la propia universidad.

Nos enorgullece destacar la calidad de los trabajos seleccionados, que reflejan el compromiso de la revista *Interfases* con la excelencia académica y la difusión de conocimiento de vanguardia en las áreas mencionadas. Esperamos que los lectores encuentren en esta edición un recurso valioso para el avance científico y tecnológico en sus respectivos campos de estudio. Nuestra meta es brindarles información relevante y actualizada que estimule el debate e impulse nuevas investigaciones en estas áreas de conocimiento.

Por último, deseamos expresar nuestro profundo reconocimiento a todos los investigadores que confiaron en nuestra revista y sometieron sus manuscritos para su revisión en esta edición de *Interfases*. Valoramos enormemente su esfuerzo y dedicación al desarrollo científico, y nos sentimos honrados de tener la oportunidad de difundir su trabajo en esta plataforma. También queremos agradecer a nuestro dedicado equipo editorial y a nuestros revisores, cuyo constante compromiso con la mejora continua de la revista garantiza la calidad del material publicado.

Dra. Nadia Katherine Rodríguez Rodríguez
Directora de la revista *Interfases*

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

CÓMO PROMUEVEN LOS ESTADOS LA CIBERSEGURIDAD DE LAS PYMES

OLDA BUSTILLOS ORTEGA

obustillos@uia.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0003-2822-3428>

Escuela de Ingeniería Informática de la Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica

JAVIER ROJAS SEGURA

jrojass@uia.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0002-0488-4056>

Escuela de Ingeniería Informática de la Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica

RESUMEN

La tecnología ha producido cambios en la sociedad que han forjado la evolución de nuestra especie. Actualmente, la digitalización ha dado lugar al uso exponencial de tecnologías de la información y la comunicación, lo que ha generado un aumento en el riesgo de ciberataques que amenazan la cadena de suministros global. Los más afectados son las pequeñas y medianas empresas y su ecosistema, por la escasez de recursos para proteger la integridad, confidencialidad y disponibilidad de sus activos de información. Aumentar la concientización general en ciberseguridad eleva la inmunidad global a los ciberataques, por lo que el objetivo de este trabajo es investigar cómo los gobiernos de diversos países apoyan a la ciberseguridad de las pequeñas y medianas empresas, resaltando las mejores prácticas internacionales e identificando áreas de mejora en el desarrollo de capacidades para gobiernos, formuladores de políticas, expertos en seguridad cibernética y académicos. La ciberseguridad debe abordarse con un enfoque interdisciplinario y holístico, con aplicación multilateral, ya que las pequeñas y medianas empresas necesitan el apoyo del gobierno en la gestión del riesgo cibernético, en cooperación con la academia para construir una cultura de ciberseguridad.

PALABRAS CLAVE: ciberseguridad, pymes, gobierno, academia

HOW STATES PROMOTE CYBERSECURITY FOR SMEs

ABSTRACT

Digitalization has increased the exponential use of information and communication technologies, consequently increasing the risk of cyberattacks, which threaten the global supply chain. Small and medium-sized companies and their ecosystems are the most affected by the lack of resources to protect their information assets' integrity, confidentiality, and availability. Increasing awareness of cybersecurity helps reinforce global immunity to cyberattacks. This article investigates how some countries' governments support the cybersecurity of small and medium-sized companies, highlights the best international practices, and identifies areas for improvement in capacity building for governments, policymakers, cyber security experts, and academics. Cybersecurity must be addressed with an interdisciplinary and holistic approach, with a multilateral application, since small and medium-sized companies need government and academic support to manage cyber risk and build a culture of cybersecurity.

KEYWORDS: cybersecurity, SMEs, government, academia

1. INTRODUCCIÓN

El riesgo de ciberseguridad ha atraído una atención considerable en las últimas décadas (Xu & Hua, 2019). Según el Foro Económico Mundial (WEF, 2019), el fraude de datos y los ataques cibernéticos se encuentran entre las amenazas más graves del planeta, junto al cambio climático y las tensiones geopolíticas. Durante la pandemia del COVID-19, la expansión del teletrabajo y las ventas en línea, sin la adecuada protección ante los virus informáticos o *malware*, colocaron sobre la mesa la vulnerabilidad existente (Ballesteros, 2020). Desde el inicio de la crisis sanitaria, los ciberataques han aumentado (Díaz, 2021); en la actualidad, los ataques de *phishing*, ingeniería social y *ransomware* están evolucionando y cada día son más especializados, por lo que su impacto mayormente negativo abarca más usuarios en cualquier tipo de empresa (Ramírez & González, 2020). No obstante, las pequeñas y medianas empresas (pymes) son el objetivo de la gran mayoría de ataques cibernéticos (Ponsard et al., 2019).

En los primeros ocho meses del año 2021, en la región de América Latina hubo 728 millones de intentos de infección, lo cual representa un promedio de 35 ataques cibernéticos por segundo y un aumento de 24 % en relación con el mismo período del año anterior (Deutsche Welle, 2021). Díaz (2022) estima que, de los ataques que resultan efectivos y causan daños mayores, el 40 % recae en las pymes, y el daño es de tal magnitud que en muchos casos no se recuperan. Concurren diversos factores que amenazan la seguridad de información de las pymes y, por lo general, el presupuesto destinado a proteger y resguardar la información de las redes de internet externas no es el adecuado (Inoguchi & Macha, 2017). La inversión en ciberseguridad pasa a un segundo plano por no ser parte de la misión de las empresas; la necesidad solo se hace presente al momento de ser víctimas de ataques cibernéticos, lo que genera respuestas reactivas y no proactivas (Florez Martínez & Rentería Mosquera, 2020). La ciberseguridad es percibida por las pymes como excesivamente compleja y onerosa, por lo que se requieren soluciones económicas, efectivas y accesibles (Bustillos Ortega & Rojas Segura, 2022).

La Agencia de la Unión Europea para la Ciberseguridad (ENISA, 2021) señala que las pymes son la columna vertebral de la economía, representan el 99 % de todas las empresas de la Unión Europea (UE) y emplean a unos 100 millones de personas. También producen más de la mitad del producto interno bruto (PIB) de Europa y desempeñan un papel clave en la creación de valor en todos los sectores de la economía. Por ello, la falta de capacidad de respuesta ante un ataque cibernético por parte de la gerencia de las pymes es un problema (Orellana, 2020) no solo para ellas mismas, sino también para toda la cadena de suministros.

Tal como revela el Gobierno de Japón (2021), las pymes se enfrentan a una carencia particularmente grave de talento en ciberseguridad, por lo que los gobiernos deben ser responsables de proporcionar conocimientos y redes que sean útiles para aplicar

prácticas a través de iniciativas de ayuda mutua, mediante la construcción de un ecosistema y la promoción de la colaboración entre la industria y las instituciones educativas. La seguridad debe abordarse holísticamente, no solo desde el punto de vista de la tecnología en sí, sino de todo el conjunto que hace posible su funcionamiento (Díaz, 2022).

El objetivo de este artículo es investigar cómo los gobiernos de diversos países apoyan a las pymes para asegurar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de sus activos de información. Esto nos lleva a preguntarnos si para promover la ciberseguridad de las pymes es necesaria la cooperación entre la academia y el gobierno.

Este estudio es una herramienta útil para resaltar las mejores prácticas internacionales e identificar áreas de mejora en el desarrollo de capacidades para gobiernos, formuladores de políticas, expertos en seguridad cibernética y académicos, en cuanto al fortalecimiento de la ciberseguridad de las pymes.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La seguridad de la información se ha convertido en una tendencia global debido a la significativa y relevante importancia que tiene la información para toda empresa y al incremento de amenazas en los últimos tiempos (Morales et al., 2020). La seguridad cibernética contribuye al bienestar digital de la sociedad, de las organizaciones y de los países, pues impide que cualquiera acceda a datos privados tanto personales como organizacionales (Peralta Zuñiga & Aguilar Valarezo, 2021). Por lo anterior, es clave la cooperación internacional en la lucha global contra el flagelo de los delitos cibernéticos, dado el carácter transfronterizo que este puede llegar a tener (Estévez, 2020).

2.1 Convenio de Budapest

El Convenio sobre la Ciberdelincuencia, o Convenio de Budapest, como se le conoce, fue creado en el 2001 por el Consejo de Europa (COE, por sus siglas en inglés), con la participación activa de los gobiernos involucrados, para combatir los delitos informáticos (Díaz, 2022). Es un tratado internacional pionero, instituido con el fin de resguardar a la sociedad frente a los delitos informáticos y los delitos en internet.

Este tratado incluye la creación de la legislación adecuada, el perfeccionamiento de técnicas de investigación y el incremento de la cooperación internacional para la protección de la información. Este convenio es referente, en principio, de la UE, pero se ha extendido a varios países para la emanación de legislación moderna y efectiva en la protección contra el delito cibernético (Díaz, 2021). Se convirtió en el único instrumento internacional vinculante, siendo el referente para que los Estados desarrollen leyes nacionales contra el crimen cibernético, pues estableció que aquellos que no son miembros del COE y que no hubiesen sido parte de la elaboración del tratado pudiesen

incorporarse por invitación. Actualmente, son más de sesenta países a nivel mundial los que se han incorporado al tratado (Estévez, 2020). En Latinoamérica, además de Costa Rica, que fue el país 56 en adherirse a este convenio (Paris, 2017), también forman parte Panamá, República Dominicana, Colombia, Perú, Chile, Argentina y Paraguay. Esto magnifica a una perspectiva global el horizonte de colaboración, dada la aceptación de la normativa de la UE y la observación implícita de otras normas mundiales a partir de la interrelación de la UE con otras regiones del planeta (Díaz, 2022).

2.2 Programa Mundial sobre Ciberdelincuencia

Este programa de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) fomenta la creación de capacidad sostenible a largo plazo en la lucha contra el ciberdelito, para lo cual apoya a los sistemas de justicia penal de los Estados miembros y brinda asistencia técnica en la generación de capacidades para la prevención. Además, promueve la concientización, así como la cooperación internacional y la recopilación de datos, la investigación y el estudio de los delitos cibernéticos. En el 2015, lanzó el repositorio de delitos cibernéticos, una base de datos central de legislación, jurisprudencia y lecciones aprendidas sobre delitos cibernéticos y pruebas electrónicas. El repositorio de delitos informáticos tiene como objetivo ayudar a los países en sus esfuerzos por prevenir y enjuiciar eficazmente a los delincuentes cibernéticos (Díaz, 2022).

2.3 Programa de Seguridad Cibernética

Este programa es impulsado por el Comité Interamericano contra el Terrorismo de la Organización de Estados Americanos (OEA). Su función es proveer iniciativas de investigación, fortalecimiento de la capacidad técnica y desarrollo de políticas de seguridad cibernética en el continente americano. Esta acción se enfocó en tres pilares: desarrollo de políticas, desarrollo de capacidades (incluyendo capacitación y ejercicios cibernéticos), así como investigación y divulgación. Beneficia a todos los Estados miembros de la OEA.

2.4 Otros organismos internacionales

En el año 2008, la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) creó el Centro de Excelencia de Ciberdefensa Cooperativa (CCDCOE, por sus siglas en inglés), un centro de investigación y capacitación que se encarga de la educación, la consulta, las lecciones aprendidas, la investigación y el desarrollo de la defensa del ciberespacio (Díaz, 2022). Además, según su página web (<https://ccdcoe.org/>), combina el conocimiento de la industria y la academia de los países miembros y aliados para realizar investigación científica y tecnológica en nuevas tecnologías, como 5G. Organiza la Conferencia Internacional sobre Conflictos Cibernéticos, llamada CyCon 2023, buscando desarrollar investigación

científica sobre el conflicto cibernético y las tecnologías asociadas en general, así como su papel en tiempos de paz, en la crisis y el conflicto.

Otro ente regional importante es la Agencia de la Unión Europea para la Ciberseguridad (ENISA), un ente especializado en el conocimiento para la seguridad del ciberespacio europeo (Díaz, 2022). Esta agencia, en respuesta a la pandemia del COVID-19, analizó la capacidad de las pymes dentro de la UE para hacer frente a los desafíos de ciberseguridad planteados por la crisis sanitaria y determinar las buenas prácticas para abordar esos desafíos. En este informe, ENISA (2021) proporciona consejos sobre ciberseguridad, pero también propuestas de acciones que los Estados miembros deberían considerar para ayudar a las pymes a mejorar su postura en materia de ciberseguridad.

2.5 Ciberseguridad de las pymes

En una investigación realizada por el WEF (2022) entre líderes cibernéticos de 20 países, el 88 % de los encuestados indicaron estar preocupados por la resiliencia cibernética de las pymes en su ecosistema, considerándolas como una amenaza clave para la cadena de suministros global. En línea con esta preocupación, el Gobierno de Japón (2021), en su estrategia de ciberseguridad, planteó una cooperación en un consorcio liderado por la industria, establecido con el objetivo de mejorar la ciberseguridad de la cadena de suministros completa, incluidas las pymes.

Garnacho (2018) en su investigación halló evidencia de que las pymes españolas ven la seguridad cibernética como un gasto antes que una inversión. Un sinnúmero de pymes cree que invertir en ciberseguridad es un gasto innecesario (Zuñá Macancela et al., 2019). Estas empresas no hacen un adecuado balance del costo-beneficio, lo que incrementa la confianza de los ciberdelincuentes para efectuar sus ataques (Peralta Zuñiga & Aguilar Valarezo, 2021).

El intercambio de información sobre ciberdelincuencia es fundamental para que las pymes entiendan mejor los riesgos a los que se enfrentan (ENISA, 2021). Un incidente de seguridad cibernética puede tener impactos devastadores en una pequeña empresa (Gobierno Australiano & Centro Australiano de Seguridad Cibernética, 2021). Para el Gobierno de Japón (2021), las pymes afrontan un déficit particularmente grave de talento humano en seguridad, por lo que el gobierno y la academia deben proporcionar conocimientos y redes que sean útiles para aplicar prácticas a través de iniciativas de ayuda mutua.

La columna vertebral de la economía de la UE son las pymes, pues representan el 99 % del parque empresarial y emplean a unos 100 millones de colaboradores; además, aportan más de la mitad del PIB de la UE y cumplen un papel clave en la creación de valor en todos los sectores de la economía europea (ENISA, 2021).

3. METODOLOGÍA

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, 2022) sostiene que los países deben abordar sus fortalezas y debilidades en ciberseguridad, aprovechando sus ventajas competitivas para promover su capacidad cibernética. El Índice de Ciberseguridad Global (GCI) puede apoyar a los países en iniciar este proceso. Sin embargo, para progresar, los países deben considerar mejorar la capacidad de ciberseguridad de las pymes y fomentar la participación regular de todas las partes interesadas relevantes en ciberseguridad, incluida la academia, el sector privado y la sociedad civil. Por eso, mediante un enfoque cualitativo con alcance exploratorio, se propone investigar cómo los gobiernos de diversos países apoyan a las pymes para asegurar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de sus activos de información, de acuerdo con las siguientes etapas:

3.1 Investigación

En esta etapa, se procedió a investigar y recopilar las propuestas y planes concretos de apoyo de diversos gobiernos a la seguridad cibernética de las pymes, consultando bases de datos como Google Académico, ProQuest Digital Dissertation & Theses, IEEE Xplore. Se examinaron diversos trabajos de investigación, tesis, así como buenas prácticas y tendencias en ciberseguridad (WEF, 2022).

Por otro lado, se analizaron acuerdos y convenios de cooperación internacional en la lucha global contra la ciberdelincuencia, para comprender los esfuerzos regionales y en el concierto de las naciones sobre el apoyo en la ciberseguridad de las pymes.

3.2 Adaptación de la información recopilada

Luego de identificar los datos de interés para la investigación, se procedió en los casos requeridos a su traducción, extracción de contenido de documentos y artículos, así como a la adaptación de la redacción al propósito del artículo.

3.3 Revisión por expertos

Los datos recopilados y adaptados fueron sometidos al criterio de expertos para seleccionar la información relevante para el objetivo de estudio.

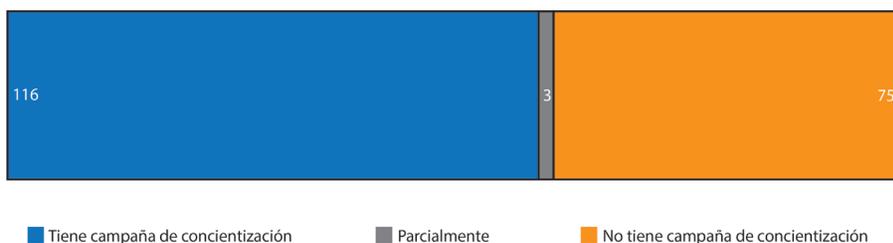
4. ACCIONES PARA PROMOVER LA CIBERSEGURIDAD DE LAS PYMES

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) es la agencia especializada de la Organización de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). Está formada por una amplia gama de expertos y colaboradores dentro de los países y otras organizaciones internacionales. Una de sus iniciativas es el GCI, uno de cuyos puntos clave es "Medir el desarrollo de capacidades: desarrollando capacidades

en ciberseguridad”, el cual contiene el subíndice denominado “Incrementando atención en las pymes, el sector privado y la conciencia cibernética del gobierno”, donde se muestra que el 60 % de los países (como se muestra en la Figura 1) tienen una campaña de concientización sobre seguridad dirigida a las pymes, el sector privado y/o a las agencias gubernamentales.

Figura 1

Número de países con campañas de concientización sobre ciberseguridad dirigidas a pymes, sector privado y agencias gubernamentales

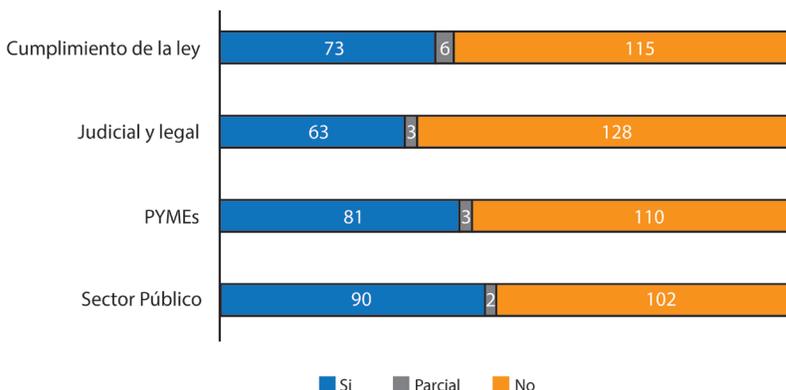


Nota. Adaptado de *Global Cybersecurity Index 2020* (p. 16), por Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2022 (<https://www.itu.int/epublications/publication/D-STR-GCI.01-2021-HTM-E>).

Al segregar este indicador por áreas, tal como se muestra en la Figura 2, la cantidad de países que tienen programas de formación específicos sobre ciberseguridad disminuye a 42 %.

Figura 2

Número de países con programas de formación específicos en ciberseguridad



Nota. Adaptado de *Global Cybersecurity Index 2020* (p. 17), por Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2022 (<https://www.itu.int/epublications/publication/D-STR-GCI.01-2021-HTM-E>).

A continuación, se describen las acciones concretas que han tomado cinco países de diferentes regiones para promover la ciberseguridad de las pymes.

4.1 Japón

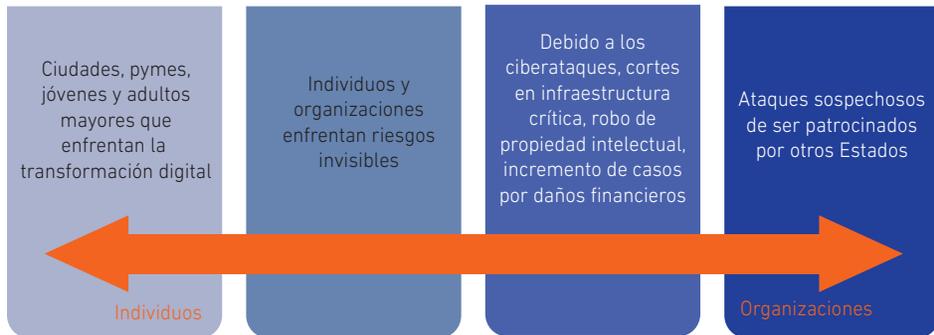
Dado que los ataques cibernéticos recientes se han vuelto cada vez más complejos y sofisticados, el Gobierno de Japón (2021) entiende que se deben tomar medidas de seguridad considerando la cadena de suministros completa, donde las pymes pueden no tener los medios adecuados y, por lo tanto, pueden ser objeto de ataques cibernéticos.

Según el Centro para la Cooperación Industrial UE-Japón (2022), este es uno de los países líderes en la aplicación comercial de las TIC desde principios de la década de 1980, pero hoy en día es considerado uno de los países más débiles entre las 15 potencias mundiales en lo que respecta a la ciberseguridad. Japón tiene algunas fortalezas potenciales en algunas categorías, pero debilidades significativas en otras. En la última década, ha realizado esfuerzos y ahora tiene un enfoque desarrollado para la gobernanza del ciberespacio. La década del 2020 fue importante para Japón, ya que el mundo entró en una era de nueva normalidad y sociedad digital. En este contexto, las empresas se vieron obligadas a responder a la pandemia con la innovación de los modelos de negocio, los cambios de patrones de empleo y estilos de trabajo, que desarrollan una estrategia país, donde el Gobierno de Japón (2021) promueve la transformación digital con ciberseguridad. Para ello, ha construido comunidades locales basadas en el concepto de ayuda mutua entre el gobierno, la empresa y la academia, no solo a través de asesorías con expertos, o ha integrado recursos humanos a las empresas, o ha fomentado las competencias y desarrollado soluciones de seguridad regional; igualmente, brinda subsidios a las pymes para contrarrestar su falta de recursos. Con esto busca fortalecer la ciberseguridad de toda la cadena de suministros, hasta sus eslabones más débiles.

La idea del Gobierno de Japón (2021), con su estrategia “Ciberseguridad para todos”, es que nadie se quede atrás (véase la Figura 3). Todas las partes interesadas deben ser conscientes de forma independiente de su propio papel y participar en la ciberseguridad, ya que, a medida que avanza la transformación digital, una gama más amplia de personas, empresas e instituciones participa del ciberespacio. La sociedad y la economía de Japón deben lograr la transformación digital acompañada de varios cambios innovadores para lograr la visión de crear una sociedad donde las personas puedan elegir los servicios que se adapten a sus necesidades y, mediante el uso de la tecnología digital, puedan realizarse diversas formas de felicidad.

Figura 3

Propuesta de "Ciberseguridad para todos"



Nota. Adaptado de *Cybersecurity for All* (p. 12), por Gobierno de Japón, 2021 (<https://www.nisc.go.jp/pdf/policy/kihon-s/cs-senryaku2021-en-booklet.pdf>).

4.2 Australia

El Gobierno Australiano y el Centro Australiano de Seguridad Cibernética (2020) son muy conscientes de la escala creciente y el impacto de la actividad cibernética maliciosa. Sus datos indican que el 62 % de las pymes han experimentado un incidente de ciberseguridad. Además, casi la mitad de ellas calificaron su comprensión de la seguridad cibernética como promedio o por debajo del promedio y tenían prácticas de seguridad cibernética deficientes. Para los más de dos millones de pymes australianas, las acciones de estos actores maliciosos pueden ser dañinas y algunas empresas podrían no recuperarse de ese golpe. En la Figura 4, se muestran las barreras que experimentan las pymes australianas para implementar buenas prácticas de ciberseguridad.

Figura 4

Barreras para implementar buenas prácticas en ciberseguridad



Nota. Adaptado de *Cyber Security and Australian Small Businesses*, por Gobierno Australiano y Centro Australiano de Seguridad Cibernética, 2020 (<https://www.cyber.gov.au/sites/default/files/2021-05/Cyber%20Security%20and%20Australian%20Small%20Businesses%20Survey%20Results%20-%2020201130.pdf>).

Por esta razón, el Gobierno Australiano y el Centro Australiano de Seguridad Cibernética (2020) crearon una guía escrita en lenguaje claro, con acciones simples, diseñada específicamente para que las pequeñas empresas entiendan, tomen medidas y aumenten su resiliencia en seguridad cibernética contra las amenazas en constante evolución. Esta guía explica cuáles son las principales ciberamenazas (*malware*, *phishing* y *ransomware*), así como las consideraciones del *software* necesarias (actualizaciones automáticas, copias de seguridad y autenticaciones multifactor); incluye también un capítulo dedicado a las personas y los procedimientos (controles de acceso, claves y capacitación). Paralelamente, elaboraron guías relativas a *software* y tecnologías específicas, que detallan el paso a paso para las pymes con la intención de profundizar en la ciberseguridad; y también guías con acciones de corto plazo (*quick wins*) que se pueden implementar de manera rápida, sencilla y económica, en temas de actualizaciones, dispositivos portátiles y sitios web. En síntesis, buscan enseñar a las pymes a protegerse ellas mismas de los incidentes de ciberseguridad más comunes, ya que un ataque puede tener un impacto devastador para este tipo de empresas.

4.3 Bélgica y la Unión Europea

El Centro de Ciberseguridad de Bélgica, en colaboración con la Coalición de Seguridad Cibernética para las Pymes, creó en el 2016 una guía de ciberseguridad para pymes, basada en aportes y mejores prácticas de entidades públicas y privadas. Desarrollaron una lista de 12 temas básicos y avanzados sobre ciberseguridad, que iban desde involucrar a la dirección hasta tener un plan de continuidad del negocio en caso de un incidente. Las recomendaciones básicas ayudaban a las pymes a evitar las trampas más comunes y proteger la información más valiosa, mientras que las prácticas y consejos más avanzados apoyaban con técnicas de mayor protección (Bruycker & Darville, 2017).

Por su parte, la ENISA, que fue creada en el 2004 con el objetivo de alcanzar un elevado nivel común de ciberseguridad en toda Europa a través del intercambio de conocimientos, el desarrollo de capacidades y la sensibilización, analizó la capacidad de las pymes en la UE para hacer frente a los desafíos de ciberseguridad planteados por la pandemia del COVID-19 y determinar las buenas prácticas para abordar esos desafíos (ENISA, 2021). Este informe proporciona consejos sobre ciberseguridad, pero también propuestas de acciones que los Estados miembros deberían considerar para ayudar a las pymes a mejorar su postura en esta materia. Esta investigación se complementó con una encuesta de dos meses de duración, en la que 249 pymes europeas compartieron sus comentarios sobre su estado de seguridad digital y preparación para crisis como la pandemia del COVID-19, así como con entrevistas específicas a participantes seleccionados. De esta manera, se identificó que los mayores desafíos para las pymes son la poca conciencia de las amenazas que plantea para su negocio una ciberseguridad deficiente, los costos de implementar medidas de ciberseguridad —a menudo combinados con la falta de presupuesto dedicado—, la poca disponibilidad de especialistas en ciberseguridad de las TIC, la inexistencia de pautas adecuadas dirigidas al sector de las pymes, y el bajo apoyo gerencial. Finalmente, la ENISA (2021) creó una guía que proporciona a este sector 12 pasos prácticos de alto nivel sobre cómo proteger mejor los sistemas y sus negocios, tales como proteger la red mediante *firewall*, proteger las copias de seguridad, impartir formación adecuada y desarrollar una buena cultura de ciberseguridad.

4.4 Estados Unidos de América

Estados Unidos cuenta con la Agencia de Ciberseguridad y Seguridad de Infraestructura (CISA, por sus siglas en inglés), creada en el 2018; y con la Alianza Nacional de Ciberseguridad (NCSA), que es una organización sin fines de lucro que tiene la misión de crear un mundo más seguro e interconectado. Para ello, interactúa con las familias, organizaciones intermedias y hasta con las empresas de la lista Fortune 500, con el objetivo de hacer que la ciberseguridad sea más fácil y accesible, para disfrutar de los beneficios de la tecnología sin preocupaciones, como indica en su página web (<https://staysafeonline.org>).

Cyber Essentials Starter Kit (CISA, 2021) es una guía para que los líderes de las pymes, así como los líderes de las agencias gubernamentales pequeñas y locales, desarrollen una comprensión práctica de dónde comenzar a implementar las prácticas de ciberseguridad. Se dirige al líder o la dirección, los usuarios o colaboradores, los sistemas (activos y aplicaciones), el lugar de trabajo, los datos y la forma de responder ante una crisis.

Por su parte, la NCSA (2022) creó el programa *Cyber Secure My Business*, que ayuda a las pymes a aprender a ser más seguras y protegidas en línea, mediante una serie de talleres altamente interactivos y fáciles de entender para educar a la comunidad pyme en identificar y proteger sus activos informáticos, detectar cuando algo ha salido mal, responder rápidamente para minimizar el impacto e implementar un plan de acción, así como conocer los recursos que se necesitan para recuperarse después de un ataque.

3.5 Costa Rica

En junio del 2017, se creó la Estrategia Nacional de Ciberseguridad de Costa Rica, liderada por el Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT). Uno de sus objetivos era desarrollar o implementar campañas de concientización y de formación en ciberseguridad que fomenten la responsabilidad de la protección digital como un deber de todos los usuarios de las tecnologías digitales, desarrollando foros de intercambio de información y conversatorios sobre temas de ciberseguridad, específicamente para las pymes.

Luego de los ciberataques perpetrados por un grupo criminal en abril y junio del 2022 a más de 25 instituciones públicas, se presentó un nuevo proyecto de ley en la Asamblea Legislativa (2022) denominado Ley de Ciberseguridad, que procura dotar a Costa Rica del andamiaje regulatorio indispensable para que el país se prepare adecuadamente a futuro con herramientas e infraestructura. Es un ambicioso proyecto país en su alcance, pues refleja las mejores prácticas existentes a nivel internacional en esta materia. Propone crear una Agencia Nacional de Ciberseguridad como dependencia adscrita al MICITT (Paris, 2022).

Estos son los pasos iniciales que Costa Rica está dando en el tema de ciberseguridad. Los planes de gobierno apuntan hacia una integración de esfuerzos particularmente en el sector público para establecer escenarios propicios para el desarrollo de estas normativas.

5. DISCUSIÓN

Según los resultados del GCI, muchos países promulgaron nuevas leyes y reglamentos de seguridad cibernética para abordar áreas como la privacidad, el acceso no autorizado y la seguridad en línea (Bogdan-Martin, 2022). Este es el caso de Costa Rica y su nuevo proyecto de ley como producto de su visionaria vinculación al Convenio de Budapest. Dicho proyecto es indispensable para el país, es robusto y técnicamente sustentado; en caso de aprobarse,

sería pionero en nuestra región. En particular, el país podría acceder a la Industria 4.0 con las herramientas necesarias, comprometido con la seguridad y los derechos de la población en el ciberespacio. Esta legislación se enmarca en el contexto histórico vivido; si en el futuro Costa Rica vuelve a ser presa de un ciberataque a esta escala, será por negligencia de quienes no hayan asimilado las recientes lecciones (Asamblea Legislativa, 2022).

Más allá de trabajar juntos dentro de cada país, es posible que sea necesaria la cooperación entre gobiernos para que los menos capacitados puedan abordar los desafíos de ciberseguridad, por ejemplo, los países menos desarrollados (ITU, 2022). Tal como lo propone el Gobierno de Japón (2021) en su proyecto de ciberseguridad para todos, sin dejar a nadie rezagado, se debe contar con colaboración basada en la plena participación de la industria, la academia, los sectores públicos y privados, participando y promoviendo actividades de sensibilización fluidas y efectivas. El capital humano es el elemento primordial para la transformación cultural que requiere el paso hacia la ciberinmunidad; es por ello que la inclusión de contenidos cognitivos apropiados en los ámbitos educativos en todos los niveles puede ser una de las vías que los Estados podrían considerar (Díaz, 2021).

En especial en Latinoamérica, tenemos una propensión a minimizar la exposición al riesgo, aún más al riesgo tecnológico. La causa podría ser la falta de conocimiento de las actividades delictivas que las tecnologías actuales facilitan (Díaz, 2022). Tal como recomiendan Vergara-Romero et al. (2021) para desarrollar las habilidades necesarias, la gestión formativa, especialmente de la academia, debe utilizar la gama completa de formas de aprendizaje disponible. Desde proyectos especializados de extensión para pymes hasta promover a nivel universitario la oferta educativa especializada en ciberdefensa, así como revisar los contenidos curriculares actuales relacionados con las TIC, podrían ser una buena estrategia desde la gestión pública de cada país para contribuir a la sinergia regional (Díaz, 2021).

6. CONCLUSIONES

Un aprendizaje trascendental producto de la pandemia del COVID-19 es que los problemas de acción colectiva, como la salud o la ciberseguridad, deben abordarse con un enfoque interdisciplinario y holístico. Por eso, desde una perspectiva multilateral, los países que llevan la delantera deben apoyar a los menos desarrollados, ya que los ataques cibernéticos no respetan fronteras.

Las pymes desempeñan un papel importante como actores en la economía digital y las cadenas de suministro global. En este período de cambio hacia el comercio electrónico y la transformación digital de la sociedad como un todo, las pymes requieren soporte de los gobiernos en la gestión del riesgo cibernético. Debido a ello, es esencial la cooperación entre la academia y los gobiernos para posicionarlas en la ruta evolutiva desde una fase de concientización del riesgo hasta la construcción de una cultura

de ciberseguridad, asegurando la integridad, confidencialidad y disponibilidad de sus activos de información para la continuidad del negocio.

REFERENCIAS

- Agencia de Ciberseguridad y Seguridad de Infraestructura. (2021). *Cyber Essentials Starter Kit*. https://www.cisa.gov/sites/default/files/publications/Cyber%20Essentials%20Starter%20Kit_03.12.2021_508_0.pdf
- Agencia de la Unión Europea para la Ciberseguridad. (2021). *Cybersecurity for SMEs. Challenges and recommendations*. <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-report-cybersecurity-for-smes>
- Alianza Nacional de Ciberseguridad. (2022). *Cyber Secure My Business*. <https://staysafeonline.org/programs/cybersecure-my-business/>
- Asamblea Legislativa. (2022). Proyecto de Ley, Ley de Ciberseguridad de Costa Rica [Expediente N.º 23.292]. Diario oficial *La Gaceta*, 172(Alcance 189). http://www.asamblea.go.cr/Centro_de_informacion/Consultas_SIL/SitePages/ConsultaProyectos.aspx
- Ballesteros, F. (2020). La ciberseguridad en tiempos difíciles. ¿Nos ocupamos de ella o nos preocupamos por ella? *Boletín Económico de ICE, Información Comercial Española*, 3122, 39-48.
- Bogdan-Martin, D. (2022). Foreword. En Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Global Cybersecurity Index 2020* (pp. iv-v). <https://www.itu.int/epublications/publication/D-STR-GCI.01-2021-HTML-E>
- Bruycker, M., & Darville, C. (2017). *Cyber Security Guide for SME*. Centre for Cyber Security Belgium. <https://ccb.belgium.be/en/document/guide-sme>
- Bustillos Ortega, O., & Rojas Segura, J. (2022). Protocolo básico de ciberseguridad para pymes. *Interfases*, 16, 168-186. <https://doi.org/10.26439/interfases2022.n016.6021>
- Centro para la Cooperación Industrial UE-Japón. (2022, febrero). *Cybersecurity*. <https://www.eubusinessinjapan.eu/sectors/security/cybersecurity>
- Deutsche Welle. (2021, 31 de agosto). *Ciberataques aumentaron 24 % en América latina este año*. <https://www.dw.com/es/ciberataques-aumentaron-24-en-am%C3%A9rica-latina-este-a%C3%B1o/a-59046424>
- Díaz, R. M. (2021). *Estado de la ciberseguridad en la logística de América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, serie Desarrollo Productivo n.º 228. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/47240>

- Díaz, R. M. (2022). *Ciberseguridad en cadenas de suministros inteligentes en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, serie Documentos de Proyectos. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/48065>
- Estévez, J. C. (2020, 6 de enero). En qué consiste el convenio de Budapest y cómo regula la ciberdelincuencia. *Think Big*. <https://empresas.blogthinkbig.com/convenio-budapest-ciberdelincuencia/>
- Florez Martinez, J. L., & Rentería Mosquera, J. M. (2020). *Conocer el valor de la información (activo económico) para valorar la necesidad de la ciberseguridad* [Tesis de grado, Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria]. Repositorio Digital. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/1395>
- Foro Económico Mundial. (2019). *Informe de riesgos mundiales 2019* (14.ª ed.). <https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2019/January/ES-Global-Risks-Report-2019.pdf>
- Foro Económico Mundial. (2022). *Global Cybersecurity Outlook 2022*. <https://www.weforum.org/reports/global-cybersecurity-outlook-2022/>
- Garnacho, A. R. (2018). Panorama actual de la ciberseguridad. *Economía Industrial*, 410, 13-26.
- Gobierno Australiano & Centro Australiano de Seguridad Cibernética. (2020). *Cyber security and Australian small businesses*. <https://www.cyber.gov.au/sites/default/files/2021-05/Cyber%20Security%20and%20Australian%20Small%20Businesses%20Survey%20Results%20-%2020201130.pdf>
- Gobierno Australiano & Centro Australiano de Seguridad Cibernética. (2021). *Small Business Cyber Security Guide*. <https://www.cyber.gov.au/resources-business-and-government/essential-cyber-security/small-business-cyber-security/small-business-cyber-security-guide>
- Gobierno de Japón. (2021). *Cybersecurity for all*. <https://www.nisc.go.jp/pdf/policy/kihon-s/cs-senryaku2021-en-booklet.pdf>
- Inoguchi, A., & Macha, E. L. (2017). *Gestión de la ciberseguridad y prevención de los ataques cibernéticos en las PYMES del Perú, 2016* [Tesis de grado, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio Institucional. Universidad San Ignacio de Loyola. <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/usil/2810>
- Morales, F., Toapanta, S., & Toasa, R. M. (2020). Implementación de un sistema de seguridad perimetral como estrategia de seguridad de la información. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, E27, 553-565. https://www.researchgate.net/publication/339956501_Implementacion_de_un_sistema_de_seguridad_perimetral_como_estrategia_de_seguridad_de_la_informacion

- Orellana, F. D. (2020). *Cybersecurity incident response capabilities in the Ecuadorian small business sector: A qualitative study* [Tesis doctoral, Northcentral University]. ProQuest Dissertations Publishing. <http://www.proquest.com/pqdtglobal/docview/2466034020/abstract/6BDCDD913D1D469EPQ/1>
- Paris, M. (2017, 14 de julio). Convenio de Budapest sobre ciberdelincuencia ya es ley en Costa Rica. *Bonafide*. <https://bonafide.cr/convenio-de-budapest/>
- Paris, M. (2022, 25 de agosto). Ley de Ciberseguridad. *La República*. <https://www.larepublica.net/noticia/ley-de-ciberseguridad>
- Peralta Zuñiga, M. L., & Aguilar Valarezo, D. N. (2021). La ciberseguridad y su concepción en las PYMES de Cuenca, Ecuador. *Contabilidad y Auditoría*, 53, 99-126. <https://ojs.econ.uba.ar//index.php/Contyaudit/article/view/2061>
- Ponsard, C., Grandclaudon, J., & Bal, S. (2019). Survey and lessons learned on raising SME awareness about cybersecurity. En *Proceedings of the 5th International Conference on Information Systems Security and Privacy (ICISSP)* (pp. 558-563). <https://doi.org/10.5220/0007574305580563>
- Ramírez, C., & González, J. C. (2020). *Guía de controles y buenas prácticas de ciberseguridad para MiPymes* [Tesis de grado, Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria]. Repositorio Digital. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/1394>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2022). *Global Cybersecurity Index 2020*. <https://www.itu.int/epublications/publication/D-STR-GCI.01-2021-HTML-E>
- Vergara-Romero, A., Sánchez, F. M., Sorhegui-Ortega, R., & Olalla-Hernández, A. (2021). Capital humano: actor central para la sostenibilidad organizacional. *Revista Venezolana de Gerencia*, 26(93), 297-307.
- Xu, M., & Hua, L. (2019). Cybersecurity insurance: Modeling and pricing. *North American Actuarial Journal*, 23(2), 220-249. <https://doi.org/10.1080/10920277.2019.1566076>
- Zuñá Macancela, E. R., Arce Ramírez, Á. A., Romero Berrones, W. J., & Soledispa Baque, C. J. (2019). Análisis de la seguridad de la información en las PYMES de la ciudad de Milagro. *Universidad y Sociedad*, 11(4), 487-492. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2218-36202019000400487&lng=es&nrm=iso&lng=en

COMPETENCIAS DE COMPORTAMIENTO, DETERMINANDO LA EXISTENCIA DE UNA BRECHA ENTRE LA ACADEMIA Y EL MERCADO LABORAL DE TI

CINDY ORTIZ ACUÑA
cortiz@tec.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0003-4279-5502>
Escuela de Administración de Empresas
Tecnológico de Costa Rica

JENNIER SOLANO CORDERO
jensolano@tec.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0002-0983-6512>
Escuela de Ingeniería en Computación
Tecnológico de Costa Rica

EUGENIA FERRETO GUTIÉRREZ
eferreto@tec.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0001-8587-4425>
Escuela de Administración de Empresas
Tecnológico de Costa Rica

JAVIER ROJAS SEGURA
javierrojassegura@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0488-4056>
Centro de Investigación en Administración, Economía y Gestión Tecnológica
Tecnológico de Costa Rica

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo identificar las competencias de comportamiento relevantes para los profesionales de las tecnologías de la información (TI) y determinar si existe una brecha entre las competencias desarrolladas por la academia y las requeridas por el mercado laboral en Costa Rica. Para ello, se llevó a cabo un análisis que involucró a cuatro grupos de interés: la literatura, las bolsas de empleo, los perfiles de egreso de las carreras de TI en universidades públicas, así como a los directores y coordinadores académicos de dichas universidades. Durante este análisis, se identificaron 45 competencias de comportamiento,

de las cuales solo tres coincidieron en su categorización como de alto o moderado grado de importancia. Cabe destacar que no se encontró un conjunto homogéneo de competencias para todos los grupos investigados.

PALABRAS CLAVE: competencias de comportamiento, habilidades blandas, brecha, academia, TI

BEHAVIORAL COMPETENCIES, DETERMINING THE EXISTENCE OF A GAP BETWEEN ACADEMIA AND THE IT JOB MARKET

ABSTRACT

In order to identify the relevant behavioral competencies for IT professionals and determine if there is a gap between the competencies developed by academia and those required by the job market in Costa Rica, this article analyses four stakeholder groups: literature, job boards, the graduation profiles of IT programs in public universities, and the directors and academic coordinators of these universities. The analysis identified 45 behavioral competencies, of which only three coincided in their categorization as having a high or moderate degree of importance. Notably, the analysis found no homogeneous competencies for all the investigated groups.

KEYWORDS: behavioral competencies, soft skills, soft skills gap

1. INTRODUCCIÓN

Los anuncios de empleo para profesionales en tecnologías de la información y la comunicación (TIC) generalmente separan los requisitos de competencias en dos categorías: habilidades duras y habilidades blandas. Las habilidades duras son los requisitos técnicos y conocimientos que una persona necesita para llevar a cabo una labor (Ahmed et al., 2012). Las habilidades blandas son aptitudes intangibles y no técnicas que se relacionan con la personalidad y definen las fortalezas de una persona en roles de liderazgo, facilitación, mediación y negociación, entre otros (Robles, 2012). Balcar (2016) demuestra que, en entornos laborales, las habilidades blandas son tan productivas como las habilidades duras.

Actualmente, hay una mayor demanda de habilidades blandas a medida que la economía experimenta una transición de un modelo productivo basado en la manufactura a otro impulsado por los servicios; como resultado, se espera que los trabajadores adquieran habilidades blandas sólidas. Además, debido a la globalización, es más probable que los trabajadores se comuniquen e interactúen con colegas, clientes y socios comerciales de diversas culturas y orígenes. Por lo tanto, los colaboradores con buenos atributos personales, actitudes, comportamiento y otras habilidades blandas se convierten en un activo valioso para sus organizaciones (Majid et al., 2019).

Diferentes autores utilizan varios términos para describir las habilidades blandas, pero no ofrecen una definición realmente clara (Pinkowska et al., 2011). Con el tiempo, el término *habilidad* se ha desarrollado considerablemente hasta llegar a un punto en que su significado se ha vuelto impreciso (Touloumakos, 2020). Por su parte, Nahod y Radujković (2013) acuñaron la definición de *competencia* como una mezcla específica de conocimientos, destrezas y atributos personales. Ritter et al. (2018) comentan que, en la jerga del mercado laboral, las competencias de comportamiento también se definen como habilidades blandas. Para esta investigación, los autores han decidido utilizar el término *competencias de comportamiento* (CC).

Con el fin de apoyar a las organizaciones en su mejora continua, las instituciones educativas desempeñan un papel fundamental en la identificación y desarrollo de competencias de inteligencia social y emocional (CC) que serán fundamentales en los empleos futuros y necesarias para permitir que las personas aprendan y se adapten durante los periodos de cambio (Bonesso et al., 2020). Es deseable que las instituciones académicas inculquen habilidades sociales apropiadas en sus graduados a través de diferentes enfoques de aprendizaje (Majid et al., 2019). Sin embargo, la literatura existente afirma que los graduados presentan deficiencias considerables en automotivación y habilidades de pensamiento de orden superior, como resolución de problemas y pensamiento crítico (Dubey & Tiwari, 2020). Desde hace tiempo, M. Sharma (2009) ha señalado que la gran mayoría de los reclutadores están de acuerdo en que existen brechas entre los requisitos de la industria

y los profesionales formados por las universidades. Esta misma brecha de habilidades entre las expectativas de los empleadores y el nivel de habilidades que poseen los recién graduados es confirmada una década después por Majid et al. (2019). Muchos autores consideran que la academia es la principal causa de esta insuficiencia, ya que los académicos califican las habilidades blandas por debajo de lo que hacen los profesionales de tecnología de la información (TI) (Dubey & Tiwari, 2020). Por lo tanto, la academia debe responder a estas necesidades de las partes interesadas al revisar el plan de estudios a la luz de cómo los programas de grado están preparando a los estudiantes para las demandas del mercado laboral (Ritter et al., 2018). Sin embargo, Dubey et al. (2021) destacan la importancia de la colaboración entre las instituciones educativas y la industria de TI para abordar esta brecha, argumentando que, aunque la gestión del talento se aborda en la industria, la academia desempeña un papel importante para hacer que este proceso sea más fácil y efectivo al desarrollar las competencias deseadas en los estudiantes.

El objetivo principal de este estudio se presenta en tres componentes para el desarrollo de su alcance. Primero, identificar las competencias de comportamiento relevantes para los nuevos profesionales de TI. Segundo, investigar si existe una brecha entre las competencias de comportamiento desarrolladas en los planes de estudio académico y las requeridas por el mercado laboral de TI en Costa Rica. Tercero, conocer la opinión de los académicos sobre si se están satisfaciendo las necesidades del mercado laboral de TI y cuáles son sus razones. Esto da lugar a las siguientes preguntas de investigación: ¿cuáles son las competencias de comportamiento relevantes para los nuevos profesionales de TI?, ¿existe una brecha entre las competencias de comportamiento desarrolladas en los planes de estudio académico y las requeridas por el mercado laboral de TI en Costa Rica?, ¿las universidades públicas están satisfaciendo las necesidades de competencias de comportamiento requeridas por el mercado laboral de TI y cuáles son las razones citadas por los académicos?

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La competencia se define como la habilidad de un individuo para emplear eficientemente y conectar el conocimiento adquirido y la experiencia en situaciones complejas, variadas e impredecibles (Perrenoud, 1997). Por su parte, Gruden y Stare (2018) profundizaron más al entenderla como la capacidad de utilizar conocimientos y/o habilidades, así como características personales, en el trabajo.

Dubey y Tiwari (2020) indican que varios estudios han identificado las diversas competencias requeridas para los profesionales de las TIC y las han clasificado como habilidades técnicas y no técnicas. Las habilidades técnicas consisten en las competencias relacionadas con los aspectos técnicos del trabajo y son relativas al coeficiente intelectual de una persona. Por su parte, las habilidades no técnicas son necesarias

para sobrevivir y crecer, son menos precisas y generalmente se refieren a habilidades blandas o CC. Estas son afectadas por el coeficiente emocional e influyen en cómo un individuo gestiona su comportamiento. Las habilidades no técnicas (CC) adoptan gran significancia al lado de las habilidades técnicas (Yen et al., 2001). Incluso varios autores han dado prioridad a las competencias no técnicas requeridas para los profesionales de las TIC (Dubey & Tiwari, 2020).

Según Ritter et al. (2018), en la jerga del mercado laboral, los conceptos de CC y competencias de inteligencia emocional son también conocidos como habilidades blandas (*soft skills*, en inglés). Diversos individuos entienden disímiles conceptos cuando se habla de habilidades blandas (Touloumakos, 2020). La misma confusión conceptual se encuentra también en la literatura académica. No hay acuerdo general en cuanto a la terminología que debe emplearse para referirse a las habilidades no técnicas. Distintos autores utilizan diversos términos, incluso de manera intercambiable dentro del mismo texto. Algunos de ellos son habilidades blandas, habilidades suaves, habilidades de empleabilidad, habilidades genéricas, habilidades transversales o habilidades transferibles (Pizarro-Aguilar, 2021). Para Wacker (2004), estas dificultades conceptuales causan medidas poco claras, superposición de definiciones y pérdida de objetividad. La forma en que conceptualizamos las habilidades blandas influye en su desarrollo e inclusión en el currículo educativo (Touloumakos, 2020).

La manifestación conductual de la inteligencia emocional tiene un papel crucial en la formación de las personas en las carreras universitarias contemporáneas, tal como se muestra en la evidencia aportada en estudios empíricos (Bonesso et al., 2020). Sin embargo, para Touloumakos (2020), el hecho de que la investigación se centre en identificar los requisitos y necesidades en el ámbito laboral es problemático, ya que asigna características a las habilidades blandas, que a su vez afectan el diseño curricular.

Pizarro-Aguilar (2021) señala que la responsabilidad del desarrollo del perfil académico adecuado en los graduados para satisfacer la demanda del mercado laboral recae en las universidades. Pero, según Dubey y Tiwari (2020), la academia considera que las habilidades técnicas son más importantes que las habilidades no técnicas (CC) y es reticente a extender estas habilidades a los estudiantes, lo que crea una brecha. Esta brecha de habilidades encarna un reto para las instituciones educativas, que tienen la responsabilidad de apoyar formalmente el desarrollo de competencias emocionales y sociales, junto con el desarrollo de habilidades profesionales/técnicas (Bonesso et al., 2020). Hay una notable brecha de habilidades blandas entre la preparación de los estudiantes y los requerimientos de la industria. Es necesario resolver este problema para incrementar la empleabilidad de los egresados universitarios (Dubey & Tiwari, 2020); es decir, la capacidad de obtener un empleo inicial, mantener ese empleo y conseguir un nuevo empleo cuando sea necesario (Lee et al., 2002).

Existe también la brecha de reclutamiento (Todd et al., 1995), donde las habilidades mencionadas como deseables por los empleadores en los anuncios de trabajo son bastante diferentes de las habilidades requeridas durante el proceso de selección (Dubey & Tiwari, 2020). Esta brecha de contratación engaña tanto a los académicos como a los graduados sobre las habilidades deseadas (Todd et al., 1995). Determinar qué habilidades blandas se deben desarrollar será siempre más sencillo si se tienen en cuenta las necesidades tanto de la industria como de la comunidad (Pizarro-Aguilar, 2021). Por otro lado, las instituciones educativas culpan a la industria de no dar información precisa sobre las habilidades requeridas (Dubey & Tiwari, 2020). Para llegar a alcanzar una óptima calidad en la formación de especialistas, se hace imperativo orquestar un diálogo entre academia e industria (Gruzdev et al., 2018).

3. METODOLOGÍA

Esta investigación posee un enfoque de naturaleza cualitativa, con un alcance exploratorio-descriptivo, con el cual se buscó medir la importancia de las CC mediante la frecuencia de mención en los siguientes cuatro grupos de interés: (1) literatura, (2) bolsas de empleo, (3) perfiles de salida de carreras de TI de universidades públicas, y (4) directores y coordinadores académicos de las carreras de TI de universidades públicas.

3.1 Literatura

En primer lugar, se llevó a cabo una revisión de literatura mediante el uso de las siguientes palabras clave en inglés y operadores booleanos: *behavioral competences* OR *soft skill* AND *IT* OR *ICT* (acrónimo en inglés sinónimo de TIC en español). Luego de leer el *abstract* de los estudios para comprobar que fueran referentes al tema de interés, se revisó el cuerpo de cada artículo para identificar el uso de tablas o imágenes que integraran una lista de competencias. En esta labor se logró identificar 12 estudios con 14 listas de CC. Las competencias fueron agrupadas con sus homólogas y, posteriormente, se contabilizó la frecuencia de mención de cada una de ellas.

3.2 Bolsas de empleo

Los anuncios de empleo se pueden ubicar en diversas fuentes, tales como plataformas digitales especializadas, medios impresos, revistas y periódicos digitales. Actualmente, los medios electrónicos son la mejor solución para atraer a una amplia variedad de personas que buscan empleo, a diferencia de los periódicos, que cuentan con un alcance geográfico limitado (Chaibate et al., 2020). Para esta investigación, se analizaron estas plataformas digitales para la búsqueda de empleo: LinkedIn (<https://www.linkedin.com/jobs/empleos-en-costa-rica/>), Computrabajo (<https://www.computrabajo.co.cr/>), El Empleo CR (<http://www.eempleo.com/cr>), Empleos.Net (<https://empleos.net>) y

Busco Empleo (<https://www.buscoempleocr.com/empleos/>), entre los meses de julio y octubre del 2020. Estas empresas o servicios privados, también conocidas como bolsas de empleo, son las más conocidas en Costa Rica (Le Lous, 2019). De cada oportunidad de trabajo se recuperaron los siguientes datos: puesto requerido, CC, competencias técnicas y bolsa de empleo. Posteriormente, las CC fueron agrupadas con sus homólogas, contabilizando la frecuencia de mención de cada una de ellas. Se recolectaron 200 oportunidades de trabajo en el campo de TI, publicadas en dichas bolsas de empleo.

3.3 Perfil de salida

Se analizaron las páginas web del Tecnológico de Costa Rica (TEC), la Universidad de Costa Rica (UCR), la Universidad Nacional (UNA) y la Universidad Nacional Estatal a Distancia (UNED), donde se ubicaron las carreras que imparte cada una de ellas en el área de TI, en los grados académicos de bachillerato y licenciatura. Luego se extrajo su programa de estudios y se examinó el perfil de salida para identificar las CC nombradas; a estas se las agrupó con sus homólogas, contabilizando la frecuencia de mención de cada una de ellas.

3.4 Coordinadores y directores académicos

Mediante el muestreo por conveniencia, se seleccionaron 14 coordinadores y directores académicos, que tenían a su cargo carreras en el área de TI, en los grados bachillerato y licenciatura, en las universidades públicas: TEC, UNA, UCR y UNED. A ellos se les realizó una entrevista semiestructurada de 17 preguntas, con una duración aproximada de 45 minutos, que fue grabada y transcrita.

La entrevista tenía los siguientes propósitos. Primero, obtener las CC que ellos consideran que la universidad está desarrollando en los profesionales de TI, las cuales se agruparon con sus homólogas, contabilizando la frecuencia de mención de cada una de ellas. Segundo, determinar desde la perspectiva de los académicos si existe una brecha entre las CC desarrolladas en los planes de estudio académicos y las requeridas por el mercado laboral de TI en Costa Rica. Tercero, conocer las razones o motivos por los cuales se están o no satisfaciendo las necesidades del mercado laboral de TI.

3.5 Todos los grupos de interés

Para identificar las CC relevantes para los nuevos profesionales de TI, se tomaron los listados previamente obtenidos de cada uno de los cuatro grupos de interés, se agrupó a los homólogos y se obtuvo un listado unificado de las CC, con el propósito de investigar si existe una brecha entre las competencias de comportamiento desarrolladas en los planes de estudio académico y las requeridas por el mercado laboral de TI en Costa Rica. Siguiendo a Ahmed et al. (2012), se utilizó una escala de tres puntos: alto (se refiere a una frecuencia de mención mayor que 66 %), moderado (entre 33 % y 66 %) y bajo grado

de importancia (menor que 33 %). Una vez elaborada la escala, se procedió a sumar las menciones de cada competencia, y el total obtenido en cada una de ellas se dividió entre la sumatoria global de competencias correspondientes al grupo de interés analizado; así se logró tener un número expresado en porcentaje y, posteriormente, se lo ubicó en la tabla según el porcentaje alcanzado. Por ejemplo, en las 14 entrevistas realizadas a los académicos, cuatro de ellos respondieron que el pensamiento crítico es una de las CC en la que están formando a los profesionales de TI, por lo que en este grupo el pensamiento crítico es de bajo grado de importancia ($4/14 = 28,6\%$). Después, se hizo una comparación de los resultados de la escala para el mismo ítem en cada uno de los cuatro grupos de interés. Con esta metodología de agrupamiento de competencias por grado de importancia (alto, moderado y bajo) en cuanto a la mención de las competencias, se logró hacer un contraste entre lo requerido por el mercado y lo ofrecido por los centros de estudios superiores, comparándolo a la vez con la literatura.

Finalmente, la tercera línea del objetivo de esta investigación solamente involucra a los directores y coordinadores académicos de las universidades públicas. Con ellos se intenta responder a la pregunta de investigación: ¿están las universidades públicas satisfaciendo las necesidades de competencias de comportamiento requeridas por el mercado laboral de TI y cuáles son las razones de los académicos? Para ello, se transcribieron las 14 entrevistas y se codificaron (A1-A14), de ahí se tomaron citas textuales en las que expresan sus razones. Posteriormente, se agruparon sus opiniones por afinidad temática en las categorías: malla curricular, burocracia, profesores, estudiantes, necesidades de los empleadores y entorno académico.

4. RESULTADOS

Esta investigación posee un enfoque de naturaleza cualitativa, con un alcance exploratorio-descriptivo, a partir del cual se buscó alcanzar el propósito de esta investigación. Primero, identificar las competencias de comportamiento relevantes para los nuevos profesionales de TI. Segundo, investigar si existe una brecha entre las competencias de comportamiento desarrolladas en los planes de estudio académico y las requeridas por el mercado laboral de TI en Costa Rica. Tercero, conocer la opinión de los académicos sobre si se están satisfaciendo las necesidades del mercado laboral de TI y sus razones.

4.1 Literatura

De la revisión de literatura se recuperaron 14 listados de CC (véase la Tabla 1). La literatura muestra las CC que los profesionales deberían poseer, de acuerdo con diferentes puntos de vista, por ejemplo, el de los entes acreditadores, quienes acreditan los contenidos de los programas de educación en ingeniería alrededor del mundo (Chaibate & Bakkali, 2017). Asimismo, las CC que los estudiantes universitarios recientemente

graduados perciben que deben poseer para mejorar su empleabilidad (Majid et al., 2019). Con la metodología descrita, se extrajo una lista de CC para ser analizada con los resultados de los otros grupos de interés.

La CC que tuvo más menciones fue la comunicación, lo que coincide con el estudio de Chaibate et al. (2020), que señala que la comunicación fue la competencia más demandada por los empleadores (84 %), ya que permite a los ingenieros lidiar con el entorno de la compañía, incluyendo los colaboradores, proveedores y clientes. Otras de las CC más mencionadas, con un grado de importancia alto, fueron trabajo en equipo, análisis y resolución de problemas. Los mejores cimientos para construir una carrera profesional son las competencias, especialmente las blandas, lo cual incluye la competencia para comunicarse y colaborar eficazmente con otros, resolver problemas y pensar desde afuera de la caja, tomando en cuenta otras aristas de la inteligencia emocional (Foro Económico Mundial [WEF], 2018).

Tabla 1

Fuentes de donde se obtuvieron las competencias de comportamiento

Fuente	Sujeto investigado	País o región	Competencias de conocimiento
Verma y Bedi (2008)	Empleadores	N/A	Comunicación, gestión del tiempo
M. Sharma (2009)	Empleadores	Estados Unidos	Comunicación, trabajo en equipo
Pinkowska et al. (2011)	Empleadores	WWW	Comunicación, trabajo en equipo
Aasheim et al. (2012)	Empleadores	Estados Unidos	Honestidad, actitud positiva
Ahmed et al. (2012)	Bolsas de empleo	WWW	Comunicación, habilidades interpersonales
Robles (2012)	Empleadores	Estados Unidos	Integridad, comunicación
Hazzan y Har-Shai (2013)	Graduados recientes	Israel	Trabajo en equipo, creatividad
Chaibate y Bakkali (2017)	Entes de acreditación	Estados Unidos, Unión Europea, Corea y Australia	Organización, solución de problemas
Chaibate y Bakkali (2017)	Planes de estudio	Marruecos	Comunicación, eficiencia
WEF (2018)	Empleadores	WWW	Solución de problemas, pensamiento crítico
Majid et al. (2019)	Empleadores	Singapur	Actitud positiva, trabajo en equipo
Majid et al. (2019)	Graduados recientes	Singapur	Actitud positiva, comunicación
Chaibate et al. (2020)	Bolsas de empleo	Marruecos	Comunicación, organización
Dubey y Tiwari (2020)	Empleadores y estudiantes	WWW	Comunicación, solución de problemas

4.2 Bolsas de empleo

Tal como en el estudio de Aasheim et al. (2012), que muestra que los empleadores desean contratar empleados con habilidades técnicas, así como con habilidades no técnicas, el 98,5 % de las propuestas de trabajo analizadas en este estudio solicitan algún requisito técnico, mientras que el 76,5 % de ellas solicitan como requisito tener alguna CC. En promedio, se mencionan cuatro CC por cada anuncio de empleo. Con mayor cantidad de menciones, aunque con un nivel de importancia moderado, se tuvo: capacidad de análisis y solucionar problemas, así como habilidades de trabajo en equipo. Ninguna CC tuvo un grado de importancia alto en sus menciones.

4.3 Perfil de salida

Luego de analizar nueve de los programas de estudio en las carreras universitarias en el área de TI, que imparten el TEC, UCR, UNA y UNED, se extrajo una lista de 20 CC que se mencionan ahí. Entre las más mencionadas, con alto grado de importancia, se encontró: habilidades de comunicación verbal y escrita, colaboración en equipo, innovación-creatividad. Esto concuerda con los hallazgos de Aasheim et al. (2012), quienes indican que es muy importante en los programas de TI enseñar a los alumnos sobre el profesionalismo, cómo comunicarse y cómo trabajar en equipo. Con un grado moderado de importancia, entre las más citadas, se tiene: liderazgo, análisis y resolución de problemas, así como ética, entre otras.

4.4 Coordinadores y directores académicos

Las CC son más complejas y difíciles de desarrollar que las competencias profesionales o habilidades duras (Bonesso et al., 2020). Aun así, la totalidad de la muestra de 14 coordinadores y directores académicos en carreras en el área de TI en los grados de bachillerato y licenciatura en el TEC, UCR, UNA y UNED considera que las CC son muy importantes para la incorporación y desarrollo de los profesionales en las organizaciones. Concuerdan de esta manera con Majid et al. (2019), quienes indican que estas habilidades siempre han tenido una relevancia fundamental en la búsqueda de empleo, así como en el desarrollo de una carrera exitosa, próspera y gratificante. A los entrevistados se les preguntó por las CC que se están impulsando y fortaleciendo en los estudiantes actualmente, y ellos mencionaron en su mayoría, con un alto grado de importancia, a la colaboración en equipo, la comunicación (tanto verbal como escrita), el liderazgo, así como el análisis y resolución de problemas. Estas competencias abarcan una amplia gama de atributos y muchos de ellos son vitales para los profesionales de las TIC (Dubey & Tiwari, 2020).

En los grupos de interés —literatura, perfiles de salida y académicos—, hay de tres a cuatro CC con un grado alto de importancia (véase la Tabla 2); los tres segmentos

coinciden en las competencias: trabajo en equipo y comunicación oral y escrita. El segmento de bolsa de empleo coincidió con las dos anteriores CC, pero en un grado de importancia moderado. Los cuatro grupos de interés, en un grado de importancia de alto a moderado, coinciden en la CC de análisis y resolución de problemas. Mencionado por los cuatro grupos, con distinto grado de importancia para cada uno de ellos, tenemos liderazgo, emprendedurismo, ética, innovación-creatividad, autoaprendizaje y pensamiento crítico. En las demás CC no hay concordancia plena.

Tabla 2

Listado de competencias de comportamiento por grado de importancia

	Competencias de comportamiento	Literatura	Bolsa de empleo	Perfil de salida	Académicos
1	Trabajo en equipo	Alto	Moderado	Alto	Alto
2	Comunicación oral y escrita	Alto	Moderado	Alto	Alto
3	Liderazgo	Moderado	Bajo	Moderado	Alto
4	Análisis y resolución de problemas	Alto	Moderado	Moderado	Alto
5	Emprendedurismo	Bajo	Bajo	Bajo	Moderado
6	Ética	Moderado	Bajo	Moderado	Moderado
7	Innovación-creatividad	Moderado	Bajo	Alto	Moderado
8	Autoaprendizaje	Moderado	Bajo	Moderado	Moderado
9	Habilidades de investigación	X	Bajo	Moderado	Moderado
10	Pensamiento crítico	Bajo	Bajo	Moderado	Bajo
11	Trabajo bajo presión	X	X	Moderado	Bajo
12	Adaptabilidad-flexibilidad	Alto	Bajo	X	Bajo
13	Habilidades interpersonales	Moderado	Bajo	Bajo	X
14	Manejo del tiempo	Moderado	Bajo	X	X
15	Automotivación	Moderado	Bajo	X	X
16	Organización	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
17	Proactividad-iniciativa	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
18	Autogestión	Moderado	Bajo	Bajo	Bajo
19	Mediación	X	X	X	Bajo
20	Profesionalismo	Bajo	Bajo	X	Bajo
21	Trabajo bajo presión	X	Bajo	X	X
22	Atención a los detalles	Bajo	Bajo	X	Bajo
23	Responsabilidad	X	Bajo	Bajo	Bajo
24	Sensibilidad social	X	X	Bajo	X
25	Perseverancia	X	X	Bajo	X
26	Pasión	Bajo	Bajo	X	X

(continúa)

(continuación)

	Competencias de comportamiento	Literatura	Bolsa de empleo	Perfil de salida	Académicos
27	Servicio al cliente	Bajo	Bajo	X	X
28	Enfoque en los resultados-priorización	Bajo	Bajo	X	X
29	Mentoría	Bajo	Bajo	X	X
30	Confiabilidad	X	Bajo	X	X
31	Aprendizaje rápido	X	Bajo	X	X
32	Toma de decisiones	Bajo	Bajo	X	X
33	Inteligencia emocional-actitud positiva	Bajo	Bajo	Bajo	X
34	Pensamiento estratégico	X	Bajo	X	X
35	Manejo de conflictos	Bajo	Bajo	X	X
36	Manejo de equipos	Bajo	X	X	X
37	Aprendizaje rápido	Bajo	X	X	X
38	Integridad	Bajo	X	X	X
39	Manejo de recursos	Bajo	X	X	X
40	Habilidades de presentación	Bajo	X	X	X
41	Confiabilidad	Bajo	X	X	X
42	Cortesía	Bajo	X	X	X
43	Metódico	Bajo	X	X	X
44	Eficiencia	Bajo	X	X	X
45	Honestidad	Bajo	X	X	X

De las entrevistas semiestructuradas realizadas a los 14 académicos, se obtuvieron los siguientes datos. El 85,7 % considera que las competencias técnicas y las CC son igualmente importantes en la incorporación y desarrollo de los profesionales en las organizaciones. Esto coincide con la opinión de los estudiantes en la investigación de Majid et al. (2019), donde el 86,4 % siente que las habilidades técnicas y las habilidades blandas fueron igualmente importantes para la búsqueda de trabajo.

Dubey y Tiwari (2020) sostienen que una asociación sólida entre la academia y la industria es la clave para cerrar la brecha de habilidades blandas. En nuestro estudio, el 85,7 % de los académicos encuestados consideran que sí tienen conocimientos sobre las necesidades de CC requeridas por las empresas, ya que hay vínculos entre la academia y los empleadores por medio de encuestas aplicadas a egresados en los procesos de acreditación, así como a través de las prácticas profesionales y trabajos finales de graduación.

Entre los resultados obtenidos, el 92,8 % de los encuestados consideran que hay una brecha entre las CC que se desarrollan en los planes de estudio y las solicitadas por los empleadores. Esto concuerda con Majid et al. (2019), quienes confirmaron la existencia de una brecha de habilidades entre las expectativas de los empleadores y el nivel que poseen los recién graduados.

Para la segunda parte del objetivo de esta investigación, que es determinar las razones por las cuales se está o no satisfaciendo las necesidades del mercado laboral de TI, se definieron seis categorías para agrupar por afinidad temática las posibles razones por las que los académicos consideran que puede existir una brecha de competencias (véase la Tabla 3).

Tabla 3

Categorización de las razones de la brecha de competencias

Responsable	Cita textual tomada de los académicos
Docentes	"A los docentes se les olvida que están en un ámbito académico, entonces, nos vamos a un ámbito meramente profesional." (A1)
	"No hay un verdadero plan de capacitación a nivel del país, los docentes no están capacitados todavía en competencias." (A3)
	"Los docentes tampoco tienen un plan de desarrollo que los incentive a prepararse en esas habilidades." (A4)
	"Los docentes no son especialistas en estas competencias de comportamiento, por lo cual el ciclo sigue con nuestros estudiantes." (A4)
	"No necesariamente el profesor también tiene buenas competencias de comportamiento." (A7)
Entorno académico	"Definitivamente lo que más ha afectado es el medio virtual, debido a que no está esa interacción [de] persona a persona." (A6)
	"El distanciamiento por las telecomunicaciones." (A5)
	"El estudiante tiene la posibilidad de no tener un 100, puede llegar a 80, pero cuando se está en el mercado laboral sabe que tiene que dar el 100." (A12)
	"Por más que un docente trate de planificar algo cercano a la realidad, siempre el componente real no va a estar presente del todo." (A13)
Burocracia	"El poder plasmar un curso que sea optativo o el cambiar un curso es todavía muy complicado y, cuando uno termina de plantearlo, está obsoleto (mejor dicho)." (A1)
	"El modificar un plan de estudios en la Universidad de Costa Rica no es muy sencillo, se requiere de varios años." (A4)
	"El gobierno es muy complejo, muchos evitan meterse en trámites engorrosos, generar fricción entre compañeros." (A13)

(continúa)

(continuación)

Responsable	Cita textual tomada de los académicos
Malla curricular	<p>"Los bloques están saturados, no hay crédito más que se pueda agregar." (A4)</p> <p>"La evolución del mercado laboral es más rápido que el de la malla curricular." (A5)</p> <p>"La malla curricular tiene más peso hacia la propia disciplina y menos a algunos cursos donde se puede potenciar este tipo de habilidades." (A2)</p>
Empleadores	<p>"Nunca se va a estar al 100 %, depende mucho del perfil que la empresa esté buscando." (A1)</p> <p>"Si es una empresa nacional o transnacional, tiene distintas inclinaciones a las competencias de comportamiento que requieren." (A7)</p> <p>"Sabemos las competencias de comportamiento necesarias en la industria; sin embargo, desconocemos el nivel de desarrollo que cada una requiere; un estudiante puede tener esas 10 competencias, pero su nivel de desarrollo no concuerda con la industria." (A8)</p>
Estudiantes	<p>"Desde el lado del estudiante, si algo no vale puntos, el estudiante no lo considera importante." (A9)</p> <p>"Resistencia al cambio, ya saben que el curso es de esta y esta forma." (A10)</p>

5. DISCUSIÓN

Al identificar las CC relevantes para los nuevos profesionales de TI, el grupo de interés de donde se obtuvo la mayor cantidad de CC fue de la literatura. Esa gran variedad de CC se explica por los diversos sujetos de investigación y países o regiones donde se aplicaron las investigaciones.

Una oportunidad de trabajo es una declaración de expectativas, la cual describe lo que una compañía espera de sus candidatos, así como lo que los candidatos deben esperar de su contratante (Montandon et al., 2021). Para este estudio, se analizaron 200 oportunidades de trabajo en el área de TI. En sus declaraciones de expectativas, el 76,5 % de los empleadores incluyeron algunas de las 31 CC, esperando que los solicitantes de empleo posean habilidades blandas muy sólidas (V. Sharma, 2018). El detalle de las CC mencionadas es amplio y desconcentrado, ya que el 60,5 % tiene un grado de importancia bajo; es decir, los requerimientos de CC son muy variados entre una oportunidad de trabajo y otra. Para resolver la gran cantidad de problemas relacionados con el desarrollo de *software*, los nuevos profesionales requieren de una adecuada variedad de habilidades blandas y duras (Ahmed et al., 2012).

Desde otra perspectiva, las CC ofrecidas por las universidades, obtenidas de las entrevistas a académicos de TI, así como de los programas de estudios, muestran que ambas fuentes coinciden en mencionar 15 CC y difieren en 8. Entre las 15 coincidencias de mención, el 53,3 % de ellas tienen un grado de importancia de moderado a alto.

El adquirir un conjunto adecuado de competencias emocionales, sociales y cognitivas durante la experiencia educativa o en las etapas preliminares de la trayectoria profesional puede mejorar en gran medida las posibilidades de éxito de las personas durante el proceso de reclutamiento y selección (Bonesso et al., 2020) y, consecuentemente, en la aplicación de estas competencias en la ejecución del trabajo. Ante la falta de ciertas habilidades en el perfil de egreso, algunas empresas se inclinan por capacitar a sus empleados con el fin de brindarles las competencias necesarias para su negocio (Pizarro-Aguilar, 2021).

Al comparar las 45 CC extraídas de los cuatro grupos de interés (véase la Tabla 2), se encuentra concordancia plena solamente en tres de ellas, es decir, en el 6,6 %. Los estudiantes son formados en trabajo en equipo, comunicación oral y escrita, así como en análisis y resolución de problemas, siendo estas las mismas CC requeridas por el mercado, lo que concuerda también con la literatura. Sin embargo, hubo otras competencias tales como liderazgo e innovación-creatividad con un grado de importancia de alto a moderado por las universidades, mientras que para los empleadores es bajo. Incluso hay un 26,6 % de competencias requeridas por los empleadores que las universidades nunca mencionaron, tales como trabajo bajo presión. La alta discrepancia indica que la comprensión sobre la importancia de las diferentes habilidades no es consistente entre los profesionales que requiere el mercado laboral y los académicos de TI (Dubey & Tiwari, 2020). Esto confirma que sí existe una brecha de CC entre las universidades y el mercado laboral de TI en Costa Rica. Bonesso et al. (2020) señalan que las diferentes investigaciones que se desarrollan continúan revelando, por un lado, un desajuste entre las expectativas de las empresas y el perfil de CC de los candidatos y, por otro lado, un desajuste entre los tipos de competencias aprendidas por los estudiantes que asisten a programas de educación superior y las requeridas por el mercado laboral. Por lo tanto, para mejorar la trayectoria de crecimiento del sector de las TIC, es muy importante abordar esta brecha de habilidades (Dubey & Tiwari, 2020).

Las instituciones académicas cumplen un papel importante en la preparación de una fuerza laboral competente, que sea capaz de aceptar responsabilidades diversas y desafiantes en un mercado laboral muy competitivo (Majid et al., 2019). Esta brecha se debe, en parte, a la malla curricular y a las malas conexiones entre los empleadores y el sistema educativo (Anastasiu et al., 2017). Ahondando en este aspecto, Pizarro-Aguilar (2021) reconoce que las universidades tienen la responsabilidad de atender y satisfacer la demanda y las necesidades, no solo a nivel nacional, sino también a nivel internacional. Esto concuerda con los puntos de vista expresados por los académicos en este estudio, quienes reconocen que las universidades públicas no satisfacen las necesidades de CC requeridas por el mercado laboral de TI. La mayoría de ellos atribuyen las razones de esta brecha a factores estructurales de las universidades públicas, especialmente a la burocracia y la parsimonia para hacer cambios en la malla curricular.

Los académicos entrevistados también expresan la corresponsabilidad de las empresas contratantes en esta brecha. Tal como lo expresan Majid et al. (2019), la mejor solución posible para proporcionar las habilidades blandas necesarias a los estudiantes que se gradúan sería una responsabilidad compartida. Las instituciones académicas y los empleadores pueden identificar y discutir el conjunto deseado de habilidades blandas, y luego decidir quién debe ser responsable de enseñar y desarrollar aún más estas habilidades. Es probable que un enfoque de responsabilidad compartida sea más efectivo y exitoso. Una limitación de esta investigación fue centrarse en las universidades públicas, por lo que sería interesante incluir en estudios futuros a universidades privadas.

6. CONCLUSIONES

En conclusión, parece haber una incongruencia entre las CC desarrolladas por la academia y las requeridas por el mercado laboral. Esta investigación cualitativa aporta nuevo conocimiento para que los profesionales y los académicos puedan construir una mayor vinculación y mejor comunicación, que permita incrementar considerablemente el nivel de coincidencias en las CC que deben desarrollar en los futuros profesionales de TI, disminuyendo así la brecha de competencias en el área de las TIC. Estas competencias están asumiendo una relevancia creciente para la fuerza laboral del futuro (Bonesso et al., 2020), por lo que se recomiendan futuras investigaciones en otros campos profesionales siguiendo esta metodología. También sería conveniente elaborar, mediante un estudio empírico, un diccionario con las definiciones de las 45 CC identificadas en este estudio.

REFERENCIAS

- Aasheim, C., Shropshire, J., Li, L., & Kadlec, C. (2012). Knowledge and skill requirements for entry-level IT workers: A longitudinal study. *Journal of Information Systems Education, 23*(2), 193-204.
- Ahmed, F., Capretz, L. F., & Campbell, P. (2012). Evaluating the demand for soft skills in software development. *IT Professional, 14*(1), 44-49.
- Anastasiu, L., Anastasiu, A., Dumitran, M., Crizboi, C., Holmaghi, A., & Roman, M. N. (2017). How to align the university curricula with the market demands by developing employability skills in the Civil Engineering sector. *Education Sciences, 7*(3), 74. <https://doi.org/10.3390/educsci7030074>
- Balcar, J. (2016). Is it better to invest in hard or soft skills? *The Economic and Labour Relations Review, 27*(4), 453-470. <https://doi.org/10.1177/1035304616674613>
- Bonesso, S., Gerli, F., Zampieri, R., & Boyatzis, R. E. (2020). Updating the debate on behavioral competency development: State of the art and future challenges. *Frontiers in Psychology, 11*, 1267. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01267>

- Chaibate, H., & Bakkali, S. (2017). Skills for employability: Identification of the soft skills required in engineering education. *The Journal of Quality in Education*, 7(9), 12. <https://doi.org/10.37870/joqie.v7i9.5>
- Chaibate, H., Hadek, A., Ajana, S., Bakkali, S., & Faraj, K. (2020). A comparative study of the engineering soft skills required by Moroccan job market. *International Journal of Higher Education*, 9(1), 142-152. <https://doi.org/10.5430/ijhe.v9n1p142>
- Dubey, R. S., Paul, J., & Tewari, V. (2021). The soft skills gap: A bottleneck in the talent supply in emerging economies. *The International Journal of Human Resource Management*, 33(13), 2630-2661. <https://doi.org/10.1080/09585192.2020.1871399>
- Dubey, R. S., & Tiwari, V. (2020). Operationalisation of soft skill attributes and determining the existing gap in novice ICT professionals. *International Journal of Information Management*, 50, 375-386. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.09.006>
- Foro Económico Mundial. (2018, 2 de julio). *10 skills you'll need to survive the rise of automation*. <https://www.weforum.org/agenda/2018/07/the-skills-needed-to-survive-the-robot-invasion-of-the-workplace/>
- Gruden, N., & Stare, A. (2018). The influence of behavioral competencies on project performance. *Project Management Journal*, 49(3), 98-109.
- Gruzdev, M. V., Kuznetsova, I. V., Tarkhanova, I. Y., & Kazakova, E. I. (2018). University graduates' soft skills: The employers' opinion. *European Journal of Contemporary Education*, 7(4), 690-698.
- Hazzan, O., & Har-Shai, G. (2013). Teaching computer science soft skills as soft concepts. En *Proceeding of the 44th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 59-64). <https://doi.org/10.1145/2445196.2445219>
- Le Lous, F. (2019, 28 de agosto). Bolsas de empleo: todo lo que debe saber para sacarles provecho. *La Nación*. <https://www.nacion.com/soluciones-ln/bolsas-de-empleo-todo-lo-que-debes-saber-para/4WLJZUZZ7ZGZHA4LDGZIXXHUK4/story/>
- Lee, S., Koh, S., Yen, D., & Tang, H.-L. (2002). Perception gaps between IS academics and IS practitioners: An exploratory study. *Information & Management*, 40(1), 51-61. [https://doi.org/10.1016/S0378-7206\(01\)00132-X](https://doi.org/10.1016/S0378-7206(01)00132-X)
- Majid, S., Eapen, C. M., Aung, E. M., & Oo, K. T. (2019). The importance of soft skills for employability and career development: Students and employers' perspectives. *IUP Journal of Soft Skills*, 13(4), 7-39.
- Montandon, J. E., Politowski, C., Silva, L. L., Valente, M. T., Petrillo, F., & Guéhéneuc, Y.-G. (2021). What skills do IT companies look for in new developers? A study with Stack Overflow Jobs. *Information and Software Technology*, 129, 106429.

- Nahod, M.-M., & Radujković, M. V. M. (2013). The impact of ICB 3.0 competences on project management success. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 74, 244-254. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.03.014>
- Perrenoud, P. (1997). *Construire des compétences dès l'école: Pratiques et enjeux pédagogiques*. ESF éditeur.
- Pinkowska, M., Lent, B., & Keretho, S. (2011). Process based identification of software project manager soft skills. En *2011 Eighth International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)* (pp. 343-348). IEEE. <https://doi.org/10.1109/JCSSE.2011.5930145>
- Pizarro-Aguilar, M. (2021). ¿Cómo propiciar las habilidades no técnicas en carreras de ingeniería? Enfoques para la investigación. *Revista Electrónica Calidad en la Educación Superior*, 12(1), 272-291. <http://dx.doi.org/10.22458/caes.v12i1.3409>
- Ritter, B. A., Small, E. E., Mortimer, J. W., & Doll, J. L. (2018). Designing management curriculum for workplace readiness: Developing students' soft skills. *Journal of Management Education*, 42(1), 80-103. <https://doi.org/10.1177/1052562917703679>
- Robles, M. M. (2012). Executive perceptions of the top 10 soft skills needed in today's workplace. *Business Communication Quarterly*, 75(4), 453-465. <https://doi.org/10.1177/1080569912460400>
- Sharma, M. (2009). How important are soft skills from the recruiter's perspective. *ICFAI Journal of Soft Skills*, 3(2), 19-28.
- Sharma, V. (2018). Soft skills: An employability enabler. *IUP Journal of Soft Skills*, 12(2), 25-32.
- Todd, P. A., McKeen, J. D., & Gallupe, R. B. (1995). The evolution of IS job skills: A content analysis of IS job advertisements from 1970 to 1990. *MIS quarterly*, 19(1), 1-27.
- Touloumakos, A. K. (2020). Expanded yet restricted: A mini review of the soft skills literature. *Frontiers in Psychology*, 11, 2207.
- Verma, A., & Bedi, M. (2008). Importance of soft skills in IT industry. *ICFAI Journal of Soft Skills*, 2(4), 15-24.
- Wacker, J. G. (2004). A theory of formal conceptual definitions: Developing theory-building measurement instruments. *Journal of Operations Management*, 22(6), 629-650. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2004.08.002>
- Yen, D. C., Lee, S., & Koh, S. (2001). Critical knowledge/skill sets required by industries: An empirical analysis. *Industrial Management & Data Systems*, 101(8), 432-442. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000006173>

COMPARATIVA ENTRE RESNET-50, VGG-16, VISION TRANSFORMER Y SWIN TRANSFORMER PARA EL RECONOCIMIENTO FACIAL CON OCLUSIÓN DE UNA MASCARILLA

BRENDA XIOMARA TAFUR ACENJO

20172692@aloe.ulima.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0001-8022-3260>

Universidad de Lima, Perú

MARTIN ALEXIS TELLO PARIONA

20163654@aloe.ulima.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0005-0933-2890>

Universidad de Lima, Perú

EDWIN JHONATAN ESCOBEDO CÁRDENAS

eescobed@ulima.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-2034-513X>

Universidad de Lima, Perú

RESUMEN

En la búsqueda de soluciones sin contacto físico en espacios cerrados para la verificación de identidad en el contexto de la pandemia por el SARS-CoV-2, el reconocimiento facial ha tomado relevancia. Uno de los retos en este ámbito es la oclusión por mascarilla, ya que oculta más del 50 % del rostro. La presente investigación evaluó cuatro modelos preentrenados por aprendizaje por transferencia: VGG-16, RESNET-50, Vision Transformer (ViT) y Swin Transformer, los cuales se entrenaron en sus capas superiores con un conjunto de datos propio. Para el entrenamiento sin mascarilla, se obtuvo un *accuracy* de 24 % (RESNET-50), 25 % (VGG-16), 96 % (ViT) y 91 % (Swin). En cambio, con mascarilla se obtuvo un *accuracy* de 32 % (RESNET-50), 53 % (VGG-16), 87 % (ViT) y 61 % (Swin). Estos porcentajes de *testing accuracy* indican que las arquitecturas más modernas como los *transformers* arrojan mejores resultados en el reconocimiento con mascarilla que las CNN (VGG-16 y RESNET-50). El aporte de la investigación recae en la experimentación con dos tipos de arquitecturas: CNN y *transformers*, así como en la creación del conjunto de datos público que se comparte a la comunidad

científica. Este trabajo robustece el estado del arte de la visión computacional en el reconocimiento facial por oclusión de una mascarilla, ya que ilustra con experimentos la variación del *accuracy* con distintos escenarios y arquitecturas.

PALABRAS CLAVE: reconocimiento facial, RESNET-50, VGG-16, Vision Transformer, Swin Transformer

COMPARATIVE BETWEEN RESNET-50, VGG-16, VISION TRANSFORMER AND SWIN TRANSFORMER FOR FACIAL RECOGNITION WITH MASK OCCLUSION

ABSTRACT

Face recognition has become relevant in the search for non-physical contact solutions in enclosed spaces for identity verification in the context of the SARS-CoV-2 pandemic. One of the challenges of face recognition is mask occlusion which hides more than 50 % of the face. This research evaluated four models pre-trained by transfer learning: VGG-16, RESNET-50, Vision Transformer (ViT), and Swin Transformer, trained on their upper layers with a proprietary dataset. The analysis obtained an accuracy of 24 % (RESNET-50), 25 % (VGG-16), 96 % (ViT), and 91 % (Swin) with unmasked subjects. While with a mask, accuracy was 32 % (RESNET-50), 53 % (VGG-16), 87 % (ViT), and 61 % (Swin). These percentages indicate that modern architectures such as the Transformers perform better in mask recognition than the CNNs (VGG-16 and RESNET-50). The contribution of the research lies in the experimentation with two types of architectures: CNNs and Transformers, as well as the creation of the public dataset shared with the scientific community. This work strengthens the state of the art of computer vision in face recognition by mask occlusion by illustrating with experiments the variation of accuracy with different scenarios and architectures.

KEYWORDS: face recognition, RESNET-50, VGG-16, Vision Transformer, Swin Transformer

1. INTRODUCCIÓN

La propagación del virus SARS-CoV-2 ha causado una crisis sin precedentes a nivel mundial, que a su vez ha provocado varios problemas en los sectores de salud, economía, transporte, seguridad, etcétera. La rápida proliferación de este virus y el surgimiento de nuevas variantes ha tenido como consecuencia altos índices de contagio, porque su propagación ocurre por contacto físico y también por superficies contaminadas. Ante esta situación, se elevó la demanda de espacios que requieren utilizar métodos de verificación biométrica libres de contacto físico, confiables y eficaces. Se ha planteado el uso del reconocimiento facial como principal medio de identificación. Sin embargo, debido a la medida impuesta del uso de mascarillas faciales, se genera la oclusión de gran parte del rostro, con lo que el *accuracy* de los modelos de reconocimiento facial se ha reducido notoriamente (Damer et al., 2020). Así, se puede notar que existe demanda por sistemas de reconocimiento facial que no supongan contacto físico y que sean lo suficientemente robustos para identificar la identidad de sujetos portando mascarillas faciales.

La oclusión es un tema que se viene investigando hace años. Los casos de oclusiones más comunes son el uso de gafas de sol, bufandas, cabello en el rostro, envejecimiento, entre otros (Sáez Trigueros et al., 2018). Sin embargo, en comparación con otros tipos de oclusiones, la oclusión facial es el menos estudiado entre todos. Actualmente, existen pocas investigaciones que se centren en la aplicación de las arquitecturas *transformers* hacia el reconocimiento facial, menos aún si le sumamos la oclusión facial (Tran et al., 2022). El uso más común que se viene dando al reconocimiento facial se encuentra en la videovigilancia o el distanciamiento social debido al COVID-19 (Meena & Meena, 2022).

La influencia de la oclusión facial en soluciones tecnológicas relacionadas con el reconocimiento facial se produce por la extracción de puntos clave, como los que están en la "zona T" (ojos, nariz y boca), para identificar a una persona; estos son un factor determinante para el éxito o fallo del algoritmo. En ambientes dinámicos con muchas interferencias externas, los modelos tradicionales para el reconocimiento facial fallarán. El uso de ventanas desplazadas hace más eficiente el procesamiento de información al limitar el análisis a pequeñas secciones que no se superponen, pero que aun así se conectan entre ellas. Las principales dificultades para el reconocimiento facial causadas por la oclusión son pérdida de rasgos, error de alineación y *aliasing* local en la imagen (Cheng & Pan, 2022).

La oclusión facial parcial sigue siendo un problema que presenta limitaciones en el reconocimiento facial, el cual empeora mucho más con el uso de una mascarilla, siendo este caso el más difícil de todos (Hariri, 2022). El uso de una mascarilla cubre el 50 % de la zona frontal del rostro; por ello, el porcentaje de efectividad es reducido y hace a estos sistemas no confiables. La empresa tecnológica líder en inteligencia artificial SenseTime

Technology reportó que la tasa de efectividad de un sistema de reconocimiento facial se puede reducir hasta en un 10 % cuando la persona tiene 50 % de la nariz expuesta al usar una mascarilla; este porcentaje puede llegar a disminuir mucho más si se tiene oculta la mitad del rostro (Wang et al., 2023). Pese a la reducción de la tasa de *accuracy* de los sistemas de reconocimiento facial, su uso se ha incrementado debido a que los sistemas biométricos de contacto físico, como la digitación de contraseñas o huellas dactilares, generan más riesgo de contagio del coronavirus SARS-CoV-2 (Hariri, 2022).

En el entrenamiento de estos sistemas, que generalmente están basados en aprendizaje profundo (DL, por sus siglas en inglés), la tasa del *accuracy* depende de la cantidad de imágenes que se tenga y puedan servir para el entrenamiento de estos modelos (Sáez Trigueros et al., 2018). Esto, sumado a la variedad de modelos de algoritmos que existen para el reconocimiento facial, conduce a que aún no se cuente con información de estudios comparativos que analicen diferentes escenarios, a fin de cuantificar la tasa de reducción en el *accuracy* ante la oclusión de una mascarilla. Además, otra limitación es la poca cantidad de los conjuntos de datos disponibles con imágenes de sujetos que usan mascarilla y sin mascarilla. A pesar de que existen conjuntos de datos de rostros enmascarados, como Real-World Faked Face Recognition Dataset (RMFRD), este solo está disponible para la industria y la academia. Así, el público en general no cuenta con libre disponibilidad para su uso e investigación (Laxminarayamma et al., 2021).

A partir de lo expuesto anteriormente, se ha propuesto realizar un estudio comparativo entre las arquitecturas CNN y *transformer*, ambas preentrenadas sobre el conjunto de datos ImageNet21k, con el fin de cuantificar su *testing accuracy* en distintos escenarios, ya sea con imágenes no ocluidas u ocluidas. Para esto se creó una base de datos propia compuesta por 30 clases. A continuación, el trabajo presenta una revisión de literatura, así como la exposición de los principales fundamentos teóricos de los modelos utilizados. Además, se propone una metodología y se documenta todo el proceso de experimentación, discusión y resultados. Finalmente, se mencionan las conclusiones y los trabajos futuros.

La contribución de nuestra investigación se resume en los siguientes puntos:

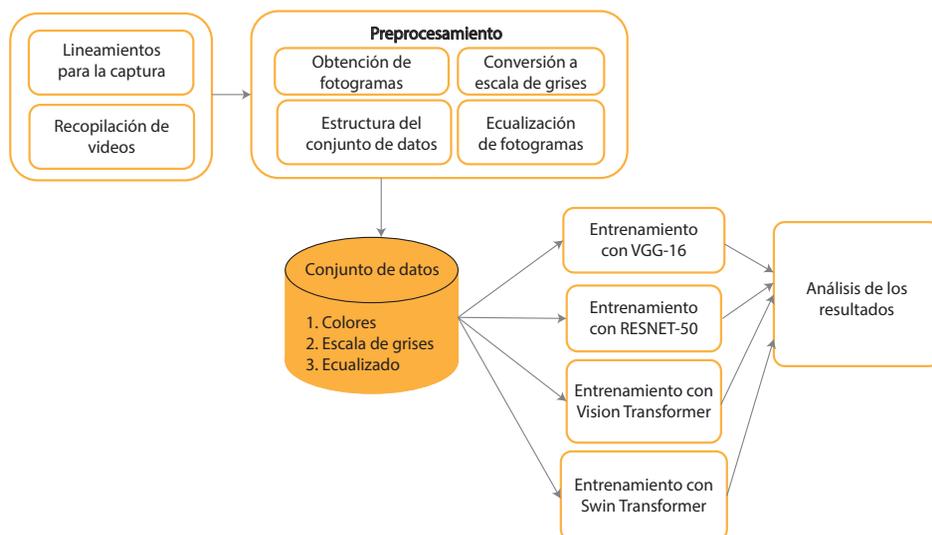
- Crear un nuevo conjunto de datos con imágenes faciales del rostro con y sin oclusión por mascarilla. Consta de 30 clases, las cuales tienen imágenes de personas desde un ángulo frontal y lateral.
- Cuantificar la reducción de la métrica *testing accuracy*, en adelante *accuracy*, en el reconocimiento facial por oclusión para las arquitecturas CNN y *transformer*.
- Aportar en la investigación de las arquitecturas *transformers* en el campo del reconocimiento facial con oclusión.

2. METODOLOGÍA

La investigación se inició con la definición de los lineamientos para la captura de videos. Una vez recolectados, comenzó la etapa del preprocesamiento de imágenes, donde se descompuso los videos en fotogramas. Luego, se dividió los tres conjuntos de datos que se tenía: imágenes a colores, a escalas de grises y ecualizadas¹. Después de ello, se seleccionó solo el conjunto de datos con imágenes a colores para realizar el entrenamiento de dos redes neuronales convolucionales: VGG-16 y RESNET-50, un modelo de Vision Transformer y un modelo de Swin Transformer. Una vez que se obtuvieron los resultados de los modelos, se realizó un análisis comparativo. En la Figura 1 se puede apreciar cada una de las etapas.

Figura 1

Etapas de la metodología



Para la creación de la base de datos, se han utilizado tres técnicas. La primera es la descomposición en *frames*. La segunda son las redes neuronales convolucionales en cascada multitarea (MTCNN, por sus siglas en inglés), como identificador y extractor de datos. Por último, tenemos el aumento de datos (*data augmentation*, por su traducción en inglés). Estas imágenes fueron analizadas a color y, posteriormente, convertidas en un formato de escala de grises. Además, se aplicó ecualización de histogramas.

1 El conjunto de datos de personas con y sin mascarilla facial utilizado para la investigación se encuentra publicado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Lima (<https://hdl.handle.net/20.500.12724/18500>).

Como primer paso, se establecieron los lineamientos para la captura de los videos:

1. Los videos serían grabados en un ambiente cerrado con luz adecuada, ya sea natural o artificial, iluminando el rostro de los voluntarios.
2. El voluntario debería mostrar las orejas en el cuadro de video.
3. El voluntario no debe portar ningún objeto que ocluya la imagen, como lentes, bufandas, entre otros.

De esta manera, se realizó la recopilación de videos de 30 voluntarios para la creación de un conjunto de datos propio. Estos videos fueron grabados con un celular Samsung Galaxy A32. En total, se obtuvieron cuatro videos de 40 segundos aproximadamente por persona, dos de ellos portando mascarilla y los otros dos sin mascarilla. Además, uno de ellos debía estar a 40 centímetros de distancia y el otro a un metro y medio. Cabe resaltar que no hay restricción acerca del tipo de mascarilla, que puede ser KN95, quirúrgica o de tela, entre otras. De igual forma, se consideraron algunas variantes en los videos, como girar hacia los lados laterales, tanto derecha como izquierda; así como realizar un movimiento circular con la cabeza, simulado con el fin de obtener todas las características tanto desde una perspectiva alta como baja. Los diferentes escenarios que se plantean para la recolección de videos tienen el fin de brindar robustez a los modelos en cuanto al reconocimiento facial (Damer et al., 2020).

Luego, se llevó a cabo la etapa de preprocesamiento. Para esto, se efectuó el tratamiento de imágenes con las redes convolucionales en cascada multitarea (MTCNN, por sus siglas en inglés), seguido del diseño de la estructura del conjunto de datos y la obtención de fotogramas. En total, se consiguió, aproximadamente, 1200 imágenes por video por persona (Yanai & Kawano, 2015). En los pasos posteriores, se usó el método `cvtColor`, el cual se implementó en una librería de visión computacional OpenCV para obtener las imágenes a escala de grises. Además, mediante la aplicación de ecualización de fotogramas a las imágenes en escala de grises, se consiguió que las imágenes tuvieran un mayor contraste. Finalmente, se obtuvieron tres tipos de conjuntos de datos: a color, a escala de grises y con ajuste por ecualización de histogramas. Esto último se realizó con la función `"equalizeHist"` de OpenCV. Originalmente, los modelos preentrenados se estrenarán solo con las imágenes a color. Adicional a ello, se utilizarán las imágenes ecualizadas y a escala de grises para experimentar un escenario específico y contrastar cómo varía contra las imágenes a color.

Con la información recolectada, se prepararon los hiperparámetros para la ejecución del modelo preentrenado VGG-16, tales como un *size* de imagen de 224×224 píxeles, 100 épocas y un *batch size* igual a 128. Debido a que el modelo ya estaba previamente entrenado, se aplicó aprendizaje por transferencia. Lo mismo se hizo con el modelo RESNET-50, usando como hiperparámetros un tamaño de imagen de

128 × 128 píxeles, 100 épocas y un *batch size* de 128 (Mandal et al., 2021). Además, se realizó el entrenamiento de un Vision Transformer, que es un modelo distinto de las redes neuronales convolucionales entrenadas anteriormente (Zhong & Deng, 2021). Igualmente, se entrenó un Swin Transformer, que es un transformador que utiliza ventanas desplazadas, las cuales mejoran la eficiencia al restringir el cálculo de autoatención a ventanas locales que no se solapan, al mismo tiempo que permite la interconexión entre estas ventanas (Liu et al., 2021).

3. RESULTADOS

Para la presente investigación, se entrenaron cuatro modelos preentrenados: VGG-16, RESNET-50, Vision Transformer y Swin Transformer. Se analizó los escenarios (a) con mascarilla y (b) sin mascarilla. Asimismo, el entrenamiento se realizó sobre el conjunto de datos completo, es decir, con imágenes de 30 sujetos.

3.1 Entrenamiento de modelos CNN

En el entrenamiento de VGG-16 sin mascarilla, se obtuvo un 25 % de *testing accuracy*. Además, la matriz de confusión muestra que el modelo solo se equivoca en algunos casos específicos, como con "Sujeto 8" y "Sujeto 27" (Figura 2). En el modelo con mascarilla, arrojó un *testing accuracy* de 53 %. Además, la matriz de confusión muestra que el modelo reconoce de forma consistente a la mayoría de los sujetos (Figura 3).

En el entrenamiento de RESNET-50 sin mascarilla, se obtuvo un 24 % de *testing accuracy*. Este valor es similar al alcanzado con el otro modelo de red neuronal convolucional, VGG-16. Además, la matriz de confusión muestra que el modelo confunde a la mayoría de los sujetos con "Sujeto 4" (Figura 4). En el modelo con mascarilla, arrojó un *testing accuracy* de 32 %. La matriz de confusión señala que el modelo suele predecir a los sujetos de manera incorrecta con "Sujeto 16" y "Sujeto 27" (Figura 5). A pesar de ello, se puede ver que logra una mejor consistencia de reconocimiento en comparación con el modelo sin mascarilla.

Figura 3

Matriz de confusión de VGG-16 con 30 sujetos con mascarilla

Etiqueta verdadera	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4	Sujeto 5	Sujeto 6	Sujeto 7	Sujeto 8	Sujeto 9	Sujeto 10	Sujeto 11	Sujeto 12	Sujeto 13	Sujeto 14	Sujeto 15	Sujeto 16	Sujeto 17	Sujeto 18	Sujeto 19	Sujeto 20	Sujeto 21	Sujeto 22	Sujeto 23	Sujeto 24	Sujeto 25	Sujeto 26	Sujeto 27	Sujeto 28	Sujeto 29	Sujeto 30			
Sujeto 1	74	0	2	2	0	2	0	1	0	2	0	2	0	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2		
Sujeto 2	0	49	11	0	0	27	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	
Sujeto 3	0	0	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
Sujeto 4	0	0	3	79	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
Sujeto 5	0	0	0	0	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	
Sujeto 6	0	1	0	0	0	88	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	
Sujeto 7	2	0	0	2	9	0	18	0	2	42	0	0	0	0	0	0	3	0	4	7	0	0	0	0	0	8	0	3	0	0	0	0	
Sujeto 8	1	0	0	1	0	0	0	89	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
Sujeto 9	0	0	2	31	0	7	0	1	12	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	
Sujeto 10	0	0	2	2	0	4	0	1	0	82	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	1	0	0	0	0	
Sujeto 11	0	10	0	0	0	1	0	1	0	0	45	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	
Sujeto 12	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	
Sujeto 13	0	0	13	13	0	1	0	0	3	20	0	0	2	0	10	0	0	5	2	0	0	4	0	0	2	2	12	1	0	10	0	0	
Sujeto 14	0	3	0	2	0	9	0	16	2	3	0	6	0	23	16	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	4	1	12	0	0	0	
Sujeto 15	0	7	1	0	0	26	0	0	0	1	0	0	0	1	62	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Sujeto 16	0	23	4	0	0	2	0	1	0	1	2	0	2	12	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0
Sujeto 17	0	0	2	2	2	0	0	0	1	57	0	0	0	0	0	0	6	2	4	1	0	0	0	0	2	0	2	1	0	18	0	0	
Sujeto 18	0	0	0	4	1	0	1	0	2	60	0	0	0	0	0	1	16	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	11	0	0
Sujeto 19	1	0	0	0	6	1	0	4	5	51	0	3	0	0	0	1	2	21	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	
Sujeto 20	0	0	1	4	5	4	0	2	2	35	0	2	0	0	4	0	3	0	1	17	0	4	0	0	4	0	4	0	2	1	1	8	0
Sujeto 21	0	0	0	9	0	1	0	1	5	53	0	0	0	0	2	0	1	0	0	2	5	0	0	0	0	1	0	2	0	0	18	0	0
Sujeto 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	53	0	3	2	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Sujeto 23	0	10	0	1	2	2	0	2	3	4	0	1	0	0	11	0	0	0	9	1	0	0	39	0	0	0	6	9	0	0	0	0	
Sujeto 24	0	1	0	0	0	22	0	0	0	2	0	1	0	0	4	0	3	1	0	0	2	1	45	0	1	14	0	0	0	3	0	0	
Sujeto 25	0	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	91	2	0	0	1	0	0	
Sujeto 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	
Sujeto 27	0	0	1	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	85	0	0	0	0	
Sujeto 28	0	1	11	0	4	8	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	3	55	10	1	0	0	
Sujeto 29	1	0	1	0	1	3	0	0	0	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	84	0	0	
Sujeto 30	0	0	1	10	0	8	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	2	0	46	0	0	

Figura 4

Matriz de confusión de RESNET-50 con 30 sujetos sin mascarilla

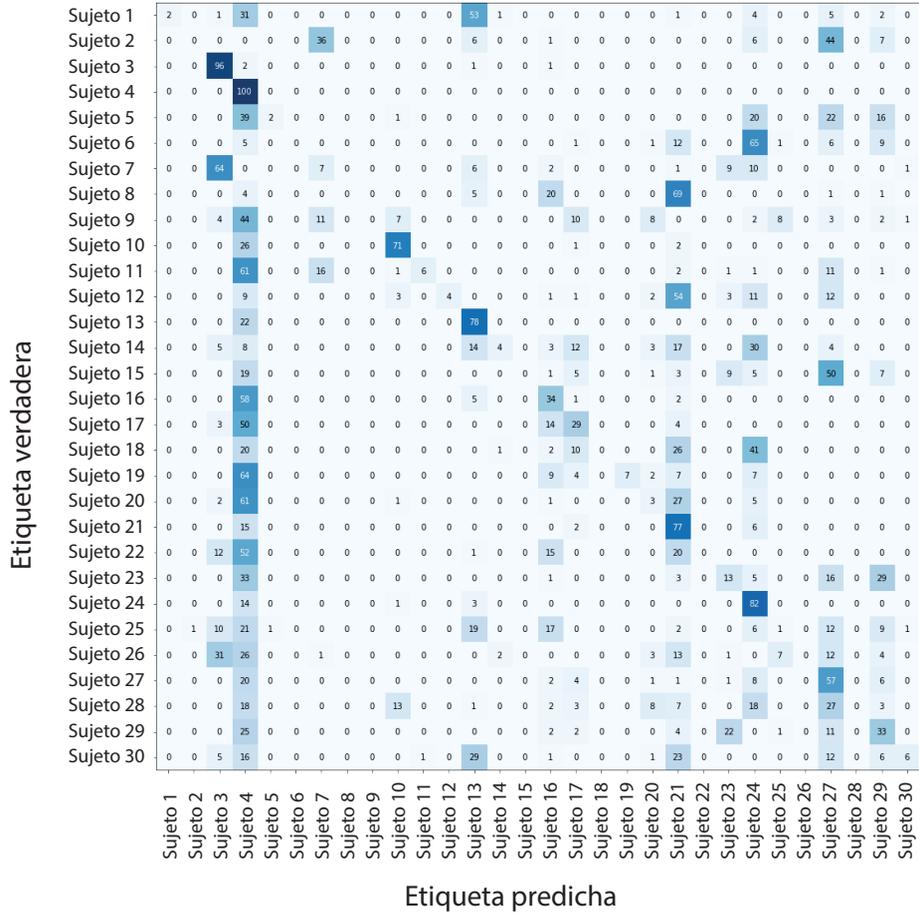
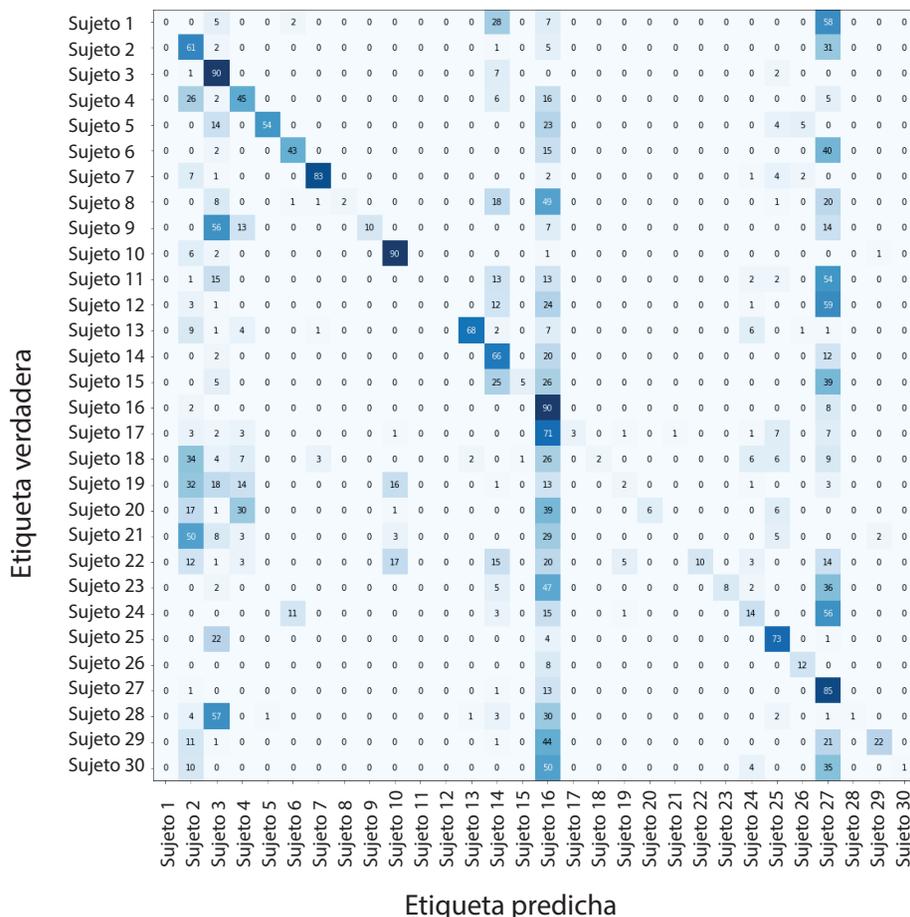


Figura 5

Matriz de confusión de RESNET-50 con 30 sujetos con mascarilla



3.2 Entrenamiento de modelos transformers

El segundo y último entrenamiento del Vision Transformer sin mascarilla arrojó 96 % de *testing accuracy*. Además, la matriz de confusión muestra que el modelo reconoce de manera correcta a la mayoría de los sujetos (Figura 6). En el modelo con mascarilla, arrojó un *testing accuracy* de 87 %. Asimismo, la matriz de confusión señala que el modelo se equivoca solo en dos casos específicos con “Sujeto 2” y con “Sujeto 5” (Figura 7). A pesar de mostrar errores, se puede apreciar que los casos de confusión no superan las 30 imágenes de 100.

RESNET-50, al ser una arquitectura más profunda, extrae características más distintivas entre los sujetos y, al trabajar con bloques residuales, no se pierde información de las capas anteriores (Wu et al., 2019). Por ello, a diferencia de VGG-16, agrega *skip connections* y permite compartir desde la capa 1 todo el mapa de características hasta la capa 10. Así, la información que se ha ido perdiendo desde la capa 1 a la 9 se recupera en la capa 10. Los resultados mostraron que el modelo VGG-16 sin mascarilla confundía a la mayoría de los sujetos con "Sujeto 8" (Figura 12.d) y "Sujeto 27" (Figura 12.b). En cuanto a RESNET-50, cuando se evaluó sin mascarilla, la mayoría de las predicciones eran erróneas y las clasificaba como "Sujeto 4" (Figura 12.e). Sin embargo, cuando se evaluó este mismo modelo con mascarilla, reconocía a la mayoría de los sujetos como "Sujeto 16" (Figura 12.f). Además, al igual que en el caso anterior, el "Sujeto 16" comparte características como el color de piel y de cabello. Asimismo, las orejas no se aprecian y mantiene la misma dirección de mirada.

Figura 12

Sujetos de la base de datos propia



Al aplicar MTCNN, se ha reducido o quitado en su totalidad características como orejas, cabello y forma del rostro en las imágenes con las que se probaron los modelos. Esto ha disminuido el *accuracy* tanto de los modelos VGG-16 como de RESNET-50. En el caso de Vision Transformer, en el primer entrenamiento se obtienen bajos resultados de *accuracy*, casi como los de las redes neuronales convoluciones. Sin embargo, al realizar un segundo entrenamiento y descongelando el 40 % de la última capa, se consiguieron resultados que casi llegaron al 100 %: en el caso del modelo sin mascarilla, al 96 %; y con mascarilla, a un 87 % de *accuracy*. En el modelo de Swin Transformer, se pudo apreciar que los resultados obtenidos tienen un comportamiento similar al de Vision Transformer en cuanto a *accuracy*. Sin embargo, en la matriz de confusión de Swin Transformer, se puede observar una mayor consistencia en el modelo con mascarilla. Por el contrario, el modelo sin mascarilla suele confundir a la mayoría de los sujetos con "Sujeto 29" (Figura 13.b) y "Sujeto 30" (Figura 13.c).

Figura 13

Sujetos de la base de datos propia, con segmentación de la parte no ocluida



El descongelamiento se realizó a fin de realizar aprendizaje por transferencia del modelo preentrenado en bases de datos como ImageNet21K y CIFAR-10. Con ello se pudo ver que, al utilizar modelos preentrenados en bases de datos gigantes y con arquitecturas más complejas como *transformers*, mejoró en nivel de *accuracy* en el reconocimiento facial de nuestra base de datos propia. Adicionalmente, cabe destacar que este tipo de arquitecturas *transformers* está orientado a tener un entrenamiento más enfocado, lo cual permite que haya una iteración entre todas las partes participantes. Así, se aprende a tener una mejor distinción en la clasificación de los sujetos. Finalmente, es preciso mencionar que los modelos *transformers* requieren de mayores recursos computacionales frente a las arquitecturas de redes neuronales convolucionales.

5. CONCLUSIONES

La investigación se realizó en un contexto pospandemia por SARS-CoV-2, donde el uso de mascarillas se mantiene en la población. Además, el reconocimiento facial con oclusión por mascarilla para acceder a centros de estudio o trabajo se ha vuelto relevante, ya que, por medidas sanitarias, cierto sector de la población continúa usando mascarillas en espacios cerrados.

Se puede afirmar que se logró el objetivo de la investigación mediante la construcción de una base de datos propia y la comparación de arquitecturas tradicionales, como las redes neuronales convolucionales (CNN), frente a arquitecturas más modernas como los modelos *transformers*.

La base de datos creada contiene un total de 30 sujetos, lo cual nos permitió realizar los entrenamientos de las dos CNN y los dos modelos *transformers*. Esta base de datos recolecta imágenes con diversas poses de los sujetos, con lo que se agregó robustez a los modelos al momento de ser entrenados; cuenta con imágenes a color, ecualizadas y a escala de grises.

Además del entrenamiento con imágenes de rostros ocluidos y no ocluidos por mascarillas, se analizó un experimento en las arquitecturas *transformers* (ViT y Swin)

con imágenes segmentadas en las cuales se fuerza al algoritmo a enfocarse en extraer características específicas de la parte no ocluida del rostro, y de esta forma ignorar distintos factores que no sean relevantes para la identificación del rostro.

La realización de este tipo de experimentos con diferentes escenarios y arquitecturas es enriquecedora para la academia, puesto que permite realizar el contraste de los niveles de *accuracy* arrojados en cada escenario. Se pudo observar que las arquitecturas *transformers*, al tener una arquitectura más compleja y enfocada en el detalle, logran mejores resultados que las CNN en todos los casos que han sido simulados en los entrenamientos. Como punto importante, se observa que las redes CNN tienen una caída notable en su *accuracy* al ser entrenadas en una mayor cantidad de clases, mientras que en las arquitecturas *transformers* sucede todo lo contrario, ya que mantienen un alto nivel en su porcentaje de *accuracy*.

El aporte de la investigación recae en la experimentación con dos tipos de arquitecturas: CNN y *transformer*, así como en la creación del conjunto de datos público que se comparte a la comunidad científica. De igual manera, la experimentación con un modelo *transformer* permite comparar modelos tradicionales como las CNN frente a modelos modernos que se encuentran moldeando el estado del arte de la visión computacional. Cabe mencionar que actualmente existe un déficit en investigaciones que involucren las arquitecturas *transformers* en el ámbito del reconocimiento facial y mucho menos en el aspecto de oclusión.

Las experimentaciones mostraron la mejoría que resulta al contrastar la tarea del reconocimiento facial entre estos dos tipos de arquitecturas. Los resultados de esta investigación robustecen el estado del arte de la visión computacional en el reconocimiento facial por oclusión de una mascarilla, ya que ilustran con experimentos la variación del *accuracy* en distintos escenarios y usando dos tipos de arquitecturas diferentes. Ello contribuye a que se decida con evidencia cuáles son los modelos más adecuados para realizar la tarea de reconocimiento facial cuando la población usa mascarilla en espacios cerrados.

En trabajos futuros, se podrían incluir otras arquitecturas *transformers* modernas que vayan emergiendo del estado del arte, así como realizar la experimentación con nuevas arquitecturas híbridas que surgen de unir las redes CNN con la arquitectura *transformer*. Asimismo, se puede incrementar los sujetos para nuestra base de datos original, lo que permitiría aumentar el número total de imágenes que sirvan para los entrenamientos.

APÉNDICE

El conjunto de datos utilizado en esta investigación contiene imágenes de personas con y sin mascarillas faciales, y está disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12724/18500>

El código fuente empleado en la investigación se encuentra disponible en el siguiente enlace: <https://colab.research.google.com/drive/1T8n7ib--4b7QWWgAea86ZXXABfpuL6AZ?usp=sharing>

REFERENCIAS

- Cheng, P., & Pan, S. (2022). Learning from face recognition under occlusion. En *2022 International Conference on Big Data, Information and Computer Network (BDICN)* (pp. 721-727). IEEE.
- Damer, N., Grebe, J. H., Chen, C., Boutros, F., Kirchbuchner, F., & Kuijper, A. (2020). *The effect of wearing a mask on face recognition performance: An exploratory study*. BIOSIG 2020 - Proceedings of the 19th International Conference of the Biometrics Special Interest Group, agosto.
- Hariri, W. (2022). Efficient masked face recognition method during the COVID-19 pandemic. *Signal, Image and Video Processing*, 16(3), 605-612.
- Laxminarayamma, K., Deepthi, V., Ahmed, M. F., & Sowmya, G. (2021). A real time robust facial recognition model for masked face images using machine learning model. En *2021 5th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)* (pp. 769-774). IEEE.
- Liu, Z., Lin, Y., Cao, Y., Hu, H., Wei, Y., Zhang, Z., Lin, S., & Guo, B. (2021). Swin transformer: Hierarchical vision transformer using shifted windows. En *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision* (pp. 10012-10022). IEEE.
- Mandal, B., Okeukwu, A., & Theis, Y. (2021). *Masked face recognition using RESNET-50*. arXiv:2104.08997.
- Meena, M. K., & Meena, H. K. (2022). A literature survey of face recognition under different occlusion conditions. En *2022 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)* (pp. 1-6). IEEE.
- Sáez Trigueros, D. S., Meng, L., & Hartnett, M. (2018). Enhancing convolutional neural networks for face recognition with occlusion maps and batch triplet loss. *Image and Vision Computing*, 79, 99-108.
- Tran, C. P., Vu, A. K. N., & Nguyen, V. T. (2022). Baby learning with vision transformer for face recognition. En *2022 International Conference on Multimedia Analysis and Pattern Recognition (MAPR)* (pp. 1-6). IEEE.
- Wang, Z., Huang, B., Wang, G., Yi, P., & Jiang, K. (2023). Masked face recognition dataset and application. *IEEE Transactions on Biometrics, Behavior, and Identity Science*, 5(2), 298-304.
- Wu, Z., Shen, C., & Van Den Hengel, A. (2019). Wider or deeper: Revisiting the RESNET model for visual recognition. *Pattern Recognition*, 90, 119-133.
- Yanai, K., & Kawano, Y. (2015). Food image recognition using deep convolutional network with pre-training and fine-tuning. En *2015 IEEE International Conference on Multimedia & Expo Workshops (ICMEW)* (pp. 1-6). IEEE.
- Zhong, Y., & Deng, W. (2021). *Face transformer for recognition*. arXiv:2103.14803.

ANEXOS

Anexo 1. Pseudocódigo para la separación de las imágenes en frames

```
IMPORTAR os
IMPORTAR cv2
FUNCIÓN FRAMES(FolderDestino,RutaVideo):
    CREAR os.FolderDestino
    VARIABLE contador
    LEER cv2.RutaVideo
    MIENTRAS(TRUE):
        VARIABLE frame
        CAPTURAR frame DE RutaVideo
        SI frame == NULO:
            BREAK
        SINO:
            GUARDAR cv2.frame{contador} EN FolderDestino
            contador = contador + 1
```

Anexo 2. Pseudocódigo para la conversión de las imágenes en escala de grises

```
IMPORTAR os
IMPORTAR cv2
FUNCIÓN BLACKWHITE(FilePathContent,RutaDestino):
    CREAR os.FolderDestino EN RutaDestino
    VARIABLE contador
    FOR filename EN FilePathContent:
        SI filename TERMINA EN ".jpg" OR ".png":
            VARIABLE imagen
            LEER cv2.filename
            imagen = filename
```

CONVERTIR img EN BGR2GRAY

GUARDAR cv2.img{contador} EN FolderDestino

contador = contador + 1

SINO:

Continúa

Anexo 3. Pseudocódigo para la implementación del MTCNN

IMPORTAR MTCNN

IMPORTAR os

IMPORTAR cv2

FUNCIÓN DETECTFACES(img_path,destino_path):

img = LEERCv2.

#REAJUSTAR TAMAÑO DE IMAGEN

VARIABLE ancho

VARIABLE alto

VARIABLE contador

img = cv2.RESIZE(img,(ancho,alto), INTERPOLATION = cv2.INTER_
AREA)

#INICIALIZAR MODELO MTCNN

VARIABLE face_coord

face_coord = mtcnn_face_detector_model.detect_faces(img)

#EXTRAER ROSTRO

FOR x EN face_coord:

VARIABLE face

face = cv2.RESIZE(face,(224,224),INTERPOLATION = cv2.
INTER_AREA)

cv2.GUARDAR(destino_path+face{contador}.jpg)

contador = contador + 1

LÓGICA DIFUSA PARA REGULAR LA VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA (CC)

GUILLERMO TEJADA MUÑOZ

gtejadam@unmsm.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-2799-6488>

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

RESUMEN

Este estudio se enfoca en diseñar y describir el funcionamiento de un controlador difuso para regular la velocidad de un motor de corriente continua (CC), el cual es ampliamente utilizado en diversas áreas, como naves espaciales, maquinaria de defensa, robótica, trenes eléctricos, vehículos eléctricos y grúas. Los resultados del controlador difuso se compararon con los de un controlador proporcional integral derivativo (PID), que se sintonizó utilizando herramientas de MATLAB. Se midieron los transitorios de la curva de velocidad del motor, como el tiempo de subida (*rise time*), el tiempo de estabilización (*settling time*) y el sobreimpulso (*overshoot*). En términos de transitorios, el controlador difuso propuesto logró mejores resultados que el controlador PID sintonizado por MATLAB.

PALABRAS CLAVE: motor de corriente continua, controlador difuso, controlador PID, base de reglas, superficie de control

FUZZY LOGIC FOR REGULATING THE SPEED OF A DIRECT CURRENT MOTOR

ABSTRACT

ABSTRACT. This study focuses on designing and describing the operation of a fuzzy controller to regulate the speed of a direct current (DC) motor, widely used in spacecraft, defense machinery, robotics, electric trains, electric vehicles, and cranes. The article compares the results of the fuzzy controller with those of a proportional integral derivative (PID) controller, which was tuned using MATLAB tools. Transients of the motor speed curve, such as rise time, settling time, and overshoot, were measured. Regarding transients, the proposed fuzzy controller achieved better results than the PID controller tuned by MATLAB.

KEYWORDS: direct current motor, fuzzy controller, PID controller, rule base, control surface

1. INTRODUCCIÓN

El sistema de control difuso es un sistema de control inteligente que no necesita conocer el modelo matemático preciso del objeto controlado. El controlador difuso tiene una gran robustez y adaptabilidad, ya sea que el objeto que se va a controlar sea lineal o no lineal (Zhu et al., 2019).

Los motores, físicamente, consisten en un estator (campo estacionario) y un rotor (campo giratorio o armadura) y funcionan a través de la interacción del flujo magnético y la corriente eléctrica para producir velocidad de rotación y torque (Almatheel & Abdelrahman, 2017). En particular, los motores de corriente continua (CC) son ampliamente utilizados en la industria porque proporcionan un alto torque teniendo un tamaño reducido (Somwanshi et. al, 2019); por ejemplo, se emplean en los molinos de laminación, procesos químicos, trenes eléctricos, manipuladores robóticos y algunos electrodomésticos (Rajagiri et al., 2019).

El control de velocidad de motores de CC ha sido un área de aplicación para muchos algoritmos metaheurísticos durante la última década, ya que proporciona una plataforma de pruebas observable para evaluaciones y comparaciones de rendimiento. El controlador para el motor puede ser de cualquier tipo, por ejemplo, PID, PID de orden fraccional (FOPID), red neuronal (NN), lógica difusa (FL) o sistema de inferencia difuso basado en red adaptativa (ANFIS) (Ekinci et al., 2021).

Se han realizado numerosas investigaciones sobre lógica difusa aplicada al control de motores de CC, como las de Somwanshi et al. (2019), Tang y Cao (2018), y Sharma y Palwalia (2017). Estos estudios diseñan un controlador difuso con dos variables de entrada (error y cambio del error) y tres variables de salida (K_p , K_I y K_D), que representan las tres ganancias de un controlador proporcional integral derivativo (PID). Utilizando estas variables de salida, se genera una señal de control que regula el motor. Estos trabajos difieren entre sí en cuanto al contenido de la base de reglas y al tipo de funciones de pertenencia empleadas para las variables de entrada y de salida. Tienen la ventaja de ser adaptables a los cambios del sistema porque sus ganancias (K_p , K_I y K_D) son autosintonizables, pero la desventaja es que su implementación es compleja.

Por otro lado, existen pocos trabajos que diseñan un controlador difuso con dos variables de entrada (error y cambio del error) y una sola salida. Un ejemplo de esto es el estudio de Almatheel y Abdelrahman (2017), quienes usan dos tipos diferentes de funciones de pertenencia (las gaussianas para las variables de entrada y las triangulares para la variable de salida). Luego, comparan sus resultados con un controlador PID obtenido a través de MATLAB, aunque no se especifican los valores de (K_p , K_I y K_D) utilizados.

En todos los trabajos mencionados anteriormente, los criterios aplicados para la construcción de las bases de reglas no están lo suficientemente detallados.

Por estas razones, en el presente artículo se describe el procedimiento de diseño de un controlador difuso sencillo que tiene como objetivo regular la velocidad de un motor de CC. Este controlador utiliza dos variables de entrada: error y cambio del error, y una variable de salida. Se emplearon funciones de pertenencia triangulares para todas las variables, y se explica detalladamente la metodología para construir la base de reglas del controlador.

Para evaluar el rendimiento del controlador difuso, se lo comparó con un controlador PID cuyos parámetros fueron sintonizados usando las herramientas de *software* de MATLAB. Asimismo, se utilizó el Sistema de Inferencia Difuso (FIS) de MATLAB para editar y probar el controlador difuso. Para demostrar la eficacia del controlador difuso con respecto al controlador PID sintonizado con las herramientas de MATLAB, se empleó el simulador Simulink.

Este artículo está estructurado de la siguiente manera: la sección 2 describe la metodología, la sección 3 presenta los resultados del estudio y la sección 4, las discusiones; finalmente, la sección 5 corresponde a las conclusiones del trabajo.

2. METODOLOGÍA

La Figura 1 muestra el sistema de control diseñado con el propósito de igualar la velocidad del motor (ω_{sal}) a la velocidad de referencia (ω_{ref}). Para lograr este objetivo, se emplea un controlador difuso, del cual se espera que sea eficiente para llevar la velocidad del motor a su valor de referencia en el menor tiempo posible y evitando grandes diferencias sobre impulsos de velocidad. En consecuencia, se busca minimizar los transitorios de tiempo de respuesta (*rise time*), sobreimpulso (*overshoot*) y tiempo de establecimiento (*settling time*), los cuales se miden con relación a la curva que describe la velocidad del motor. La acción de control difuso (SF1) se genera a partir del valor de las entradas, que son el error (E) (la diferencia entre la velocidad del motor y su referencia) y el cambio en el error (dE) (la diferencia entre dos errores consecutivos).

Para mejorar la respuesta de la velocidad del motor (ω_{sal}) y eliminar el error de estado estacionario, es decir, la discrepancia constante en el estado estable entre la velocidad del motor (ω_{sal}) y la velocidad de referencia (ω_{ref}), se ha realizado una adición a SF1 con el valor de SF2, que representa la integral de SF1. Como resultado de esta operación, se obtiene la acción de control SF3. Esta estrategia busca corregir cualquier error persistente en la velocidad del motor y asegurar que se iguale a la velocidad de referencia después de que los transitorios (*rise time*, *overshoot* y *settling time*) hayan ocurrido.

La necesidad de incorporar la integración a la salida, como se mencionó previamente, se basa en el hecho de que un controlador difuso de dos entradas (E, dE) y una salida tiene una respuesta aproximada a un controlador proporcional derivativo (PD), el cual resulta

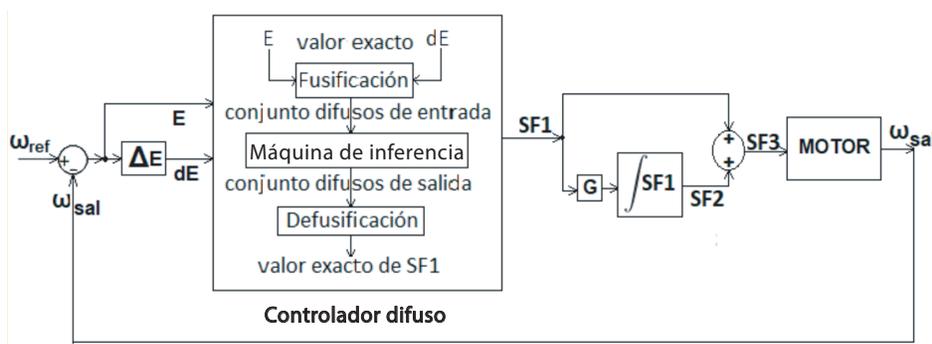
insuficiente para eliminar el error en estado estacionario. Por esta razón, al integrar la salida (al integrar a un PD), se genera una aproximación a un controlador proporcional integral (PI), capaz de eliminar el error en estado estacionario. Luego, al combinar ambos resultados (PD + PI), se consigue una aproximación de un controlador PID difuso. Es importante tener en cuenta que esta aproximación se debe a que la salida de un controlador difuso es no lineal, a diferencia de un controlador PID, que es lineal (Jantzen, 1998).

Posteriormente, mediante la variación de la ganancia G , se ha optimizado la curva de la velocidad del motor (ω_{sal}) en términos de los transitorios: *rise time*, *settling time* y *overshoot*. Esto se ha logrado con el objetivo de reducir al mínimo dichos transitorios en la respuesta del sistema.

Asimismo, se ha realizado una comparación entre el controlador difuso y un controlador PID cuando ambos manejan el mismo motor. Con el objetivo de garantizar que la comparación sea rigurosa, el controlador PID se ha diseñado empleando las herramientas de sintonización de MATLAB. La comparación entre ambos controladores se basa en determinar cuál de ellos genera en la curva de la velocidad (ω_{sal}) los valores más pequeños de los transitorios: *rise time*, *settling time* y *overshoot*.

Figura 1

Sistema de control difuso para controlar la velocidad de un motor de CC

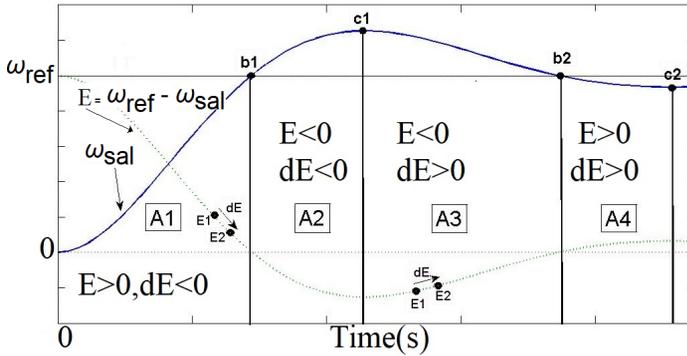


2.1 Zonas de control en un sistema de lazo cerrado

En nuestro proceso de diseño del controlador difuso, ha sido necesario tener en cuenta la respuesta típica de un sistema de control como el de la Figura 1. Esta respuesta típica se muestra en la Figura 2, donde se observa que entre el valor de la velocidad de referencia (ω_{ref}) y la curva de velocidad del motor (ω_{sal}) se pueden distinguir cuatro áreas (A1, A2, A3 y A4) delimitadas por los puntos de cruce (b1 y b2) y los puntos de pico y valle (c1, c2) (Li & Gatland, 1995). Dentro de las áreas se indican los signos que toman las variables E y dE , respectivamente.

Figura 2

Señales de ω_{sal} y E



Nota. Adaptado de "A new methodology for designing a fuzzy logic controller" (p. 508), por H. X. Li y H. B. Gatland, 1995, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 25(3).

2.2 Modelo del motor

Un controlador basado en lógica difusa no requiere el modelo matemático preciso del objeto por controlar, en este caso, el motor. Sin embargo, fue necesario el modelo matemático del motor para simular la respuesta del controlador difuso y calcular los parámetros K_p , K_i y K_D de un controlador clásico PID, que también se ha utilizado para controlar el motor y servirá como punto de comparación.

La función de transferencia en Laplace, que relaciona la velocidad del motor $\omega(s)$ con la tensión de armadura $E_a(s)$ se muestra en (1) (Hekimoğlu, 2019):

$$PS = \frac{\omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{JL_a s^2 + (BL_a + JR_a)s + (BR_a + KK_b)} \quad (1)$$

La tensión de armadura $E_a(s)$ es la generada por SF3 (véase la Figura 1) y es la que controla o regula la velocidad del motor. Para propósitos de simulación, se ha utilizado un motor de CC, como el mostrado en la Figura 3, de 620 RPM (64,93 rad/s) a 6 V. Los parámetros del motor son los siguientes:

R_a : resistencia de armadura, 1,9 (Ω)

L_a : inductancia de armadura, 0,00141859 (H)

J : momento inercia del rotor, 0,0001631 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

K : constante del torque del motor, 0,0880227 (Nm/A)

K_b : constante de fuerza contraelectromotriz, 0,0880227 (Vs/rad)

B : coeficiente fricción viscosa del motor, 0,00002711 (Nms/rad)

Figura 3

Motor de CC



Por lo tanto, reemplazando estos valores en (1), se tiene:

$$PS = \frac{\omega(s)}{E_a(s)} = \frac{0,08802}{0,0000002314 s^2 + 0,0003099 s + 0,0078} \quad (2)$$

2.3 Controlador PID sintonizado

Se ha utilizado un controlador PID para controlar la velocidad del motor y compararlo con el controlador difuso; la salida del controlador PID, representada por $u(t)$, es la que controla o regula la velocidad del motor. El controlador PID, en su forma de constante de tiempo y paralela, se expresa por (3) y (4), respectivamente.

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad (3)$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de}{dt} \quad (4)$$

Donde: K_p , K_I , K_D son las ganancias proporcional, integral y derivativa, mientras que T_i y T_d son los tiempos integral y derivativo, respectivamente. Siendo: $K_I = \frac{K_p}{T_i}$, $K_D = K_p * T_d$.

El error del sistema en el tiempo t , $e(t)$, se calcula restando de la velocidad de referencia (ω_{ref}) el valor de la velocidad $\omega_{sal}(t)$. La salida del controlador $U(s)$ en el dominio de Laplace está expresada por (5) (Johnson & Moradi, 2005):

$$U(s) = K_p + \frac{K_I}{S} + K_D S \quad (5)$$

Los valores, K_p , K_I y K_D pueden ser encontrados por varios métodos; por ejemplo, uno de los más utilizados es el de Ziegler-Nichols (Z-N). Sin embargo, no necesariamente

los valores encontrados con Z-N son los mejores, ya que necesitarán ser sintonizados. En este sentido, en este trabajo se ha preferido encontrar los parámetros del PID mediante las herramientas de sintonización de MATLAB (versión R2021a) mediante las siguientes líneas de comando:

- $C0 = \text{pidstd}(1,1,1)$; %Coloca valores iniciales $K_P=K_I=K_D=1$
- $U = \text{pidtune}(PS, C0)$; %Calcula K_P, K_I, K_D en función de la función de transferencia del motor (PS)
- $[K_P, K_I, K_D] = \text{piddata}(U)$; %Retorna los valores de K_P, K_I y K_D

Los valores encontrados son los siguientes:

$$K_P = 0,1210 \quad (6)$$

$$K_I = 6,1294 \quad (7)$$

$$K_D = 2,6531e-07 \quad (8)$$

Estos valores fueron utilizados en el controlador PID con el objeto de contrastar los resultados con los obtenidos por el controlador difuso.

2.4 Controlador difuso

El primer paso para diseñar el controlador difuso consiste en definir con precisión las variables lingüísticas, los conjuntos difusos y las funciones de pertenencia, como se describe detalladamente más adelante.

El controlador difuso, representado por el bloque "Controlador difuso" en la Figura 1, recibe del mundo real valores numéricos correspondientes a las variables lingüísticas de entrada (E, dE). Estos valores numéricos, también conocidos como *valores exactos*, son procesados dentro del controlador difuso, que a su vez genera un valor exacto en su salida, el cual tiene un impacto directo en el funcionamiento del motor. Las etapas del proceso llevadas a cabo dentro del controlador difuso (véase el bloque "Controlador difuso" de la Figura 1) son las siguientes:

1. Fusificación: en esta etapa, se toma el valor exacto de la entrada E y el valor exacto de la entrada dE; se generan los conjuntos difusos de entrada.
2. Máquina de inferencia: en esta etapa, se utilizan los conjuntos difusos de entrada para realizar inferencias y se generan los conjuntos difusos de salida.
3. Defusificación: en esta etapa, se toman los conjuntos difusos de salida y se genera un valor exacto que actúa sobre el motor.

Los términos como *valor exacto*, *conjuntos difusos de entrada* y *conjuntos difusos de salida* son comúnmente utilizados en el campo de la lógica difusa.

2.4.1 Variables lingüísticas, conjuntos difusos y funciones de pertenencia

El controlador difuso del presente trabajo tiene dos variables lingüísticas de entrada, que son el error (E) y el cambio del error (dE), y una variable lingüística de salida (SF1) (véase la Figura 1).

Para cada una de las variables lingüísticas, o simplemente variables (E, dE y SF1), se han considerado siete conjuntos difusos, que son los siguientes:

- N3: Muy negativo
- N2: Negativo
- N1: Ligeramente negativo
- Z: Cero
- P1: Ligeramente positivo
- P2: Positivo
- P3: Muy positivo

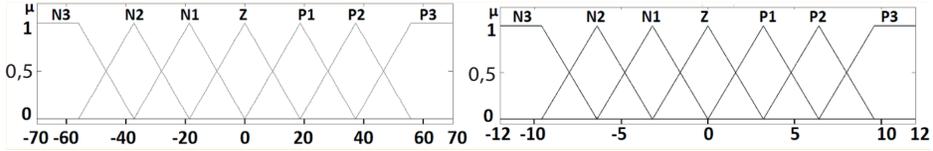
Las funciones de pertenencia de cada conjunto son triangulares, excepto en los extremos donde adoptan una forma trapezoidal. En la parte izquierda de la Figura 4, se presentan las funciones de pertenencia para los conjuntos de las variables E o dE (ambas son iguales), mientras que en la parte derecha se exhiben las funciones de pertenencia de los conjuntos de la variable SF1.

Se ha establecido un rango de -70 a 70 para el universo de discurso de las variables E (error) y dE (cambio del error). Esta elección se basa en reflejar una cifra cercana al error máximo cuando se establece la referencia de velocidad en su valor máximo ($64,93$ rad/s). Dado que la variable dE puede oscilar a un valor menor que E, se ha considerado apropiado utilizar el mismo rango de -70 a 70 para ambas variables. Esta decisión permite abarcar un amplio rango de posibles valores y asegurar que el controlador difuso pueda capturar las variaciones necesarias para un adecuado control del sistema.

En cuanto a la variable SF1, se ha utilizado un universo de discurso que abarca desde -12 V hasta 12 V. Esta elección representa el doble del intervalo de funcionamiento del motor, que va desde -6 V hasta 6 V. La razón detrás de esta decisión es obtener mejores resultados, ya que proporciona un rango más amplio para llevar a cabo los cálculos necesarios durante el proceso de defusificación de SF1. Al tener un rango más amplio, el controlador difuso puede realizar una mayor variedad de ajustes y adaptaciones en la salida, permitiendo un control más preciso y eficiente del sistema.

Figura 4

Funciones de pertenencia para las variables E y dE (izquierda) y la variable SF1 (derecha)



2.4.2 Fusificación

En la etapa de fusificación, se ha calculado el grado de pertenencia que tiene un valor exacto de la variable de entrada con una o varias de sus funciones de pertenencia, generando los conjuntos difusos de entrada. Así, por ejemplo, si la variable E presenta un valor exacto de 12 y la variable dE un valor exacto de -6 , entonces, de la Figura 5 y la Figura 6, respectivamente, se obtienen los siguientes los resultados, a los cuales se les denomina *conjuntos difusos de entrada*:

- E es Z con un grado de verdad de 0,35
- E es P1 con un grado de verdad de 0,65
- dE es N1 con un grado de verdad de 0,32
- dE es Z con un grado de verdad de 0,68

Entonces, solo están involucrados para la variable E los conjuntos difusos: Z y P1. Mientras que para la variable dE están involucrados los conjuntos difusos: N1 y Z.

Figura 5

Fusificación para $E = 12$ (rad/s)

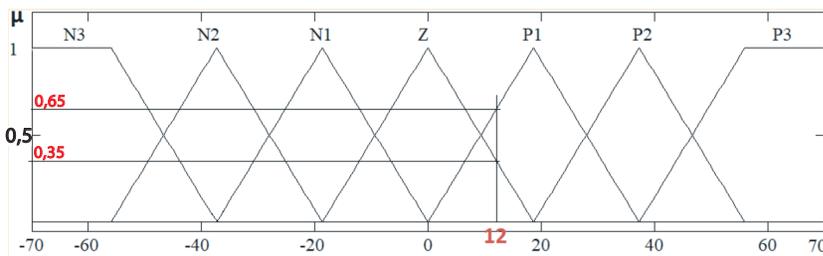
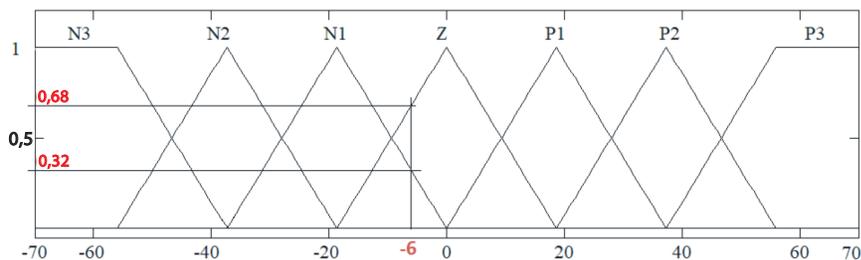


Figura 6

Fusificación para $dE = -6$ (rad/s²)



2.4.3 Máquina de inferencia

La máquina de inferencia está ligada a las reglas y, particularmente, a las reglas que se activan de acuerdo a la etapa de fusificación. Por eso, es necesario describir antes la metodología que se ha seguido para construir la base de reglas.

2.4.3.1 Base de reglas

La metodología para crear la base de reglas se fundamenta en el conocimiento que se tenga del proceso. La base de reglas es un arreglo cuyas filas y columnas son los conjuntos de las variables E y dE , y en cuyas celdas se escribe uno de los conjuntos de la variable de $SF1$.

El número total de reglas utilizadas en este trabajo es de 49 porque hay 7 conjuntos para cada variable (7×7). En la Figura 7, se muestra la base de reglas y cada regla son sentencias IF-THEN (si-entonces), por ejemplo:

IF E es $N1$ AND dE es $P2$ THEN $SF1$ es $P1$

Donde: AND es un operador de la lógica difusa, los conjuntos $N1$ y $P2$ son los antecedentes de la regla, mientras que el conjunto $P1$ es el consecuente de la regla.

El procedimiento para construir la base de reglas ha sido el de lograr una distribución de los consecuentes en las celdas, de tal manera que, al graficar E , dE y $SF1$ en un gráfico 3D, la superficie del gráfico (llamada *superficie de control*) muestre cambios graduales.

El primer paso del proceso fue completar la diagonal de la base de reglas (celdas sombreadas en la Figura 7). Esta diagonal atraviesa las áreas en la base de reglas, donde $E < 0$ ($N3$, $N2$ y $N1$), $dE > 0$ ($P3$, $P2$ y $P1$), $E > 0$ ($P1$, $P2$ y $P3$) y $dE < 0$ ($N1$, $N2$ y $N3$), que corresponden a las áreas $A1$ y $A3$ de la Figura 2, donde la salida (ω_{sal}) se está corrigiendo

en dirección a la referencia. Además, esta corrección se realiza con una velocidad (dE) proporcional al error (E), como se puede ver en la base de reglas. Por tanto, se ha creído conveniente colocar a lo largo de esta diagonal el conjunto Z .

Luego, a partir de la diagonal, en cada columna verticalmente por encima y debajo de Z , se han colocado los conjuntos difusos contiguos correspondientes, y las celdas que han quedado vacías se han completado con el último conjunto escrito. Esta distribución en la base de reglas ha generado una superficie de control con variaciones suaves de la variable $SF1$, que es lo que se deseaba (véase la Figura 8). La base de reglas resultante tiene un lógico sentido de funcionamiento. Así, por ejemplo, cuando en la base de reglas $E < 0$ y $dE < 0$, significa que se está en el sector A2 de la Figura 2, donde la velocidad del motor está alejándose por encima de la referencia; por tanto, la acción de control es $SF1 < 0$. En cambio, cuando en la base de reglas se tenga $E > 0$ y $dE > 0$, implica estar en el sector A4 de la Figura 2, donde la velocidad del motor está alejándose por debajo de la referencia; por tanto, la acción de control es $SF1 > 0$.

Figura 7

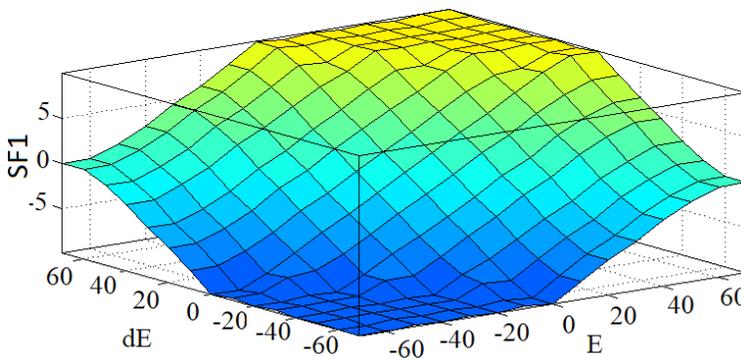
Base de reglas

		E						
		N3	N2	N1	Z	P1	P2	P3
dE	N3	N3	N3	N3	N3	N2	N1	Z
	N2	N3	N3	N3	N2	N1	Z	P1
	N1	N3	N3	N2	N1	Z	P1	P2
	Z	N3	N2	N1	Z	P1	P2	P3
	P1	N2	N1	Z	P1	P2	P3	P3
	P2	N1	Z	P1	P2	P3	P3	P3
	P3	Z	P1	P2	P3	P3	P3	P3

P1, P2 y P3 > 0 N1, N2 y N3 < 0

Figura 8

Gráfico 3D de E, dE y SF1 (superficie de control)



2.4.3.2 Inferencia

Las reglas se han evaluado con el método de mín-máx de Mamdani, que toma el mínimo de los antecedentes para determinar la fuerza de cada regla y toma la regla más fuerte de cada consecuente.

Para seguir con el ejemplo planteado, del total de las 49 reglas posibles que se tiene en la base de reglas y de acuerdo al resultado de la etapa de fusificación, solo poseen un valor numérico significativo (no nulos) aquellas reglas que tengan por antecedentes para la variable E a los conjuntos Z y P1, y para la variable dE, a los conjuntos Z y N1. Por tanto, las reglas que tendrán valor numérico significativo son las cuatro que están sombreadas en la Figura 9 y están escritas en la Tabla 1.

Figura 9

Reglas que solo tienen valor numérico para el ejemplo

		E						
		N3	N2	N1	Z	P1	P2	P3
dE	N3	N3	N3	N3	N3	N2	N1	Z
	N2	N3	N3	N3	N2	N1	Z	P1
	N1	N3	N3	N2	N1	Z	P1	P2
	Z	N3	N2	N1	Z	P1	P2	P3
	P1	N2	N1	Z	P1	P2	P3	P3
	P2	N1	Z	P1	P2	P3	P3	P3
	P3	Z	P1	P2	P3	P3	P3	P3

Tabla 1

Cuatro de las 49 reglas con valor numérico significativo

N.º	Regla
1	IF el error es Z (0,35) AND dE es N1 (0,32), THEN la SF1 es N1
2	IF el error es Z (0,35) AND dE es Z (0,68), THEN la SF1 es Z
3	IF el error es P1 (0,65) AND dE es N1 (0,32), THEN la SF1 es Z
4	IF el error es P1 (0,65) AND dE es Z (0,68), THEN la SF1 es P1

Como los antecedentes están conectados con el operador AND, las reglas asumen como resultado el valor más pequeño de los antecedentes, como se observa en la última columna de la Tabla 1. El resultado total o la salida difusa se encuentra comparando las fuerzas de todas las reglas que especifican el mismo resultado (salida). Así, se puede observar que las reglas 2 y 3 tienen por salida a Z; por tanto, la salida para Z es determinada por la regla de mayor fuerza (es más verdadera). En consecuencia, los conjuntos difusos de salida son estos:

- SF1 es N1 con un grado de verdad de 0,32
- SF1 es Z con un grado de verdad de 0,35
- SF1 es P1 con un grado de verdad de 0,65

2.4.4 Defusificación

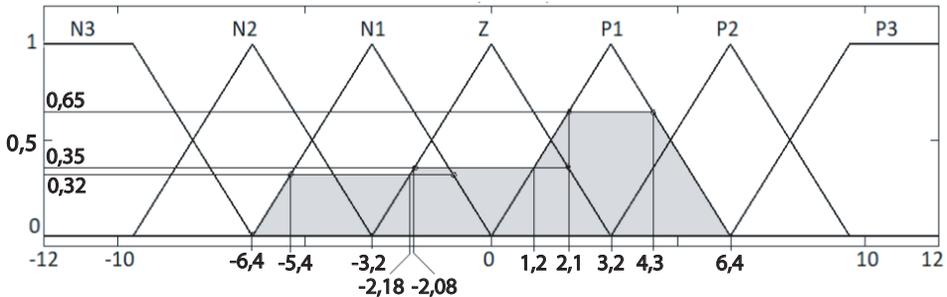
Es el proceso inverso de la fusificación. Existen varios métodos para la defusificación. En este trabajo, se ha optado por el método de centro de masa (centro de gravedad o centroide); el cálculo del centroide se realiza sobre el área determinada por la intersección de los valores de los conjuntos de salida con sus respectivas funciones de pertenencia. En (9) se muestra la fórmula aplicada:

$$SF1 = \frac{\int \mu_c(x) * x dx}{\int \mu_c(x) dx} \quad (9)$$

Continuando con el ejemplo, con los conjuntos difusos de salida del paso anterior, se intercepta a las funciones de pertenencia de salida, de manera que queda la figura geométrica que se observa en la Figura 10.

Figura 10

Defusificación para el caso del ejemplo



Luego, aplicando la fórmula (9):

$$SF1 = \frac{\int_{-5,4}^{-6,4} \left(\frac{x+6,4}{3,2}\right) x dx + \int_{-5,4}^{-2,18} 0,32x + \int_{-2,18}^{-2,08} \left(\frac{x+3,2}{3,2}\right) x dx + \int_{-2,08}^{1,2} 0,35x \dots + \int_{4,3}^{6,4} \left(\frac{6,4-x}{3,2}\right) x dx}{\int_{-6,4}^{-5,4} \left(\frac{x+6,4}{3,2}\right) dx + \int_{-5,4}^{-2,18} 0,32 + \int_{-2,18}^{0} \left(\frac{x+3,2}{3,2}\right) dx + \int_{-2,08}^{1,2} 0,35 \dots + \int_{4,3}^{6,4} \left(\frac{6,4-x}{3,2}\right) dx}$$

SF1 = 0,68

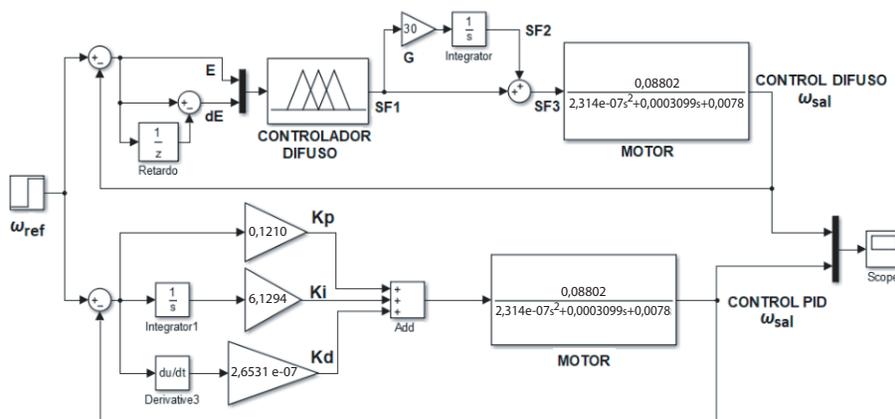
Es decir, cuando el error del sistema (E) es 12 y el cambio del error (dE) es de -6, entonces, SF1 genera una salida de 0,68 (es decir, en términos de lógica difusa, un valor exacto de 0,68). Sin embargo, según se vio en la Figura 1, SF1 por sí solo no alimenta al motor, sino que también hay una contribución de la integral de SF1; esta integración se produce continuamente, ajustando el valor resultante de SF3 y, por tanto, a la velocidad del motor (ω_{sal}); de esta manera, se mejoran los transitorios y el error de estado estacionario. El nuevo valor de la velocidad del motor (ω_{sal}) se compara otra vez con la velocidad de referencia (ω_{ref}), lo que genera un nuevo error (E) y un cambio del error (dE); todo el proceso descrito se repite continuamente.

El editor del Sistema de Inferencia Difuso (FIS) de MATLAB se utilizó para definir las variables de entrada, de salida y de las funciones de pertenencia, así como para editar la base de reglas y evaluar su respuesta de acuerdo a los valores de entrada.

El simulador Simulink de MATLAB se usó para obtener la respuesta del motor con el controlador difuso y también con el controlador PID; los parámetros del PID son los señalados en (6), (7) y (8). En la Figura 11, se muestran los bloques del simulador. La velocidad de referencia (ω_{ref}) fue establecida en 1 rad/s. Ambas respuestas, la del controlador difuso y la del controlador PID, se registraron mediante una matriz en el bloque "Scope". La matriz se exportó al ambiente principal de MATLAB y luego se la graficó mediante los comandos de "Figure" y "Plot". Los transitorios de las señales fueron obtenidos con el comando "Step info". En la Tabla 2, se aprecian los transitorios obtenidos.

Figura 11

Vista del sistema de control difuso y control PID



3. RESULTADOS

La Tabla 2 presenta una comparación entre el controlador difuso y el controlador PID sintonizado con las herramientas de MATLAB.

Tabla 2

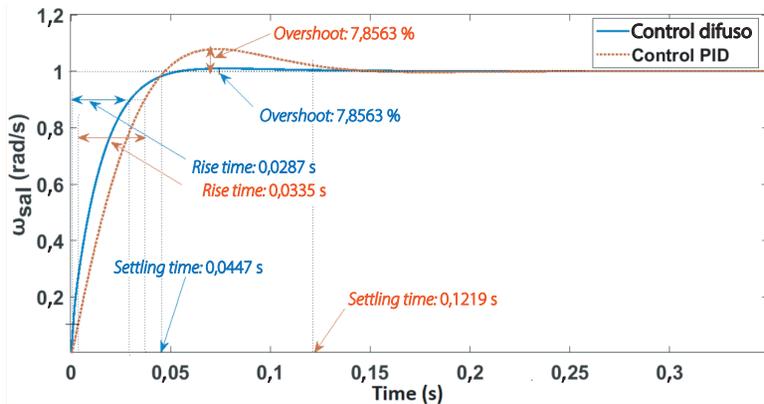
Comparación de resultados

Controlador	Rise time (s)	Setting time (s)	Overshoot (%)
Difuso	0,0287	0,0447	0,9539
PID	0,0335	0,1219	7,8563

En la Figura 12, se observan los gráficos obtenidos de la velocidad del motor para el controlador difuso y para el controlador PID, señalando los transitorios para ambos casos.

Figura 12

Respuesta del motor para el controlador difuso y el controlador PID



4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos revelan diferencias significativas entre el controlador difuso y el controlador PID:

- En términos de *rise time* (tiempo de respuesta), el controlador difuso demuestra un tiempo más corto en alcanzar la referencia en comparación con el controlador PID. Esto indica que el controlador difuso logra una respuesta más rápida y eficiente.
- El *settling time* (tiempo de asentamiento) para el controlador difuso es casi tres veces menor que para el controlador PID. Esto significa que el controlador difuso logra estabilizar la velocidad del motor de manera mucho más rápida que el controlador PID, lo que implica un mejor rendimiento en cuanto a la estabilidad del sistema.
- En cuanto al *overshoot* (sobreimpulso), el controlador difuso muestra un valor ocho veces menor que el controlador PID. Esto indica que el controlador difuso genera una respuesta más suave y con menor oscilación en la velocidad del motor en comparación con el controlador PID.

Por tanto, los resultados respaldan la eficiencia y superioridad del controlador difuso en la regulación de la velocidad del motor en comparación con el controlador PID utilizado en este estudio. El controlador difuso logra un tiempo de respuesta más rápido, un tiempo de asentamiento más corto y un menor sobreimpulso, lo que demuestra su capacidad para controlar de manera más eficaz la velocidad del motor.

5. CONCLUSIONES

Ha quedado plenamente demostrada la eficiencia del controlador difuso al generar transitorios menores en el motor en comparación con el controlador PID, el cual fue sintonizado utilizando las herramientas de MATLAB.

La adición de un integrador a la salida y la inclusión de un bloque de ganancia en el controlador difuso, ambos debidamente fundamentados, han demostrado ser elementos externos indispensables a partir de los resultados obtenidos.

Las funciones de pertenencia seleccionadas, la base de reglas diseñada y todo el diseño del controlador difuso ha quedado también debidamente justificado por los resultados obtenidos.

Se ha logrado una descripción detallada de la metodología utilizada para construir la base de reglas, abarcando todas las etapas del proceso. Este enfoque exhaustivo ha contribuido de manera significativa a la comprensión y claridad del procedimiento.

REFERENCIAS

- Almatheel, Y. A., & Abdelrahman, A. (2017). Speed control of DC motor using Fuzzy Logic Controller. En *2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE)* (pp. 1-8). IEEE.
- Ekinci, S., Hekimoğlu, B., & Izci, D. (2021). Opposition based Henry gas solubility optimization as a novel algorithm for PID control of DC motor. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, *24*(2), 331-342.
- Hekimoğlu, B. (2019). Optimal tuning of fractional order PID controller for DC motor speed control via chaotic atom search optimization algorithm. *IEEE Access*, *7*, 38100-38114.
- Jantzen, J. (1998). *Tuning of fuzzy PID controllers* [Reporte técnico n.º 98-H 871]. Technical University of Denmark, Department of Automation.
- Johnson, M. A., & Moradi, M. H. (2005). *PID control*. Springer-Verlag.
- Li, H. X., & Gatland, H. B. (1995). A new methodology for designing a fuzzy logic controller. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, *25*(3), 505-512. <https://doi.org/10.1109/21.364863>
- Rajagiri, A. K., Rani, S., & Nawaz, S. S. (2019). Speed control of dc motor using fuzzy logic controller by PCI 6221 with MATLAB. En *E3S Web of Conferences* (vol. 87, art. 01004). EDP Sciences.
- Sharma, K., & Palwalia, D. K. (2017). A modified PID control with adaptive fuzzy controller applied to DC motor. En *2017 International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control (ICICIC)* (pp. 1-6). IEEE.
- Somwanshi, D., Bundele, M., Kumar, G., & Parashar, G. (2019). Comparison of fuzzy-PID and PID controller for speed control of DC motor using LabVIEW. *Procedia Computer Science*, *152*, 252-260.
- Tang, W. J., & Cao, S. Y. (2018). A fast realization method of fuzzy PID control for DC motor. En *2018 37th Chinese Control Conference (CCC)* (pp. 5131-5135). IEEE.
- Zhu, W., Ma, X., Sun, C., & Niu, X. (2019). Design of fuzzy-PID speed controller for brushless DC motor. En *2019 3rd International Conference on Electronic Information Technology and Computer Engineering (EITCE)* (pp. 1038-1042). IEEE.

OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE VUELO PARA MÚLTIPLES DRONES EN ZONAS DE CONSTRUCCIÓN

ALVARO SOTELO VILA
alvaro_10_12@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6154-6144>
Universidad de Lima, Perú

LOURDES RAMÍREZ CERNA
lramirec@ulima.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-7927-7875>
Universidad de Lima, Perú

RESUMEN

El sector de la construcción ha encontrado en los drones una tecnología útil para la vigilancia y supervisión de obras, en especial desde la pandemia del COVID-19. Esta investigación propone el diseño de modelos de planificación de vuelo con el fin de optimizar su tiempo y velocidad. El objetivo es desarrollar un modelo que permita emplear múltiples drones para llevar a cabo tareas de supervisión en zonas de construcción. En este sentido, se presenta un modelo de programación dinámica y una metaheurística basada en algoritmo genético, ambos aplicados para la optimización de planes de vuelo con múltiples drones. Las propuestas implementadas en Python han sido probadas en 14 escenarios, incrementando gradualmente la complejidad. En todos ellos, el modelo basado en programación dinámica muestra mejoras significativas en el tiempo de planificación, obteniendo una diferencia promedio de 281,34 segundos o 4 minutos y 47 segundos, lo cual es un 98,01 % superior al algoritmo genético. Además, se observa una mejora considerable en las velocidades por segmento, lo cual se refleja en los resultados.

PALABRAS CLAVE: programación dinámica, planificador de vuelo, drones de vigilancia, algoritmo genético

FLIGHT PLAN OPTIMIZATION FOR MULTIPLE DRONES IN CONSTRUCTION SITES

ABSTRACT

The construction sector is searching for new technologies, such as drones, that prove helpful for the surveillance and supervision of construction sites, especially in pandemic situations. This research proposes designing flight planning models to optimize flight time and speed. The main objective is to develop a model that allows multiple drones to carry out supervision tasks in construction areas. In this regard, it presents a dynamic programming model and a metaheuristic based on genetic algorithms, both applied for optimizing flight plans with multiple drones. The development process involves planning the route that the drones will follow by formulating the problem with the corresponding parameters. The next step is to generate a model for the dynamic programming algorithm, which is then validated using a genetic algorithm. The proposals implemented in Python were tested in 14 scenarios, gradually increasing in complexity. The dynamic programming-based model significantly improves planning time in all scenarios, achieving an average difference of 281,34 seconds or 4 minutes and 47 seconds, 98,01 % better than the genetic algorithm. Additionally, there is a considerable improvement in segment speeds, as the results show. A paired test evaluated these advancements. The hypothesis is supported with a p-value of 0,0031 for time and 0,0071 for the gain obtained by the objective function in both cases. This confirms the superiority of the dynamic programming algorithm compared to the genetic algorithm.

KEYWORDS: dynamic programming, flight planner, surveillance drones, genetic algorithm

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción en el Perú es uno de los principales generadores de empleo anualmente, junto con la manufactura y la minería. Esto se debe a la gran inversión en infraestructura pública y bienes raíces privados. Así, en el 2014, este sector empleó a 916 000 trabajadores (Palomino et al., 2017). Por ello, es necesario supervisar constantemente las obras para garantizar el cumplimiento de las medidas de seguridad establecidas en el Decreto Supremo 011-2019-TR, publicado en el diario oficial *El Peruano* (2019), como el uso de cascos, lentes de seguridad, chalecos de alta visibilidad y zapatos de seguridad.

Una tendencia emergente para satisfacer esta necesidad es el uso de drones, cuya popularidad sigue en aumento. Albeaino y Gheisari (2021) la atribuyen a la profesionalización del conocimiento técnico requerido, a la implementación de regulaciones más estrictas que brindan confiabilidad y al incremento de políticas de seguridad. Estas últimas continúan su expansión debido a la creciente demanda de obras impulsada por la migración hacia la capital.

Los drones actualmente son utilizados por empresas de construcción en las labores de mapeos topográficos y el estudio de suelos, seguimiento de equipos, monitoreo del progreso de obra, vigilancia y seguridad, seguridad del personal e inspección de infraestructura, y fotografía (Balfour Beatty, 2017; Sando, 2021). De entre las mencionadas, el mapeo topográfico es una de las tareas más precisas para generar reportes de suelos y, por tanto, requiere de ayuda de programas y herramientas automatizadas, entre las cuales destacan los drones.

La pandemia ha sido otro impulsor del uso de drones en el sector construcción y sus planificadores, puesto que en ese momento se incrementó la cantidad de implementos necesarios para los obreros, lo cual demandaba una supervisión constante. Igualmente, era necesario mantener la medida de distanciamiento social de al menos 1,5 metros entre personas. Esto se debía a que, de acuerdo con las directrices del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2020), si un trabajador se contagia o presenta síntomas compatibles con el COVID-19, debe ser enviado a casa o acudir a un centro de salud. La normativa tuvo un impacto negativo en la industria y generó la necesidad de buscar nuevas tecnologías emergentes para mitigar los costos adicionales, pues fue necesario contratar más personal para la supervisión de las obras.

Por otro lado, la comunidad científica muestra un creciente interés académico en la creación de planificadores de vuelo. Un ejemplo destacado es el estudio realizado por Yi y Sutrisna (2021), en el que se desarrolla un modelo dinámico para abordar el entorno en constante cambio de las zonas de construcción. Además, se plantea como trabajo futuro la creación de un modelo que permita la supervisión simultánea de múltiples drones. Asimismo, el artículo de Li et al. (2019) expone una serie de *frameworks* de agrupamiento jerárquico y propone como trabajo futuro la aplicación de este enfoque para el pilotaje de

drones en edificios o lugares más estrechos. En este sector, se utilizan también nuevas tecnologías, como los drones de vigilancia, para llevar a cabo proyectos de gran envergadura. De acuerdo con Fan y Saadeghvaziri (2019), se espera que en la próxima década este mercado genere una rentabilidad de 45 000 millones de dólares.

Por lo tanto, resulta imperativo desarrollar un *software* de planificación de vuelo que pueda abordar estos problemas. Aunque existen numerosos algoritmos y planificadores de rutas para diversos ámbitos, se requiere uno capaz de monitorear múltiples drones y abarcar un terreno más extenso. Por esta razón, esta investigación tiene como objetivo abordar la brecha existente en cuanto a un planificador de vuelo para múltiples drones en el sector de la construcción.

Este trabajo cobra relevancia en medio de los avances en tecnologías que permiten viajes complejos para vehículos como los UAV (vehículos aéreos no tripulados, por sus siglas en inglés). El Departamento de Ingeniería Aeroespacial de la Universidad de Maryland destaca el rápido progreso de tecnologías como la microelectrónica y la creciente demanda por desarrollar pilotos automáticos más pequeños y ligeros para permitir la operación de vehículos aéreos con mayor dinámica, tal como mencionan Hrishikeshavan y Chopra (2017).

Según Criado y Rodríguez Rubio (2015), también existe un impacto positivo en industrias y personas interesadas en el entretenimiento con drones. Además, el uso de drones fomenta un impacto ambiental positivo al descongestionar el tráfico en las ciudades y reemplazar métodos de entrega más tradicionales, lo cual reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y mejora la eficiencia del transporte (Doole et al., 2020).

En este trabajo se presenta un modelo de programación dinámica y un algoritmo genético diseñados para su aplicación en zonas de construcción, con el fin de realizar funciones de supervisión. Estos algoritmos buscan optimizar las labores de supervisión en función del tiempo y la velocidad que cada dron requiere en diferentes partes del trayecto. Además, permiten la coordinación de varios drones simultáneamente y consideran otras restricciones necesarias para el correcto funcionamiento del vuelo. Como resultado de esta optimización del vuelo, se logra reducir costos como el consumo de combustible, el tiempo de vuelo y, en última instancia, los costos operativos.

El presente documento se estructura de la siguiente manera: la sección 1 es la introducción; la sección 2 abarca el estado del arte y las investigaciones previas relacionadas; la sección 3 describe la metodología utilizada; la sección 4 presenta los resultados obtenidos; la sección 5 discute los resultados previos; y, finalmente, la sección 6 presenta las conclusiones del estudio.

2. ESTADO DEL ARTE

En el estado del arte, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura relacionada con los algoritmos de planificación de vuelo. En esta categoría, se encontraron numerosos estudios que emplean diversos tipos de algoritmos, los cuales fueron clasificados según la tipología propuesta por Hromkovič (2013) en algoritmos deterministas, heurísticos y de aproximación.

2.1 Deterministas

2.1.1 *Branch and bound*

En el artículo de Poikonen et al. (2019), se aborda un problema similar al planteado por Schermer et al. (2020), conocido como el problema del viajante de comercio con drones (TSP-D, por sus siglas en inglés), en el cual una serie de drones se encargan de distribuir pedidos desde un camión. Para resolver este problema, se propone un modelo basado en el método de *branch and bound*.

En este caso, se establecen rutas predefinidas hacia los puntos de entrega, similares a un grafo. El dron se dirige a los puntos marcados a partir de una raíz que contiene los dos puntos más cercanos al dron. Luego, se crean ramificaciones donde se copian los valores de la instancia anterior y se agrega el nuevo punto de entrega. El objetivo final es lograr que el dron visite todos los puntos de entrega minimizando el tiempo que requiere para ello. Con este fin, se selecciona la ramificación que cumpla con otras condiciones, como la capacidad de la batería del dron.

Comparando el TSP con el TSP-D, se obtiene que, para todos los escenarios, excepto cuando el número de instancias es 12, el valor objetivo se reduce en al menos un 30 %, al igual que el tiempo promedio de finalización, que se reduce en un 40 %. Un posible trabajo futuro consiste en mejorar el modelo al agregar múltiples puntos de inicio y fin, lo que implica el uso de múltiples camiones y clientes, a diferencia del enfoque presentado en este artículo, donde se establece una zona de partida y llegada para cada dron.

2.1.2 *Programación lineal*

El artículo de Wankmüller et al. (2020) presenta un enfoque para calcular las variables de vuelo necesarias para el despliegue de drones con desfibriladores en operaciones de rescate en los Alpes. El estudio propone un modelo de optimización lineal que determina qué dron es el más adecuado para responder a una solicitud de ayuda, basándose en la proximidad geográfica. Para ello, se consideran las velocidades de vuelo del dron en cada eje espacial, junto con la distancia, para calcular el tiempo estimado de llegada al destino, que es la función que se busca minimizar.

Además, se establecen restricciones como la capacidad de atender solo una solicitud a la vez y un número limitado de locales con una cantidad limitada de drones disponibles. Utilizando una configuración base de 36 drones, se lograron tiempos de viaje de 05:27 minutos en promedio a los sitios de los pacientes. Esto permitió que el 50 % reciba un desfibrilador externo automatizado (DEA) dentro de los 05:00 minutos, lo que se traduce en una tasa de supervivencia estimada que oscila entre el 50 % y el 70 % si se proporciona resucitación cardiopulmonar (RCP) de inmediato.

Por otro lado, en el artículo de Schermer et al. (2020) se propone un sistema que utiliza drones y camiones para resolver una variante del problema del viajante de comercio (*traveling salesman problem* [TSP]), llamada problema de ubicación de estaciones para el viajante con drones (*traveling salesman drone station location problem* [TSDSLP]). Este sistema combina un camión y un dron para realizar entregas.

Para resolver este problema, se emplea un modelo de programación lineal que determina la mejor ruta para el camión, que se desplaza por la ciudad hacia las estaciones de abastecimiento, mientras el dron realiza las entregas a los clientes. Se asume que los clientes son capaces de recibir los paquetes entregados por el dron. La función objetivo del modelo es minimizar el tiempo total del proceso de distribución y los costos asociados, teniendo en cuenta variables como la operatividad de las estaciones y la velocidad del camión, entre otros.

Los resultados muestran que, a medida que aumenta el número de estaciones, los costos disminuyen significativamente, con ahorros superiores al 50 % al usar tres estaciones en comparación con el 30 % obtenido con una sola estación. Además, el alcance de los drones en relación con el camión influye considerablemente en los costos. Al usar un alcance de 8 unidades, el ahorro se reduce a menos del 20 % al utilizar tres estaciones. Sin embargo, uno de los principales problemas señalados por los autores es que los solucionadores estándar solo pueden resolver instancias pequeñas del TSDSLP, lo que impide abordar escenarios más grandes, como un sitio de construcción o múltiples drones trabajando simultáneamente, a diferencia de lo presentado en este trabajo.

En el artículo de Nguyen et al. (2022), se plantea un problema similar basado en el TSP llamado problema de enrutamiento de vehículos paralelo con programación de drones de costo mínimo (*parallel drone scheduling vehicle routing problem* [PDSVRP]). En este sistema, que implica la interacción de camiones y drones para las entregas, los drones compiten con los camiones para realizar las entregas.

Para resolver este problema, se utiliza un modelo de programación entera con el objetivo de minimizar el costo total de entrega de los pedidos, específicamente el costo operativo. Se emplea el método *slack induction by string and sweep removals* (SISSRs) y se aplican restricciones adicionales relacionadas con la capacidad de los drones y camiones, y el nivel de combustible, entre otras. Se realizaron 10 iteraciones y se

mejoraron 7 soluciones encontradas en la literatura con la prueba de ejecución única, obteniendo un total de 26 nuevas soluciones.

En particular, se compararon los resultados con otros dos artículos y sus respectivos escenarios, y se observó una diferencia de hasta el 1,2 % en los valores objetivo. Sin embargo, también se hallaron escenarios en los que se consiguió la misma solución óptima, sin ninguna diferencia en los valores objetivo (brecha de 0 %).

2.1.3 Programación dinámica

El artículo de Yi y Sutrisna (2021) propone un modelo de programación de drones para la vigilancia efectiva de sitios de construcción. El enfoque desarrollado se basa en la programación dinámica, lo que permite resolver el problema de manera eficiente. Para aplicar este enfoque, se discretizaron los valores de la energía de la batería, el tiempo de vuelo y la velocidad de vuelo. Se planteó un caso de estudio utilizando las zonas de construcción y mantenimiento de la Universidad Massey para demostrar la aplicabilidad del modelo y algoritmo propuestos. Un trabajo futuro sugerido por los autores es adaptar este modelo para el uso de múltiples drones simultáneamente.

Para comparar los resultados de los diferentes casos, se utilizó una heurística y un modelo de programación dinámica que exploró todas las posibles combinaciones de velocidades, considerando condiciones como la velocidad máxima. Los resultados demostraron claramente la superioridad del método de programación dinámica propuesto, con una mejora máxima del 430 % en comparación con el algoritmo de programación heurística. En general, se observó una mejora promedio del 293 % en todos los escenarios. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, este modelo no es adecuado para abordar el uso de varios drones, lo cual limita sus aplicaciones en términos de distancias y tiempos frente al modelo presentado en este trabajo.

Por su parte, el artículo de Bouman et al. (2018) aborda otro problema de TSP-D utilizando un modelo de programación dinámica. En este caso, se divide el problema en partes, donde la ruta del dron se considera el problema principal y la ruta del camión que transporta al dron se considera un subproblema. Las distancias y los puntos de entrega ya están predefinidos.

Para el problema de los drones, se utiliza un algoritmo que busca los valores óptimos del dron al calcular variables como el tiempo, la batería y la velocidad. El segundo problema consiste en hacer que el camión intercepte la ruta del dron, que ya fue definida en el subproblema anterior. Se debe considerar el tiempo de entrega y minimizarlo, con la restricción de seguir la ruta del dron. Se observa que, cuando solo hay 10 nodos para recorrer, la programación dinámica obtiene mejores resultados que la programación lineal frente a otro artículo utilizado para la comparación.

Sin embargo, a medida que aumenta el número de nodos, el tiempo de ejecución crece exponencialmente y muestra una diferencia de hasta 47 minutos en comparación con el artículo de referencia en el escenario sin camiones y 20 nodos, e incluso supera las 12 horas de procesamiento en el caso de 4 camiones y 20 nodos. En este artículo, también se plantea como trabajo futuro la inclusión de múltiples drones en el modelo, ya que debido a que comienzan y terminan en el mismo punto, esto debería ser factible, un aspecto que se aborda en el presente estudio.

2.2 Metaheurísticas

El artículo de Khan et al. (2021) se centra en la mejora del transporte médico a través de drones. Su objetivo es utilizar drones médicos para transportar equipo de primeros auxilios, evitando así los problemas de tráfico que pueden retrasar la atención médica. Para lograr esto, propone cuatro algoritmos diferentes: el problema de enrutamiento de vehículos capacitado (CVRP, por sus siglas en inglés), la optimización de enjambre de partículas (PSO, por sus siglas en inglés), la optimización de colonias de hormigas (ACO, por sus siglas en inglés) y el algoritmo genético (GA, por sus siglas en inglés).

El modelo matemático que los algoritmos utilizan para calcular la ruta óptima tenía como función objetivo minimizar el costo de movilizar el dron de un paciente a otro, es decir, la distancia. Además, se plantearon cuatro premisas para generar las restricciones:

1. Formular un conjunto de rutas con costos mínimos.
2. Cada dron tendrá asignada una ruta.
3. Cada paciente será visitado una sola vez.
4. Cada ruta comienza en el nodo 0 y termina en el nodo $n + 1$.

Se realizaron pruebas comparativas entre los distintos algoritmos, ingresando el modelo y los parámetros correspondientes. En términos de tiempo de planificación, se encontró que tanto el CVRP como el GA obtuvieron los mejores resultados. Específicamente, el CVRP demostró una mejora en el tiempo de ejecución de hasta 0,05 segundos en comparación con el GA en todos los escenarios analizados. Además, se logró obtener los mismos costos en todos los casos. Vale mencionar que la capacidad del vehículo se considera una restricción importante, ya que al reducirse a la mitad (de $q = 20$ a $q = 10$), se observó una disminución del 50 % en el tiempo de ejecución.

Por otro lado, el artículo de Fu et al. (2012) aborda un propósito diferente, enfocándose en el planificador de rutas de drones para evitar obstáculos, particularmente radares terrestres. En este caso, se utiliza un método basado en algoritmos genéticos y se emplea una función que maximiza la distancia con los obstáculos sin alejarse demasiado de los *waypoints*.

El algoritmo propuesto consta de tres etapas principales. En la primera, se calcula la distancia con los obstáculos; en la segunda, se calcula la distancia entre el *waypoint* previo y el posterior; y en la tercera, se divide la primera ecuación entre la segunda y se multiplica por un factor de proporción para obtener la función objetivo. Además, se proponen ciertos parámetros iniciales, como un número de generaciones de 1000 y un porcentaje de mutación del 5 %.

En los experimentos realizados, se observó que el número de generaciones necesario para obtener un resultado satisfactorio fue de 15 por obstáculo, lo que demuestra la eficacia del algoritmo para evitar obstáculos de manera efectiva.

2.3 Algoritmos de aproximación

En el trabajo de Lee y Cha (2020), se presenta un enfoque para optimizar la ruta en vuelos autónomos de drones de vigilancia utilizando el aprendizaje reforzado. El objetivo del estudio es permitir que el dron de vigilancia encuentre de manera autónoma la ruta óptima mediante el uso de un algoritmo de aprendizaje propuesto.

Para lograr este objetivo, se mejora el aprendizaje por refuerzo tradicional mediante la optimización de parámetros claves, como el coeficiente de tasa de aprendizaje, los criterios de convergencia y la detección de convergencia de errores para los procesos de políticas *greedy*. Estas políticas, también conocidas como aproximaciones simples, implican seleccionar aleatoriamente un valor dentro de un conjunto y ajustarlo a medida que se realizan iteraciones. La detección de convergencia de errores es un método de aprendizaje que proporciona retroalimentación sobre los valores generados por las políticas *greedy*.

En el trabajo se logra un resultado de simulación que consistió en 500 intentos con un solo dron de vigilancia en un área de cuadrícula desconocida. Se obtuvo una ganancia promedio de 500 con una desviación estándar de 2,82, utilizando un *learning rate* de 0,891. Este resultado se comparó con otro artículo, donde la principal diferencia radicaba en el número de iteraciones, con una ventaja de 69 147 iteraciones menos a favor del modelo propuesto.

2.4 Consideraciones finales

En esta sección, se destacan los trabajos futuros que se enfocan en mejorar la eficiencia de los algoritmos de planificación de rutas de drones. Por ejemplo, Bouman et al. (2018) plantean en el futuro la búsqueda de un algoritmo de programación dinámica con el objetivo de planificar rutas óptimas para múltiples drones, teniendo en cuenta restricciones de energía y tiempo de vuelo. De manera similar, Yi y Sutrisna (2021) también adoptan este enfoque en su artículo.

Por otro lado, en el artículo de Poikonen et al. (2019), se sugiere como trabajo futuro resolver el problema de la planificación de rutas de drones con múltiples puntos de lanzamiento y aterrizaje. Para abordar este desafío, los autores proponen utilizar una técnica de ramificación y acotamiento con el fin de encontrar soluciones óptimas.

En general, estos trabajos futuros tienen como objetivo mejorar la capacidad de los modelos de planificación de rutas al incrementar el número de drones y puntos de salida y llegada. En este sentido, el presente trabajo aborda ambos aspectos mediante la implementación de segmentos y la capacidad añadida al planificador de dividir los viajes y obtener una ruta para más de un dron.

3. METODOLOGÍA

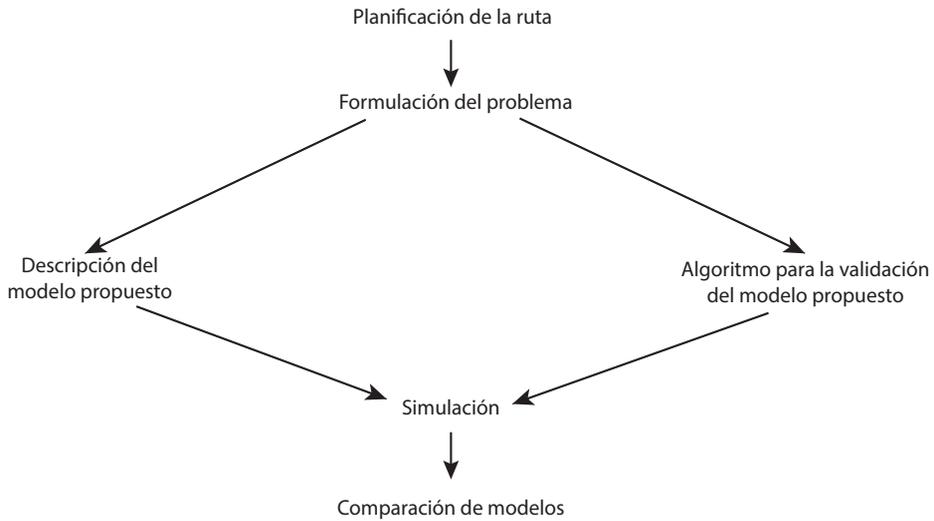
La metodología utilizada en este estudio se basa en los artículos de Yi y Sutrisna (2021) y de Khan et al. (2021), lo que implica un total de cinco etapas. En la primera, se realiza la planificación de la ruta sobre la cual se construirán los planes de vuelo, al mismo tiempo que se recopila información técnica sobre el vuelo de los drones, como la distancia mínima entre ellos, la velocidad, el consumo de energía, la aceleración y la velocidad mínima de viaje por segmento.

En la segunda etapa, se formula el problema identificando las variables y restricciones que se utilizarán para construir el modelo. Luego, en la tercera etapa, se desarrolla el modelo en sí. Dado que se hará una comparación entre algoritmos, en la siguiente etapa se describen los dos modelos propuestos: el algoritmo de programación dinámica y el algoritmo genético.

Finalmente, se añade una etapa en la que se implementan ambas propuestas en diferentes escenarios, con el objetivo de explicar posteriormente los resultados obtenidos. Todo este proceso se presenta de manera esquemática en la Figura 1.

Figura 1

Diagrama de flujo de la metodología propuesta



3.1 Planificación de la ruta

Para llevar a cabo la experimentación, se utilizó como modelo de construcción la zona en obras de la Universidad de Lima. Se seleccionó una ruta frecuente para la toma de videos con fines de supervisión de obra y fotogrametría. El mapa de esta zona se construyó utilizando la herramienta DroneDeploy, con una altitud de 80 metros y considerando la prevención del terreno. Se estableció una superposición frontal del 75 % y una superposición lateral del 70 %. El resultado de este proceso se muestra en la Figura 2, junto con las distancias correspondientes que se detallan en la Tabla 1.

En la Figura 2, se puede observar una ruta representada por líneas verdes paralelas, generadas mediante la herramienta mencionada anteriormente. Cada segmento de la ruta, denominado k , está compuesto por una línea vertical y otra que lo conecta con el siguiente segmento. Se han obtenido los primeros seis segmentos de la ruta, los cuales se detallan en la Tabla 1 y se grafican en la Figura 3. Con fines experimentales,

se han utilizado las velocidades mínimas descritas en el artículo de Yi y Sutrisna (2021).

Figura 2

Mapa de ruta de drones

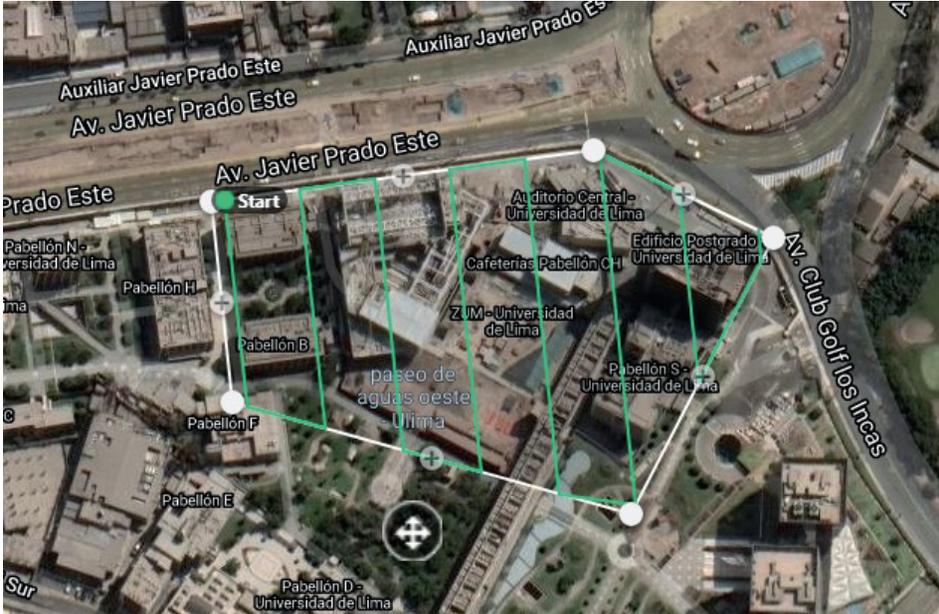


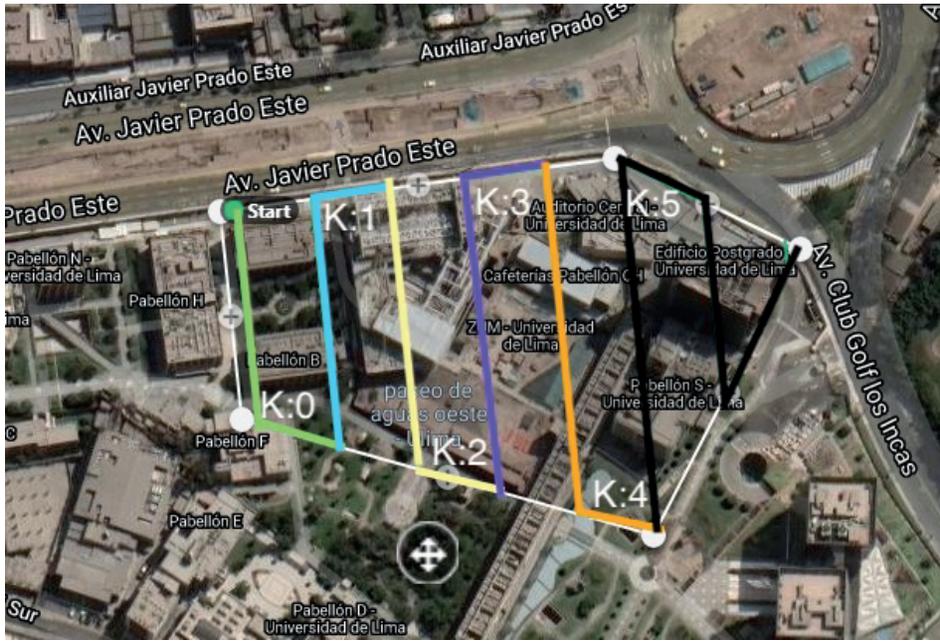
Tabla 1

Distancia por segmento

Nombre	Distancia (m)	Tiempo (min)
K = 0	106	428,62
K = 1	116	282,38
K = 2	136	250,48
K = 3	145	233,34
K = 4	157	196,16
K = 5	305	183,16

Figura 3

Detalle de mapa por segmento



3.2 Descripción del modelo propuesto

Para determinar las variables necesarias, se tomarán en consideración aquellas utilizadas por Yi y Sutrisna (2021), junto con el dron profesional de referencia, el Mavic 2 Pro DJI, de DJI (2020). Las variables se presentan en la Tabla 2.

El dron seleccionado posee tres velocidades de vuelo, y para la simulación se utilizará el modo P o normal, con una velocidad máxima de $V_{\max} = 8 \text{ m/s}$. Además, tiene una batería con capacidad de $Q = 59,29 \text{ Wh}$, una aceleración de $\alpha, \beta = 2 \text{ m/s}^2$, y un consumo extra de energía de $\rho^1 = 5 \text{ W}$ al acelerar y $\rho^1 = -2 \text{ W}$ al desacelerar.

Tabla 2

Variables

Variable	Nombre
Q	Batería total
α	Aceleración
β	Desaceleración
T	Tiempo máximo
ρ^1	Consumo de energía cuando α o $\beta \neq 0$
ρ^2	Consumo de energía cuando α o $\beta = 0$
V_{\max}	Velocidad máxima
V_{\min}	Velocidad mínima
t_k	Tiempo por segmento
p_k	Tiempo mínimo por segmento

El modelo que se va a usar está basado en el propuesto por Yi y Sutrisna (2021), cuya función de ganancia está en la ecuación 1, donde p_k es el tiempo mínimo que el dron debe pasar por una determinada superficie y t_k es el tiempo que realmente usa; eso quiere decir que lo que se busca es maximizar el tiempo sobrante que un dron tiene para recorrer el área, por tanto, p_k no debe sobrepasar t_k , como se observa en la ecuación 3. Para abordar el problema, se divide el recorrido en segmentos $K = 0 \dots k$ de medida l . La capacidad energética del dron está dada por $Q(Wh)$, la velocidad es $V_{\min} < v_k < V_{\max}$. (como se observa en la ecuación 11); cuando el dron vuela de manera constante, la velocidad puede variar ligeramente, así que depende de la función $F(v)$; en esta primera prueba: $F(v) = v$ y la velocidad del primer segmento será la obtenida por la primera iteración del modelo, como en la ecuación 7. La aceleración es marcada por $\alpha(m/s^2)$ y la desaceleración por $\beta(m/s^2)$; esto será de utilidad junto con el gasto de energía por aceleración $\rho1(W)$ y $\rho2(W)$ por desaceleración. Además, existe un tiempo máximo mostrado por la ecuación 6 y uno inicial dado por la ecuación 4, mientras el tiempo de cada segmento está dado por las ecuaciones 2 y 5.

$$Ganancia \begin{cases} -\infty, & \text{si } t_k < p_k \\ p_k * (t_k - p_k), & \text{si no} \end{cases} \quad (1)$$

$$t_k \begin{cases} \frac{v_k - v_{k-1}}{\alpha} + \frac{l_k - l_{k-1} - \frac{v_k^2 - v_{k-1}^2}{2\alpha}}{v_k} & \text{si } v_k \geq v_{k-1} \\ \frac{v_k - v_{k-1}}{\beta} + \frac{l_k - l_{k-1} - \frac{v_k^2 - v_{k-1}^2}{-2\beta}}{v_k} & \text{si no } k = 1, \dots, K \end{cases} \quad (2)$$

$$t_k \geq p_k, k = 1, \dots, K \quad (3)$$

$$T_0 = 0 \tag{4}$$

$$T_k = T_{k-1} + t_k, k = 1, \dots, K \tag{5}$$

$$T_k \leq T \tag{6}$$

$$v_0 = v_k \tag{7}$$

La energía consumida viene siendo dada por q_k^1 en caso de aceleración (ecuación 8) o desaceleración, y por q_k^2 (ecuación 9) en velocidad constante, ambos en Wh. Estos no pueden consumir más batería de la que tiene el dron con la ecuación 10.

$$q_k^1 = \left\{ \rho_1 \frac{v_k - v_{k-1}}{\alpha}, \text{ si } v_k \geq v_{k-1} \rho_2 \frac{v_k - v_{k-1}}{-\beta}, \text{ si no } k = 1, \dots, K \right. \tag{8}$$

$$q_k^2 = \left\{ F(v_k) \left(l_k - l_{k-1} \frac{(v_k)^2 - v_{k-1}^2}{2\alpha} \right), \text{ si } v_k \geq v_{k-1} F(v_k) \left(l_k - l_{k-1} \frac{(v_k)^2 - v_{k-1}^2}{-2\beta} \right), \text{ si no } k = 1, \dots, K \right. \tag{9}$$

$$\sum_{k=1}^k (q_k^1 + q_k^2) \leq Q \tag{10}$$

$$V_{\min.} \leq v_k V_{\max.}, k = 1, \dots, K \tag{11}$$

Estas restricciones solo aplican para un único dron, por lo que se deben agregar ciertas consideraciones para poder implementar más drones. Una de ellas es que la ruta deberá ser dividida en la cantidad de drones que se usarán y se debe mantener un área de seguridad para cada dron para evitar interferencias. Para solucionar este problema, se deben crear variables que denominan cuántos drones existen, siendo n el número de drones y k_n el número de segmentos que le corresponden a cada dron. Además, se añaden las variables ta y la , que representan el tiempo que consume cada dron por segmento y la distancia de cada dron por segmento, las cuales se definen respectivamente por las ecuaciones 12 y 13, y 14 y 15. Otra restricción es que las velocidades no pueden sobrepasar los límites de $V_{\max.}$ y $V_{\min.}$, parámetros que se muestran en la ecuación 11. Por último, la lógica para la restricción implica saber la distancia acumulada de los segmentos y el tiempo acumulado; en el caso de que el tiempo acumulado en un dron sea menor que el tiempo acumulado del siguiente dron, se comparan sus distancias acumuladas y se verifica que sean menores que D , la distancia mínima entre drones; esto se comprueba en la ecuación 16.

$$ta_{n,1} = t_{1+n\frac{K}{N}}, n = 1 \dots N \quad (12)$$

$$ta_{n,kn} = t_{1+n\frac{K}{N}} + ta_{n,kn-1}, n = 1 \dots N, kn = 2 \dots K/N \quad (13)$$

$$la_{n,1} = l_{1+n\frac{K}{N}}, n = 1 \dots N \quad (14)$$

$$la_{n,kn} = l_{1+n\frac{K}{N}} + la_{n,kn-1}, n = 1 \dots N, kn = 2 \dots K/N \quad (15)$$

$$la_{n,kn} - la_{n-1,kn} < D, \text{ si } ta_{n,nk} > ta_{n-1,nk}, n = 2 \dots N, kn = 1 \dots K/N \quad (16)$$

Finalmente, las ecuaciones se resuelven utilizando la ecuación 1 y se obtiene el siguiente resultado:

$$V_k(v_0, Q_{k-1}, T_{k-1}, v_{k-1}) = \text{máx.}_{v_k} p_k(t_k - p_k) \quad (17)$$

Al ser dos drones, se dividirán los segmentos a la mitad. El inicio del primero es en $k = 0$ y termina en $k < K/2$, y el segundo dron iniciaría en $k < K/2$ y terminaría en $k = K/2$. Esto deja el algoritmo propuesto en la Figura 4.

Figura 4

Algoritmo propuesto

Algoritmo 1 Algoritmo propuesto

Para cada v_0^1 *en* $V_{\min.}, \dots, V_{\max.}$ **hacer:**

Para cada k *en* $K/2, \dots, 1$ **hacer:**

Si $k \in \{k - 1, \dots, 1\}$ **entonces:**

Enumere todos los valores posibles de Q_{k-1}^1 , t_{k-1}^1 y v_{k-1}^1 , donde $Q_{k-1}^1 \in \{0, \dots, Q\}$, $t_{k-1}^1 \in \{0, \dots, T\}$ y $v_{k-1}^1 \in \{V_{\min.}, \dots, V_{\max.}\}$. Para cada $(v_0^1, Q_{k-1}^1, t_{k-1}^1, v_{k-1}^1)$, resuelva la ecuación 17.

Fin Si

Fin para cada

Fin para cada

Para cada v_0^2 *en* $V_{\min.}, \dots, V_{\max.}$ **hacer:**

Para cada k *en* $K/2, \dots, 1$ **hacer:**

Si $k \in \{k - 1, \dots, 1\}$ **entonces:**

Enumere todos los valores posibles de Q_{k-1}^2 , t_{k-1}^2 y v_{k-1}^2 , donde $Q_{k-1}^2 \in \{0, \dots, Q\}$, $t_{k-1}^2 \in \{0, \dots, T\}$ y $v_{k-1}^2 \in \{V_{\min.}, \dots, V_{\max.}\}$. Para cada $(v_0^2, Q_{k-1}^2, t_{k-1}^2, v_{k-1}^2)$, resuelva la ecuación 17.

Fin Si

Fin para cada

Fin para cada

3.3 Algoritmo genético propuesto

El algoritmo genético está compuesto por las mismas condiciones que el algoritmo de programación dinámica, pero se utiliza la función de ganancia para obtener el *fitness*. Este se encuentra en el algoritmo de la Figura 5.

Crear población inicial: para la población inicial, se genera de manera aleatoria un conjunto de individuos que estén dentro del rango de velocidades V . El número de individuos se da por el tamaño_población. Estas velocidades se encuentran en el rango que permiten los drones profesionales Mavic DJI (2020).

Crear plan: una vez obtenida la población inicial de velocidades, se les aplicará las ecuaciones del modelo para obtener la ganancia, que posteriormente serán guardadas en un arreglo llamado *fitness*. Después, se verifican las restricciones y en caso de que no se cumpla alguna se reemplaza el valor del arreglo por 0. De esta manera, se asegura que toda la descendencia cumpla las restricciones. Por último, se promedian los valores del *fitness*.

Cruzamiento: se emparejan los individuos aptos tomándolos por pares. Aquellos que presenten un mayor valor en el arreglo tienen una mayor probabilidad de ser seleccionados. Posteriormente, se genera una descendencia combinando la mitad de las velocidades del primer padre con las del segundo.

Mutación: finalmente, se generará una mutación con una probabilidad de 0,05 similar al de Fu et al. (2012).

Se creó una función de parada que tiene como condición que el individuo con mayor ganancia sea por lo menos 90 % tan alto como el obtenido por el algoritmo de programación dinámica. Esto no es necesario para el modelo de programación dinámica porque, en ese caso, se produce una sola respuesta posible al final de las iteraciones, mientras que la respuesta del algoritmo genético puede variar dependiendo de los parámetros iniciales y de las generaciones que necesite (esto se corrige con la función de parada explicada anteriormente).

Es importante señalar que el algoritmo genético genera diferentes métricas en cada lanzamiento; por ello, se realizó una función que genera varias iteraciones para cada escenario. Posteriormente, se analizan los datos usando estadística descriptiva (media, máximo, mínimo y desviación estándar).

Figura 5

Algoritmo genético

Algoritmo 2 Algoritmo genético

```
fitness = [ ]
descendencia = [ ]
población ← CrearPoblación(K, V, tamaño_población)
Mientras fitness < (maxGanDina * 0.999) hacer:
    Para cada v en población hacer:
        plan ← CrearPlan(v)
        Si plan cumple las restricciones entonces:
            fitness ← plan resolver 1
        Si no:
            fitness ← 0.0
        Fin si

    fitness ←  $\sum$  fitness / tamaño_población

    Para cada i en tamaño_población / 2 hacer:
        padres ← Escoger 2 padres aleatorios
        padres = CrossPoint(padres)
        descendencia ← padres

    Fin para cada
    Población = descendencia
    Mutar(población)

Fin para cada
Fin
```

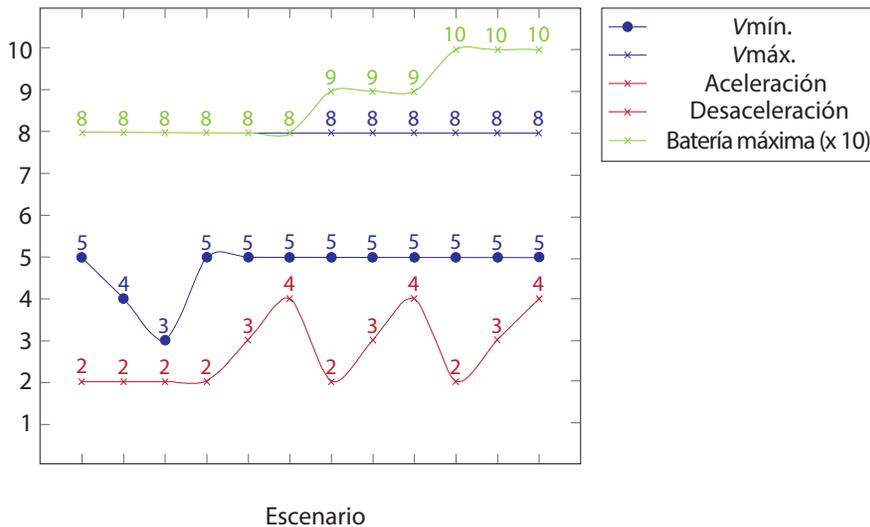
4. RESULTADOS

La implementación se hizo en Python usando un procesador AMD A10-9600P Radeon R5, 16 GB RAM, GPU: NVIDIA Rtx 3070. La complejidad de un escenario está basada en los siguientes factores: la velocidad de desplazamiento de un dron y el número de segmentos de un área geográfica. Para la prueba de concepto, se considera el campus universitario de la sede principal de la Universidad de Lima, ubicada en Surco. Esta área geográfica se ha distribuido en seis segmentos, como se observa en la Figura 2 y cuyas medidas están en la Tabla 1. Cabe destacar que esta distribución fue tomada considerando las características del dron Mavic 2 Pro. Entre las restricciones, se encuentran las de aceleración y desaceleración, las cuales son de 2 m/s^2 ; el consumo de batería, que va a razón de 5 Wh; y una batería de 80 Wh. También se usó como referencia la distancia mínima de la Tabla 1 para la distancia mínima entre dos drones, siendo esta de 106 metros. El número de posibles respuestas, en este caso, será una variación con repetición de velocidades con respecto a segmentos, o por sus siglas VR.

Debido a lo mencionado anteriormente, los escenarios irán aumentando en complejidad con el fin de evaluar el rendimiento de los modelos. Para ello pueden modificarse dos *inputs*: velocidad o segmentos. En esta ocasión, se modificó las velocidades: en el escenario 1, el rango de velocidades será de 4; en el 2, será de 5; y en el 3, será de 6, como se muestra en la Tabla 3. Esto hará que la complejidad aumente, ya que las posibles respuestas serán de 4VR6, 5VR6 y 6VR6. Además, se crearon más escenarios aumentando la batería, las aceleraciones y las desaceleraciones desde el escenario 4 al 12.

Figura 6

Escenarios



La Figura 6 muestra doce escenarios distintos en el eje X, cada uno de los cuales se caracteriza por una combinación única de variables utilizadas para evaluar el modelo. Los primeros tres escenarios se centran en la evaluación de los valores $V_{mín.}$ (velocidad mínima) y $V_{máx.}$ (velocidad máxima), mientras que los siguientes nueve escenarios abordan otras variables relevantes. En particular, los rangos de aceleración y desaceleración varían de 2 m/s² a 4 m/s², la $V_{mín.}$ oscila entre 3 m/s y 5 m/s, y la capacidad máxima de la batería del dron se sitúa entre 80 Wh y 100 Wh.

4.1 Casos con datos simulados en los algoritmos propuestos

Finalmente, se muestran los resultados de ambos algoritmos. Cabe recordar que la ganancia se define por la ecuación 1 del modelo.

Tabla 3

Resultados en el escenario 1

Programación dinámica	Ganancia	Tiempo				
	3473,75	0,02				
Segmento	1	2	3	4	5	6
Velocidades	8	5	5	5	6	5
Algoritmo genético	Ganancia	Tiempo				
		(máx.	mín.	med	desc)	
	3473,75	5,78	1,3	3,38	2	
Segmento	1	2	3	4	5	6
Velocidades	7	7	5	5	6	5

Para el escenario 1, mostrado en la Tabla 3, se consideró un rango de velocidades de 3. Se obtuvo 3473,75 de ganancia. En este caso, el número de posibles soluciones estaría definido por 4VR6, por lo que el modelo de programación dinámica logró 0,02 segundos, mientras que el algoritmo genético alcanzó 3,38, lo que da 3,36 segundos de diferencia.

Tabla 4

Resultados en el escenario 2

Programación dinámica	Ganancia	Tiempo				
	3481	0,07				
Segmento	1	2	3	4	5	6
Velocidades	8	4	4	4	8	4
Algoritmo genético	Ganancia	Tiempo				
		(máx.	mín.	med	desc)	
	3481	70,37	3,58	21,14	19	
Segmento	1	2	3	4	5	6
Velocidades	8	4	7	4	6	4

En la Tabla 4, se observan los resultados en el escenario 2, donde se consideró un rango de velocidades de 4. Se obtuvo el siguiente plan con una ganancia de 3481. En este caso, el número de posibles soluciones estaría definido por 5VR6, por lo que el modelo

de programación dinámica logró 0,07 segundos, mientras que el algoritmo genético alcanzó 21,14 segundos, dando 21,07 segundos de diferencia.

Tabla 5

Resultados en el escenario 3

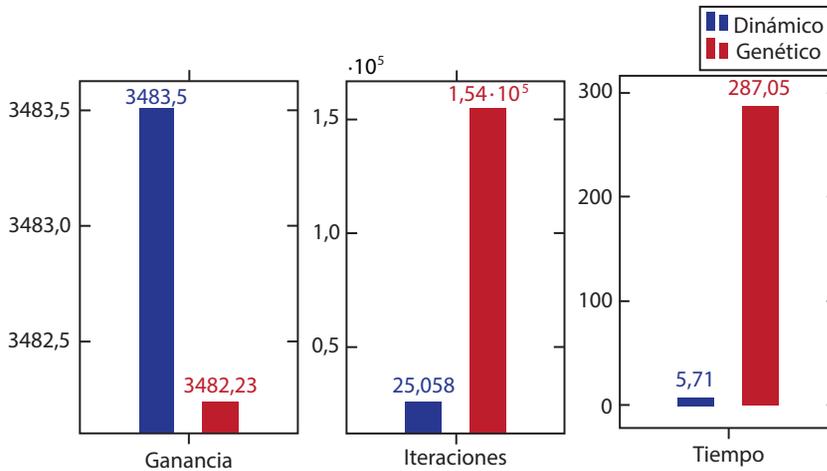
Programación dinámica	Ganancia	Tiempo				
	3495,75	17,04				
Segmento	1	2	3	4	5	6
Velocidades	5	3	3	5	8	3
Algoritmo genético	Ganancia	Tiempo				
		(máx.	mín.	med	desc)	
	3482,25	1263,41	9,58	836,64	442	
Segmento	1	2	3	4	5	6
Velocidades	8	3	5	3	8	3

La Tabla 5 muestra el escenario 3, donde se consideró una velocidad máxima de 8 y una velocidad mínima de 3, dando como resultado de su resta un rango de velocidades de 5. De esta manera se obtuvo el siguiente plan con una ganancia de 3495,75 para el algoritmo de programación dinámica y 3482,25 para el algoritmo genético. En este caso, el número de posibles soluciones estaría definido por $6VR6$, por lo que el modelo de programación dinámica logró 17,04 segundos, mientras que el genético alcanzó 836,64 segundos, con una diferencia de 819,6 segundos.

Se puede observar una mejora en cuanto a la diferencia de algoritmos, que puede llegar hasta varios minutos, además de que ambos obtuvieron resultados similares usando métodos distintos. Esto muestra que el algoritmo de programación dinámica posee una mayor eficiencia que el genético y calcula correctamente el resultado. Además, tal como se predijo, las velocidades afectan en gran medida al rendimiento de ambos algoritmos, pero mayormente al de programación dinámica. Esto puede ser solucionado con una mayor memorización o probando otros algoritmos.

Figura 7

Comparación general



Finalmente, se obtuvieron los promedios de todos los escenarios y se compararon en la Figura 7, donde se observa la mejora en tiempo y ganancia del algoritmo dinámico. Específicamente, el algoritmo genético obtiene una ganancia de 3462,52, mientras que el dinámico 3475,25 segundos. Esto es importante, ya que muestra una diferencia en el nivel de precisión que se traduce en un mayor tiempo de vuelo y, por tanto, mayor tiempo de supervisión. Además, existe una disminución del tiempo de ejecución del 98,01 %.

5. DISCUSIÓN

En esta sección, se obtuvieron los promedios de los resultados presentados en la Figura 7, los cuales revelan una diferencia de 281,34 segundos o 4 minutos y 47 segundos en cuanto al tiempo de ejecución. Esta variación se debe al incremento de genes en los escenarios, que resulta en un aumento en la cantidad de individuos posibles en las poblaciones. Además, el hecho de que el algoritmo genético genere estos individuos de manera aleatoria termina afectando negativamente el tiempo de ejecución.

Debido a que el algoritmo genético usa una función de parada, tiene un número de generaciones dinámico. Por tanto, aumenta el número de iteraciones, pero reduce el tiempo de ejecución.

Para reforzar este punto y tomando en cuenta que las variables que se usaron en la experimentación son las mismas para ambos algoritmos, se realiza un test pareado para determinar si existe una diferencia significativa en los resultados y el tiempo de ejecución de cada solución. Los datos utilizados para las pruebas son los resultados de

ganancia y tiempo de ejecución arrojados por el algoritmo genético y el dinámico, las variables de entrada empleadas para dichos algoritmos se detallan en los escenarios del 4 al 12 de la Tabla 3.

En la Tabla 6, se observan las variaciones de los resultados en cuanto a tiempo de ejecución en la desviación estándar, así como la media para cada algoritmo. De igual manera, se aprecian en la Tabla 7 las ganancias obtenidas por cada uno. Se utilizó una prueba de hipótesis de igualdad (=) para poder destacar que efectivamente existe una diferencia significativa entre ambos algoritmos y, posteriormente, se compararon sus medias para distinguir cuál obtuvo un mejor desempeño.

Tabla 6

Tiempo de ejecución

	N	Media	Desv. est.	p-valor
Dinámico	9	0,08	0,2	0,003
Genético	9	5,04	31,8	

$$\begin{array}{ll} \text{Null hypothesis} & H_0: \mu_{\text{difference}} = 0 \\ \text{Alternative hypothesis} & H_1: \mu_{\text{difference}} \neq 0 \end{array}$$

Tabla 7

Beneficio

	N	Media	Desv. est.	p-valor
Dinámico	9	3463,82	10,83	0,0071
Genético	9	3464,15	11,29	

$$\begin{array}{ll} \text{Null hypothesis} & H_0: \mu_{\text{difference}} = 0 \\ \text{Alternative hypothesis} & H_1: \mu_{\text{difference}} \neq 0 \end{array}$$

Volviendo a la Tabla 6, se tiene como hipótesis 1 que el tiempo de ejecución del genético – dinámico $\neq 0$, en este caso, el p-valor es de 0,003, por lo que se aprueba esta hipótesis. Considerando que la media del algoritmo genético es inferior a la del dinámico, se concluye que su tiempo de ejecución es significativamente inferior. De igual manera, en la Tabla 8, se tiene como hipótesis 1 que el beneficio del dinámico – genético $\neq 0$, en

este caso, el p -valor es de 0,0071, por lo que se aprueba esta hipótesis. Y considerando que la media del algoritmo dinámico es superior a la del genético, se concluye que el dinámico tiene un beneficio significativamente superior al genético.

6. CONCLUSIONES

Al principio, en este trabajo se presentaron los distintos algoritmos usados para la creación de planificadores de vuelos, entre los que se destacaron aquellos de programación dinámica y algoritmo genético. Se optó por programación dinámica y se usó como base el trabajo de Yi y Sutrisna (2021). A partir de ello se creó un algoritmo que funcione con una problemática en la que se requiera de múltiples drones.

Posteriormente, se hizo un levantamiento de información en el que se recolectaron las variables que se usarían en los distintos escenarios, junto con las especificaciones del dron que se empleó (Mavic 2 Pro). Finalmente, se implementó el algoritmo dinámico y el genético en Python para compararlos. Este último utilizó el mismo modelo y función objetivo.

En los resultados, se obtuvo una mejora considerable del algoritmo en programación dinámica con respecto al algoritmo genético, y se cumplieron todas las restricciones del modelo usando un número de permutaciones y recursos óptimos, como se observa en el apartado de la discusión.

De esta manera se consiguieron distintos planes para diferentes variables. Por ejemplo, en caso de usar dos drones con los parámetros del escenario 1 (explicados en la Figura 6), se programa al dron 1 con las siguientes velocidades: 8, 5, 5, para los primeros tres segmentos. El segundo dron se programa con las siguientes velocidades 5, 6, 5, para los últimos tres segmentos.

Además, existe una mejora con respecto al tiempo de ejecución y el beneficio obtenido por parte de la programación dinámica, lo que lo hace más preciso y más rápido. Sin embargo, el modelo aún puede ser mejorado en cuanto a su complejidad. Esto se debe a que sigue requiriendo de muchas permutaciones para su ejecución, sobre todo en modelos deterministas.

Por ello, algunos futuros trabajos podrían incluir utilizar metodologías de conjuntos de drones enjambre y la implementación de estos algoritmos en un entorno real de construcción. También pueden usarse otros modelos de drones relacionados con labores de ingeniería como nuevos escenarios, por ejemplo, el Matrice de DJI.

REFERENCIAS

- Albeaino, G., & Gheisari, M. (2021). Trends, benefits, and barriers of unmanned aerial systems in the construction industry: A survey study in the United States. *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 84-111.
- Balfour Beatty. (2017, 12 de mayo). *Flying into the future of bridge inspections*. <https://www.balfourbeatty.com/news/flying-into-the-future-of-bridge-inspections/>
- Bouman, P., Agatz, N., & Schmidt, M. (2018). Dynamic programming approaches for the traveling salesman problem with drone. *Networks*, 72(4), 528-542.
- Criado, R. M., & Rodríguez Rubio, F. (2015). Autonomous path tracking control design for a comercial quadcopter. *IFAC-PapersOnLine*, 48(9), 73-78.
- Decreto Supremo 011-2019-TR [Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo]. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo para el Sector Construcción. 11 de julio del 2019. Diario oficial *El Peruano*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/341232/decreto-supremo-n-011-2019-tr-1787274-4.pdf?v=1562856062>
- DJI. (2020). *Mavic 2 Pro/Zoom. User Manual*. DJI.
- Doole, M., Ellerbroek, J., & Hoekstra, J. (2020). Estimation of traffic density from drone-based delivery in very low level urban airspace. *Journal of Air Transport Management*, 88, 101862.
- Fan, J., & Saadeghvaziri, M. A. (2019). Applications of drones in infrastructures: Challenges and opportunities. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 13(10), 649-655.
- Fu, S.-Y., Han, L.-W., Tian, Y., & Yang, G.-S. (2012). Path planning for unmanned aerial vehicle based on genetic algorithm. En *2012 IEEE 11th International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing* (pp. 140-144). IEEE.
- Hrishikeshavan, V., & Chopra, I. (2017). Refined lightweight inertial navigation system for micro air vehicle applications. *International Journal of Micro Air Vehicles*, 9(2), 124-135.
- Hromkovič, J. (2013). *Algorithmics for Hard Problems: Introduction to Combinatorial Optimization, Randomization, Approximation, and Heuristics*. Springer Science & Business Media.
- Khan, S. I., Qadir, Z., Munawar, H. S., Nayak, S. R., Budati, A. K., Verma, K. D., & Prakash, D. (2021). UAVs path planning architecture for effective medical emergency response in future networks. *Physical Communication*, 47, 101337.

- Lee, D., & Cha, D. (2020). Path optimization of a single surveillance drone based on reinforcement learning. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 9(12), 1541-1547.
- Li, Y., Liu, H., Zheng, X., Han, Y., & Li, L. (2019). A top-bottom clustering algorithm based on crowd trajectories for small group classification. *IEEE Access*, 7, 29679-29698.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). *Lineamientos de prevención y control frente a la propagación del COVID-19 en la ejecución de obras de construcción*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/671272/Lineamiento_de_Preencion_y_Control_del_COVID-19_en_Obras_Construccion.pdf
- Nguyen, M. A., Dang, G. T.-H., Hà, M. H., & Pham, M.-T. (2022). The min-cost parallel drone scheduling vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 299(3), 910-930.
- Palomino, J., Hennings, J., & Echevarría, V. (2017). Análisis macroeconómico del sector construcción en el Perú. *Quipukamayoc*, 25(47), 95-101.
- Poikonen, S., Golden, B., & Wasil, E. A. (2019). A branch-and-bound approach to the traveling salesman problem with a drone. *INFORMS Journal on Computing*, 31(2), 335-346.
- Sando. (2021, 2 de agosto). Sando logra la habilitación para operar drones en espacios aéreos controlados, zonas urbanas y vuelos nocturnos. *Sando blog*. <https://www.sando.com/es/drones-sando-aea-operar-zonas-urbanas-nocturnas/>
- Schermer, D., Moeini, M., & Wendt, O. (2020). The traveling salesman drone station location problem. En H. Le Thi, H. Le & T. Pham Dinh (Eds.), *Optimization of Complex Systems: Theory, Models, Algorithms and Applications. WCGO 2019* (pp. 1129-1138). Springer.
- Wankmüller, C., Truden, C., Korzen, C., Hungerländer, P., Kolesnik, E., & Reiner, G. (2020). Optimal allocation of defibrillator drones in mountainous regions. *OR Spectrum*, 42(3), 785-814.
- Yi, W., & Sutrisna, M. (2021). Drone scheduling for construction site surveillance. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 36(1), 3-13.

ASPECTOS RELEVANTES DE LA CULTURA ORGANIZACIONAL DE LOS DOCENTES EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA PERUANA

EDWIN HUMBERTO CALDERÓN-FUENTES
edcalf@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7177-8555>
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú

EDGAR HUAMANÍ-SAYÁN
ehuamanisayan@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8921-4678>
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú

RESUMEN

Este trabajo analiza la cultura organizacional, actual y deseada, en una institución de educación superior tecnológica en el Perú, según las percepciones de sus docentes. La cultura organizacional es un activo intangible corporativo importante porque ayuda a explicar los aspectos subyacentes que producen impacto trascendente en la gestión de las organizaciones. Por ello, efectuamos el diagnóstico de las características de la cultura organizacional en la referida institución educativa con el fin de apoyar la definición de acciones que potencien su desarrollo orgánico corporativo atendiendo a las necesidades de su entorno. Utilizamos metodología cuantitativa para recolectar información, a través de cuestionarios basados en el *Competing Values Framework* y el *Organizational Culture Assessment Instrument*, lo que nos permitió identificar características relevantes de cada tipo de cultura organizacional. Los hallazgos de las encuestas aplicadas a los docentes revelaron y validaron que la actual cultura dominante es la jerárquica, seguida por la cultura de clan, aunque los educadores esperarían que la cultura de mercado predomine a futuro, sin abandonar las culturas jerárquica y de clan. La importancia de esta investigación radica en que ofrece a los responsables de la gestión educativa en la institución un conocimiento más detallado sobre las principales características de la cultura organizacional, la comprensión del contexto en que ocurre y ayuda a identificar si esta se encuentra alineada con los objetivos estratégicos corporativos, así como, de ser el caso, definir las oportunidades de mejora y las acciones requeridas para seguir enriqueciendo la cultura organizacional.

PALABRAS CLAVE: cultura organizacional, tipologías de cultura organizacional, cultura dominante, educación superior tecnológica, *Competing Values Framework*, *Organizational Culture Assessment Instrument*

RELEVANT ASPECTS OF THE ORGANIZATIONAL CULTURE OF TEACHERS IN A PERUVIAN TECHNOLOGICAL HIGHER EDUCATION INSTITUTION

ABSTRACT

This article analyzes the current and desired organizational culture in a technological higher education institution in Peru based on the perceptions of its teachers. Organizational culture is an essential intangible corporate asset as it helps explain the underlying aspects that significantly impact the management of organizations. For this reason, we diagnosed the attributes of the organizational culture in the aforementioned educational institution to support the definition of actions that promote its organic corporate development, attending to the needs of its environment. We used quantitative methodology to collect information from questionnaires based on the Competing Values Framework and the Organizational Culture Assessment Instrument, which allowed us to identify relevant characteristics of each type of organizational culture. The findings of the surveys applied to the teachers revealed and validated that the current dominant culture is hierarchical and, in a second instance, clan culture. Educators would expect market culture to predominate without abandoning hierarchical and clan cultures. This research is useful because it offers the institution's educational management staff detailed knowledge about the main characteristics of its organizational culture and the understanding of the context in which it occurs. It also helps determine how well organizational culture and strategic corporate objectives align and, if applicable, define the opportunities for improvement and the actions required to continue enriching the organizational culture

KEYWORDS: organizational culture, organizational culture type, dominant culture, technological higher education, Competing Values Framework, Organizational Culture Assessment Instrument

1. INTRODUCCIÓN

Cultura es un constructo que engloba valores comunes, prácticas formales e informales, costumbres, comportamientos, ritos y propósitos que se comunican las generaciones sucesivamente a lo largo del tiempo (Rivera et al., 2018; Pedraja Rejas et al., 2020); por lo tanto, está relacionada con el proceso de socialización (Ulloa-Erazo, 2019). El término *cultura*, derivado del latín *colere* 'cultivar', pasó de hacer referencia al 'cultivo del alma', como indicaba Cicerón en el año 45 a. C., a tener un carácter multidisciplinario, extendiéndose a ciencias como la psicología, la sociología, la antropología o la administración de las organizaciones, entre otras (Aydin, 2018; Casillo, 2020). El carácter polisémico del término *cultura* (Justo Gil, 1990) se evidencia en la recopilación de hasta 164 acepciones diferentes, pero con significados interrelacionados, realizada por Kroeber y Kluckhohn (1952). Por ejemplo, según Groh (2019), la cultura es el repositorio de información de una comunidad, porque recopila su acervo y las formas de actuación de ese colectivo.

Cultura organizacional, término al cual nos referiremos en lo sucesivo como CO, es un constructo que surge a partir de la aplicación del término *cultura* en una organización, y no solo significa definir, implementar y desarrollar las cualidades y rasgos que identifican y le dan características y competencias únicas y distintivas; sino, además, comprender cómo todo esto influye en la gobernanza, estilos de liderazgo y motivación de los colaboradores de la organización (Schein, 2004). Resulta trascendental que las organizaciones entiendan su identidad como grupo social, y cómo esta influye en el entorno que las acoge, a través de políticas y formas de relacionamiento externos, así como en los estilos de comunicación y gestión internos (Aydin, 2018).

La identidad organizacional, única y propia de cada entidad, se desarrolla mediante su aplicación colectiva por los colaboradores de la organización y puede constituirse en ventaja competitiva, porque no solo vigoriza la gobernanza y reputación corporativas, sino que contribuye a asegurar el desarrollo orgánico y ordenado del entorno de negocios de la organización (Robbins & Coulter, 2018; Umrani et al., 2017).

Según Guízar Montúfar (2013), la teoría del enfoque de sistemas de la administración define a las instituciones educativas de nivel superior como sistemas abiertos a su entorno; es decir que generan un intercambio dinámico permanente de elementos con su contexto, que enriquecen su desarrollo mutuo. Por lo tanto, estas instituciones requieren apoyarse en su CO, en la realización de investigaciones y el ejercicio de su labor educativa, para relacionarse con su entorno (De Aparicio et al., 2017).

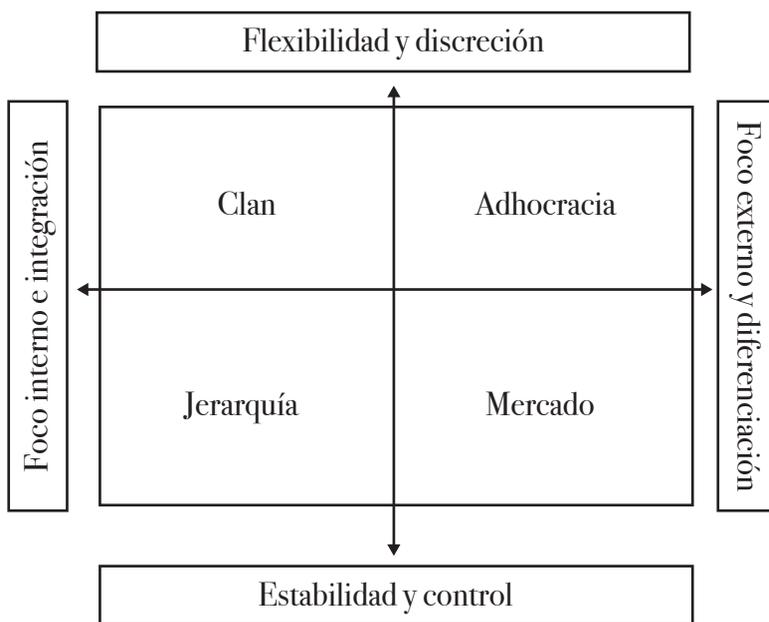
Sin embargo, en el nivel educativo superior, las instituciones aún no toman conciencia del alcance estratégico que esto implica para el desarrollo comunitario que persiguen (Yopan Fajardo et al., 2020). Por lo tanto, es trascendental que puedan

conocer y comprender los atributos predominantes en su CO con la finalidad de orientar la aplicación de sus actividades de acuerdo con sus objetivos de desarrollo estratégico.

Para tal fin, con base en la investigación realizada en un instituto educativo superior tecnológico (IEST) ubicado en Lima, Perú, realizamos el diagnóstico de los aspectos relevantes de la CO de dicha institución utilizando el *Competing Values Framework* (CVF) y el *Organizational Culture Assessment Instrument* (OCAI), desarrollados por Cameron y Quinn (2011).

Figura 1

Competing Values Framework



Nota. Adaptado de *Diagnosing and Changing Organizational Culture. Based on the Competing Values Framework* (p. 35), por K. Cameron y R. Quinn, 2011, Jossey-Bass.

Como se aprecia en la Figura 1, cada tipología cultural en el CVF se define por la intersección del eje vertical (que mide la preferencia de la organización hacia la flexibilidad o hacia la estabilidad) y el eje horizontal (que indica la orientación corporativa hacia el crecimiento interno o hacia el frente externo). La denominación CVF obedece a que cada tipo cultural se encuentra en competencia con cada cultura adyacente en sentido vertical, horizontal y diagonal.

Los atributos identificados, tanto positivos como negativos, pueden ser utilizados por los responsables de la gestión educativa de la IEST para destinar los recursos necesarios que aseguren los logros estratégicos institucionales, solventando las oportunidades de mejora y las acciones requeridas al efecto (González et al., 2016).

Sin embargo, a pesar de la importancia de lo expuesto, no hemos encontrado investigaciones, al menos en los últimos cinco años, relacionadas con el ámbito educativo superior tecnológico del Perú. Este hecho ha impulsado también el desarrollo de la presente investigación con el fin de tener mejores apreciaciones que nos permitan comprender la CO en una IEST, debido a su impacto en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Los dos siguientes apartados detallan el marco teórico que sustenta nuestra investigación y la metodología que empleamos. En el cuarto apartado, presentamos los resultados del estudio realizado, cuya discusión y comentarios se desarrollan en el quinto apartado. El apartado final contiene las conclusiones, contribuciones y recomendaciones que estimamos conveniente señalar para futuras investigaciones.

2. MARCO TEÓRICO

La importancia del diagnóstico periódico de la CO en instituciones de educación superior se encuentra sustentada académicamente desde diferentes perspectivas, algunas de las cuales hemos recogido para fines del presente estudio.

2.1 Gestión del entorno

Según Waller et al. (2019), las organizaciones se desarrollan en entornos cada vez más complejos, inciertos, volátiles y ambiguos, cuya dinámica impulsa el cambio constante en las organizaciones, como sucede con las instituciones educativas.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2021) explica que las instituciones de educación superior desempeñan un papel crucial como garantes de la educación y el futuro de las generaciones, por lo que su participación activa en la construcción de un marco social renovado es de gran relevancia. Kovalenko et al. (2021) enfatizan que estas instituciones deben respaldar el proceso educativo y el desarrollo social, asegurando que sus graduados cumplan con los perfiles laborales actuales y futuros, además de ofrecer servicios competitivos y garantizar la calidad educativa. También tienen que satisfacer las necesidades económicas locales y globales de su entorno. Por otro lado, Antó et al. (2021) señalan que las instituciones de educación superior tienen la oportunidad y la responsabilidad de asumir un papel protagonista en los desafíos globales, como la reciente crisis sanitaria del COVID-19, mediante la realización de investigaciones científicas y contribuciones

sociales innovadoras. Sin embargo, Menon y Suresh (2020) han concluido que las instituciones de educación superior en la India han experimentado una transformación lenta y menos ágil en comparación con otros sectores, debido a la conformidad con los logros existentes.

No obstante, los avances tecnológicos, los nuevos requisitos laborales, los cambios demográficos y los intereses de los estudiantes han obligado a estas instituciones a enfrentar desafíos significativos y responder con flexibilidad y rapidez, adaptando sus procesos y asignando recursos de manera efectiva para garantizar su funcionamiento eficiente.

2.2 Objetivos de Desarrollo Sostenible

Según la UNESCO (2020), la educación desempeña un papel fundamental en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) al 2030 promovidos por las Naciones Unidas. Igualmente, Žalėnienė y Pereira (2021) afirman que las instituciones de educación superior contribuyen de manera decisiva a través de la educación para abordar los principios de los ODS. Sin embargo, para lograr una contribución efectiva, es necesario desarrollar estrategias educativas que aborden desafíos críticos como la inclusión y las expectativas de los grupos de interés.

Ruiz-Mallén y Heras (2020) llevaron a cabo un estudio en redes de instituciones de educación superior a nivel mundial y encontraron que los ODS se incluyen en los planes estratégicos, pero aún no se han desarrollado criterios en el ámbito académico debido a la resistencia al cambio y la rigidez estructural. Se requiere más investigación para comprender mejor la relación entre la CO y la educación.

Bauer et al. (2020) concluyeron que la CO de una institución de educación superior tiene un impacto significativo en la gestión del desarrollo sostenible, pero cada institución funciona de manera diferente debido a la correlación entre la cultura y el modelo de gobierno.

Por su parte, Parasii-Verhunen et al. (2020) encontraron que las instituciones de educación superior en Ucrania se asemejan cada vez más a empresas comerciales, pero enfrentan dificultades para diferenciar su producto y enfocarse en segmentos de mercado. La competitividad se basa en la eficiencia, el aprovechamiento de los recursos y la optimización de los planes de formación de estudiantes. Se requieren indicadores adicionales, como la CO y otros indicadores no financieros, para reflejar la calidad educativa y generar estrategias de desarrollo.

Finalmente, Belcher et al. (2022) evaluaron las contribuciones de la investigación universitaria a la innovación social y destacaron la necesidad de nuevos enfoques para promover el impacto en la CO. Se requiere la participación de investigadores comprometidos e instituciones que brinden formación y apoyo.

2.3 Investigaciones previas en instituciones de educación superior

Barnes et al. (2021) concluyeron que la investigación académica en Sudáfrica está condicionada por la CO de las instituciones de educación superior, la cual está definida por los valores, actitudes y habilidades de sus grupos de interés. Los líderes educativos deben comprender en profundidad y de manera integral los elementos de la CO, incluyendo valores esenciales como equidad, inclusión, ética y colaboración, y su relación con la gestión del desempeño, el desarrollo personal, la formación integral, la alineación de valores individuales e institucionales, el diseño organizativo y las formas de compensación, entre otros.

De acuerdo con Serpa y Sá (2022), la confianza juega un papel importante en la gestión educativa y la CO de las instituciones de educación superior. La confianza estimula el desarrollo de la CO y contribuye al compromiso sostenido del personal de las instituciones, especialmente en un contexto donde enfrentan dificultades crecientes. Sin embargo, la confianza no se impone, sino que se construye a lo largo del tiempo y se apoya en la cultura institucional.

Saiz-Sáenz y Jácome (2022) dedujeron, a través de una revisión bibliográfica, que las instituciones de educación superior necesitan tener una CO sólida para enfrentar exitosamente los requerimientos del mercado y ofrecer una educación de alta calidad. Los grupos de interés deben comprender profundamente la CO y su papel fundamental en el logro de los objetivos estratégicos de la institución. Además, el compromiso y la identificación de los recursos humanos con las políticas institucionales son activos valiosos que contribuyen a una mejor gestión de las instituciones.

Thien (2020) estudió la CO y el comportamiento en una universidad pública de Vietnam y encontró que la CO condiciona que las instituciones se enfoquen más en la enseñanza que en la investigación. La difusión de la misión institucional es crucial para fortalecer la CO, ya que, si no es comprendida, compartida o difundida por los miembros de la institución, se debilita su efectividad.

Saleh y Atan (2021) investigaron la trascendencia de la CO como factor generador de bienestar en instituciones de educación superior del norte del Líbano. En un contexto altamente competitivo y volátil, la CO cohesiona la gestión del talento y la satisfacción laboral de los colaboradores, lo cual está correlacionado significativamente. La CO es fundamental para el logro de los objetivos estratégicos y el desempeño exitoso de las instituciones.

Caliskan y Zhu (2019) examinaron la CO en cuatro universidades públicas de Turquía y encontraron que predomina la cultura jerárquica, seguida de las culturas de mercado y de clan. Comprender la cultura dominante ayuda a mejorar la eficacia, productividad y capacidad de transformación de las instituciones, y facilita el diagnóstico de problemas y la implementación de soluciones adecuadas.

Esquinca Moreno et al. (2021), en un estudio realizado en una institución educativa de nivel superior en el norte de México, hallaron que una CO fuerte es necesaria para la implementación efectiva de la inteligencia competitiva. La CO fuerte permite aprovechar estratégicamente la información generada por la inteligencia comercial y obtener ventajas competitivas, mientras que una CO débil o negativa impide apreciar el valor intrínseco de la información.

Trivedi y Prakasha (2021) resaltan la correlación entre la CO y las limitaciones de comportamiento de los estudiantes en instituciones de educación superior. La cultura organizacional puede influir en la conducta negativa de los estudiantes, y se comprobó una correlación negativa entre la cultura de clan y la alienación de los estudiantes, en comparación con la cultura de jerarquía.

González Díaz et al. (2016) estudiaron los factores culturales y la CO en una universidad del norte de México. Encontraron que una cultura coherente y alineada con los lineamientos estratégicos de la institución es necesaria para el desempeño exitoso y el bienestar del cliente. La coexistencia de subculturas requiere estrategias y una visión común respaldada por valores y objetivos que cohesionan a todos los miembros de la institución educativa.

Turpo-Gebera et al. (2021) investigaron las manifestaciones de la CO en los docentes de una institución de educación superior en el Perú. Demostraron que los docentes practican principalmente una cultura jerárquica, lo cual afecta su autonomía en la actuación. También observaron diferencias en la cultura entre los docentes de estudios generales y los de estudios de especialidad, lo cual puede ser una oportunidad para la innovación y mejora de la gestión educativa.

3. METODOLOGÍA

El presente estudio analiza las apreciaciones de los docentes de una institución de educación superior tecnológica (IEST), ubicada al este de Lima, Perú, en el distrito con mayor población y uno de los más extensos de la capital, en el que existe alta demanda de servicios de formación tecnológica de nivel superior, toda vez que los jóvenes que no logran acceder a una universidad y/o se ven forzados a trabajar al concluir la educación secundaria aprecian la oportunidad de contar con formación técnica para su desarrollo profesional.

En este contexto, los docentes de la IEST imparten sus conocimientos en el marco de procesos, políticas y prácticas educativas definidas por esta organización, los cuales forjan su CO, constructo que rige la actuación de sus grupos de interés.

Para conocer el estado de la CO de la IEST, aplicamos un cuestionario basado en el *Organizational Culture Assessment Instrument* (OCAI) para recolectar datos. La muestra

estadística y no probabilística, según lo señalado por Hernández Sampieri et al. (2014), fue determinada utilizando la fórmula:

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

Es decir, sobre un universo (N) de 155 docentes que laboran en la sede de San Juan de Lurigancho, con un margen de error (e) de 5 %, utilizando el valor del factor z de 1,96, que corresponde a un nivel de confianza de 95 %, y con valores de $p = 98$ % y $q = 2$ % aplicados en la fórmula antes señalada, obtuvimos como resultado que debíamos aplicar la muestra a 25 docentes ($n = 25$) en total. Los valores de p y q , respectivamente, fueron calculados a través de una encuesta previa realizada a 30 docentes, en la que se formuló la siguiente pregunta de validación: "¿Estaría dispuesto a evaluar la cultura organizacional del instituto y conocer su impacto en el desempeño docente?".

En esta encuesta previa, recibimos 29 respuestas aprobatorias y solo un docente no respondió, motivo por el cual asumimos que no estaba de acuerdo. Adicionalmente, recolectamos datos sociodemográficos, como carreras en las que enseñan, sexo, edad y antigüedad en la docencia.

Con base en el OCAI, cada encuesta estuvo conformada por 24 evaluaciones parciales, agrupadas bajo las seis dimensiones o rasgos culturales que definen los cuatro tipos de CO del modelo CVF: cultura de clan, cultura adhocrática, cultura de mercado y cultura jerárquica. Las evaluaciones se realizaron usando una escala ipsativa (Eijnatten et al., 2015) de 100 puntos. Asimismo, analizamos las dimensiones definidas en el modelo CVF por cada tipología: (i) características dominantes, (ii) liderazgo organizacional, (iii) estilos de gestión, (iv) cohesión organizacional, (v) énfasis estratégico y (vi) criterios de éxito.

Debido a su claridad conceptual y simplicidad, tanto el modelo CVF como el OCAI son utilizados en las investigaciones académicas (Arévalo-Ascanio et al., 2017; Naranjo Valencia et al., 2016) relacionadas con la CO.

4. RESULTADOS

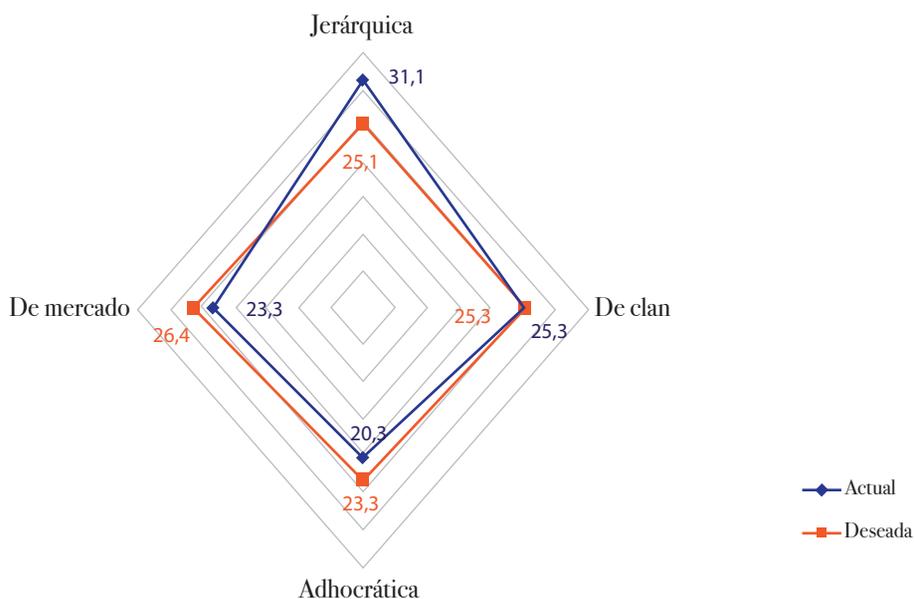
4.1 Cultura organizacional actual y deseada

La aplicación del cuestionario para la evaluación de la CO entre los docentes de la institución educativa se realizó con base en el modelo CVF y el OCAI. Recogimos datos en dos escenarios: los rasgos de la CO actual y las características deseadas de la CO.

Como se evidencia en la Figura 2, en la CO actual predominan los rasgos de la tipología jerárquica con 31,1 %, seguido por los tipos culturales de clan con 25,3 %, de mercado con 23,3 % y adhocrática con 20,3 %. Sin embargo, los docentes desearían que la CO tuviera rasgos más homogéneos, aunque con leve inclinación hacia la cultura de mercado (26,3 %), manteniendo invariables los rasgos de la cultura de clan (25,4 %), pero reduciendo la participación de la cultura jerárquica (25,3 %) e incrementando la orientación hacia la cultura de mercado (23,1 %).

Figura 2

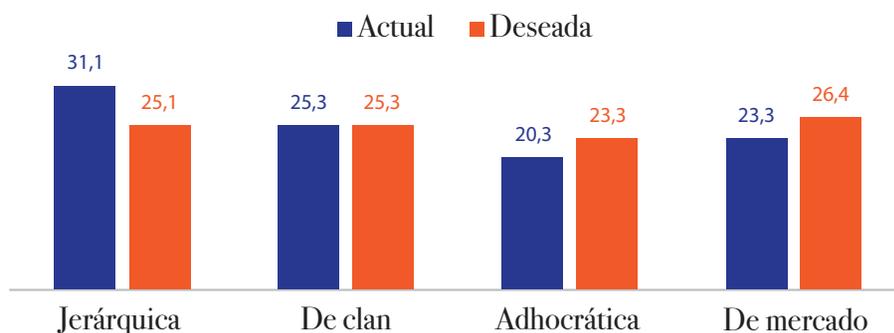
Comparación entre la CO actual y la deseada



El análisis comparativo entre las tipologías actuales y deseadas de la CO, según se aprecia en la Figura 3, demuestra que los docentes desean una cultura menos jerárquica (-18 %), con mayor orientación al mercado (+12 %), mejorando la actual brecha de la tipología adhocrática (+3 %), pero conservando los rasgos de la cultura de clan. Es decir, procurar el equilibrio de las cuatro tipologías de CO, con claro énfasis en el desarrollo externo (mercado y adhocracia), manteniendo la flexibilidad e integración (clan) y disminuyendo el grado de formalismo, control y burocracia (jerárquica).

Figura 3

Análisis comparativo entre tipologías de CO actual y deseada



4.2 Análisis de dimensiones por cada tipo de cultura organizacional

Seguidamente, efectuamos el análisis de los rasgos inherentes de cada tipología cultural de la CO actual y deseada, con base en las percepciones de los docentes, según se puede apreciar en la Figura 4.

Las valoraciones obtenidas para las dimensiones de cada tipología de la CO actual se muestran en las barras del lado izquierdo. Al respecto cabe resaltar:

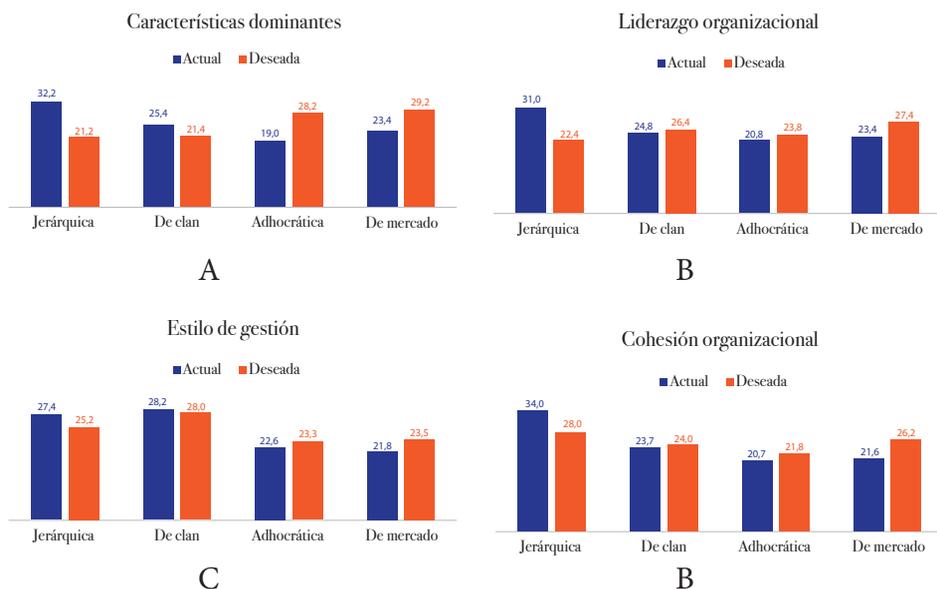
- Las Figuras 4A, 4B, 4D, 4E y 4F evidencian que la tipología jerárquica aporta cinco de las seis dimensiones con mayor valoración, que corresponden a *cohesión institucional* (34,0 %), *énfasis estratégico* (33,6 %), *características dominantes* (32,2 %), *liderazgo estratégico* (31,0 %) y *criterios de éxito* (28,4 %). Por ello, la estabilidad y el control de la cultura jerárquica tienen una fuerte influencia en la forma en que la organización se mantiene unida, en las fuerzas que impulsan las estrategias corporativas, en la “forma de ser” de la entidad, en el enfoque del gobierno institucional y la forma en que se define y se otorga reconocimiento a los éxitos.
- La sexta dimensión, *estilo de gestión* (28,0 %), fue aportada por la cultura de clan (Figura 4C). El ambiente laboral y la forma en que los líderes dirigen a los colaboradores se encuentran influenciados por el ambiente de familiaridad y el estilo paternalista y de protección.
- La cultura de mercado obtuvo sus mejores valoraciones en las dimensiones de *criterios de éxito* (27,4 %) y *características dominantes* (23,4 %), según las Figuras 4F y 4A.
- Por último, las dimensiones de *estilo de gestión* (22,6 %) y *énfasis estratégico* (21,0 %) obtuvieron la mayor valoración con referencia a la tipología adhocrática (Figuras 4C y 4E).

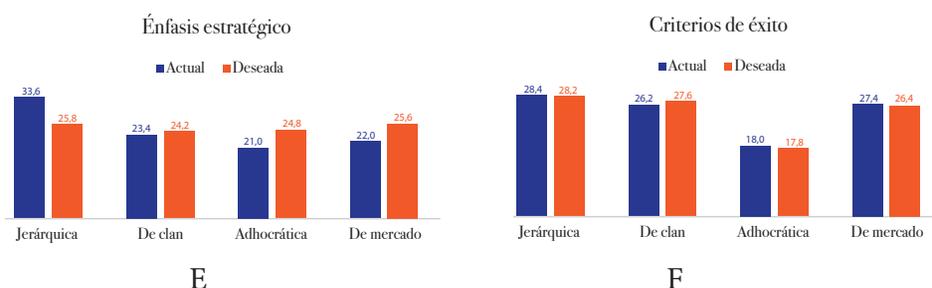
Los valores de las dimensiones de la CO deseada, que se muestran en las barras del lado derecho, evidencian que los docentes anhelan una distribución más homogénea, de forma que:

- Las *características dominantes* (29,2 %) y el *liderazgo organizacional* (27,4 %) de la tipología de mercado prevalecen sobre las demás culturas (véanse las Figuras 4A y 4B).
- Desean mantener el *estilo de gestión* (28,0 %) inspirado en la cultura de clan (Figura 4C).
- Igualmente, quieren mantener las dimensiones de *cohesión organizacional* (28,0 %), *énfasis estratégico* (25,8 %) y *criterios de éxito* (28,2 %) de la cultura jerárquica, aunque con menor relevancia (Figuras 4D, 4E y 4F).
- El estilo adhocrático muestra un crecimiento significativo en dimensiones como *características dominantes* (28,2 %) y *énfasis estratégico* (24,8 %) (Figuras 4A y 4E).
- Igualmente, en la dimensión *énfasis estratégico* (Figura 4E), los docentes valoran indistintamente las culturas jerárquica (25,8 %) y de mercado (25,6 %).
- En la dimensión *criterios de éxito* (Figura 4F), los docentes casi no tienen preferencia entre las culturas jerárquica (28,2 %), de clan (27,6 %) y de mercado (26,4 %). En esta dimensión, la cultura adhocrática recibe la menor valoración como CO actual y deseada.

Figura 4

Análisis de dimensiones de cada tipología CVF de las CO actual y deseada





4.3 Hallazgos adicionales relevantes

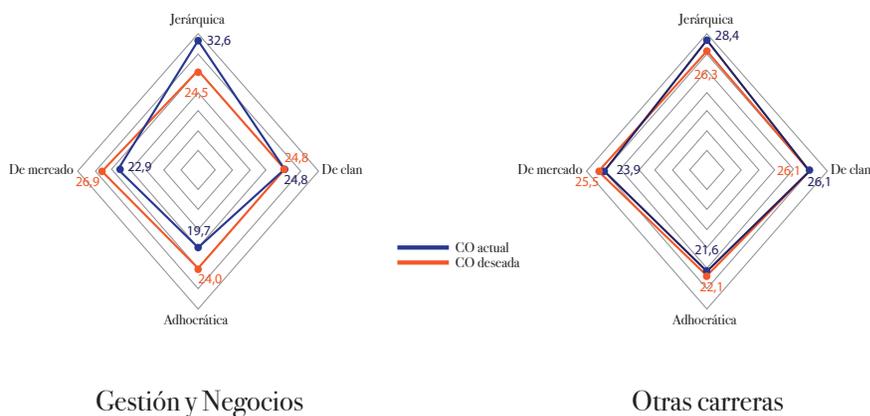
Como mencionamos, el cuestionario que aplicamos nos facilitó también recoger y analizar información sociodemográfica complementaria de la población intervenida. La organizamos, principalmente, en cuatro categorías: carreras en la que imparten clases, género, edad y antigüedad en la IEST. Los resultados de estos análisis se exponen a continuación.

4.3.1 Valoraciones de la cultura organizacional actual y deseada por carreras impartidas en la IEST

El 62 % de los docentes imparten clases en la Carrera de Gestión y Negocios; el 38 % restante lo hace en otras carreras (Tecnología de Información, Ingeniería, Diseño, Comunicación, entre otras). Ambos colectivos reconocen el predominio actual de la cultura jerárquica, siendo más relevante esta apreciación en los docentes de la Carrera de Gestión y Negocios (32,6 %). Sin embargo, ellos anhelaban que la cultura de mercado (26,8 %) sea relevante, mientras que los docentes de otras carreras continuaron prefiriendo la jerárquica (26,3 %).

Figura 5

Valoración de las CO actual y deseada según las carreras que imparten los docentes

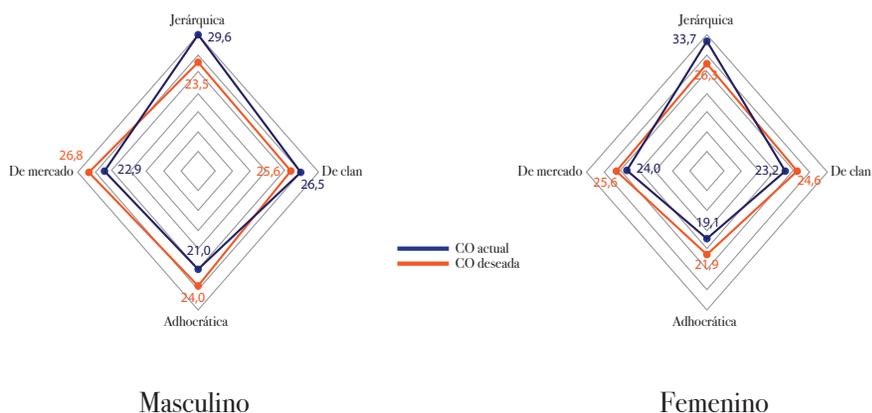


4.3.2 Valoraciones de la cultura organizacional actual y deseada por género

El 67 % de los docentes de la muestra son de sexo masculino. Tanto hombres como mujeres reconocen que la CO actual dominante es la jerárquica, siendo más relevante para docentes de sexo femenino (34,0 %) que para docentes de sexo masculino (29,6 %). Pero, respecto a la CO deseada, mientras que el colectivo de sexo femenino renovarían su preferencia por la jerárquica (28,8 %), los docentes de sexo masculino preferirían la tipología de mercado (26,8 %).

Figura 6

Valoración de las CO actual y deseada según género de docentes

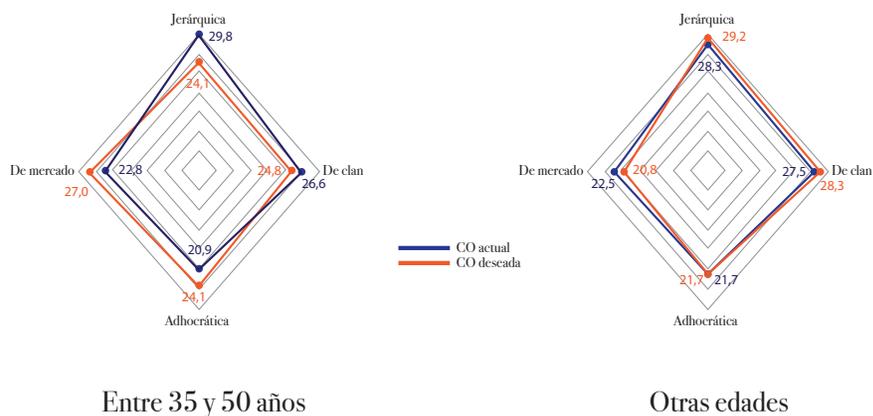


4.3.3 Valoraciones de la cultura organizacional actual y deseada por edad de los docentes

El 79 % de los docentes tienen entre 35 y 50 años de edad. El colectivo restante se encuentra fuera de dicho rango. Para ambos grupos, la CO actual dominante es la jerárquica, aunque la valoración resulta más relevante para los docentes entre 35 a 50 años (29,6 %) que para los demás (28,3 %). En la CO deseada, los docentes de otras edades preferirían mantener la jerárquica (29,2 %), mientras que los docentes entre 35 a 50 años desearían la tipología de mercado (26,9 %).

Figura 7

Valoración de las CO actual y deseada según edad de los docentes

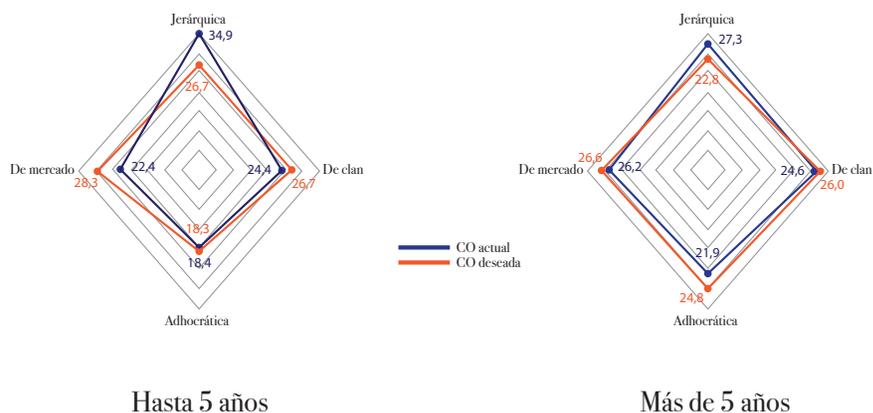


4.3.4 Valoraciones de la cultura organizacional actual y deseada por antigüedad de empleo

El 54 % de los docentes de la muestra han trabajado menos de cinco años en la IEST, mientras que 46 % supera ese lapso. Para ambos grupos, la CO actual dominante es la jerárquica, pero es más relevante la apreciación para docentes con menos de cinco años en el empleo (34,9 %), que para aquellos con más de cinco años (27,3 %). Sin embargo, ambos colectivos anhelarían la cultura de mercado: los docentes con menos de cinco años en el empleo valoran su preferencia con 28,3 %, mientras que los docentes con más antigüedad la califican con 26,6 %.

Figura 8

Valoración de las CO actual y deseada según antigüedad en el ejercicio docente



5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Esta investigación describe las percepciones de los docentes de una IEST sobre los estados actual y deseado de la CO en dicha institución, con base en el modelo CVF y el OCAI. Los resultados evidenciaron las características de ambos estados de la CO, cuya discusión planteamos en dos niveles.

El primer nivel permite mostrar que, según las percepciones de los docentes que laboran en la IEST, la cultura jerárquica es la que actualmente predomina en dicha institución. Este hallazgo es contrario a las manifestaciones culturales en la realidad peruana, regida por un alto grado de informalidad y de desapego al orden institucional. No obstante, las instituciones educativas parecen ser un espacio donde existe apego hacia el desarrollo cimentado en el control, orden interno, ejercicio de autoridad y funcionamiento organizado; en particular, en aquellas que pertenecen al sector privado. Esto resulta consistente con investigaciones previamente realizadas sobre la educación superior en Turquía (Caliskan & Zhu, 2019), Perú (Turpo-Gebera & Pérez-Zea, 2020) y Polonia (Cieciora et al., 2021), en las que los autores concluyeron que la tipología jerárquica predomina entre las instituciones de educación superior.

Al respecto, el OCAI proporcionó la información sobre la estructura cultural en la IEST, facilitando un mapa de la tipología dominante y de las culturas subsidiarias. La cultura jerárquica prevaleció largamente en la situación actual, seguida por la tipología de clan. Los docentes reconocen también la presencia más relegada de las tipologías de mercado y adhocrática, en comparación con las señaladas inicialmente.

Esto permitió inferir que la actual conducción estratégica se enfoca en el desarrollo estructurado y organizado, con estamentos de control y responsabilidades de supervisión claras, así como decisiones centralizadas; pero, a la vez, con directivos que tienen un estilo familiar de gestión y recompensa de logros en equipo, donde el compañerismo y las buenas relaciones son muy valoradas. Siendo estos los rasgos dominantes, se evidencia una marcada relevancia del actual desarrollo de la IEST basado en el orden, lealtad, consenso y estabilidad internos.

Sin embargo, las expectativas de los docentes respecto a la CO demandan un giro en procura del desarrollo orientado hacia el frente externo de la IEST para atender las necesidades de sus grupos de interés. Por tanto, desearían la recomposición de la cultura existente, haciéndola más equilibrada entre las cuatro tipologías del CVF, pero con mayor orientación hacia la cultura de mercado.

Desde esta perspectiva, favorecer la cultura de mercado reduciendo la preferencia por la tipología jerárquica conlleva un giro ordenado, porque ambas culturas se fundamentan en la estabilidad, orden y control, pero se diferencian en la orientación del crecimiento corporativo hacia el frente externo o interno, respectivamente. Por lo tanto,

la cultura de mercado permitiría enfatizar logros en la atención de necesidades de los estudiantes, con base en la definición de objetivos y planes que, asimismo, impulsen la competitividad de la IEST.

El segundo nivel de discusión profundiza en el análisis de la información provista por el OCAI, con énfasis en las dimensiones de cada tipo de cultura según el CVF, lo cual permitió concluir que la tipología jerárquica en la CO actual se volvió predominante porque sus rasgos sustentan la *cohesión organizacional* y aportan el *énfasis estratégico*, a través de sus características *dominantes* y el desarrollo del *liderazgo organizacional*. La cultura de clan es relevante en este contexto a través de las dimensiones de *estilo de gestión* y *criterios de éxito*. Las dimensiones de las culturas de mercado y adhocrática fueron reconocidas con menor relevancia.

No obstante, los docentes anhelarían que la dimensión de *características dominantes* correspondiera a los tipos de mercado y adhocrática, y que el *liderazgo organizacional* estuviera basado en las culturas de mercado y de clan. Con relación al *estilo de gestión*, desearían mantener la tipología de clan. En la dimensión de *cohesión organizacional*, preferirían mantener la cultura jerárquica. Respecto a la dimensión de énfasis estratégico, tendrían ligera preferencia por los tipos jerárquico y de mercado. Algo similar sucede en la dimensión de *criterios de éxito*, donde las tipologías jerárquicas, de clan y de mercado son apreciadas con valores muy cercanos entre ellas.

Por otro lado, los hallazgos complementarios ponen de manifiesto que tanto los docentes de la Carrera de Gestión y Negocios como los profesores entre 35 y 50 años de edad impulsan el giro de la cultura actual hacia la tipología de mercado, supuestamente con base en su mejor entendimiento de las condiciones del entorno en que opera la IEST. Por su parte, el colectivo de docentes del género femenino promueve el mantenimiento de la cultura jerárquica, es decir que se inclina por el orden y control. Finalmente, cabe señalar que los educadores que laboran menos de cinco años en la IEST prefieren significativamente la cultura de mercado, en comparación con los docentes que laboran más tiempo, quienes se inclinan por la cultura de clan. La coexistencia de tipologías culturales preferidas refuerza la necesidad de que los coordinadores educativos comprendan a cabalidad las oportunidades que deben gestionar a futuro.

6. CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones y recomendaciones

Con base en los resultados sobre las apreciaciones de los docentes, los directivos son percibidos como organizadores y coordinadores, y la IEST se encuentra fuertemente influenciada por criterios de estabilidad, eficiencia y control impuestos por la cultura jerárquica dominante. Sin embargo, los educadores anhelan que las características

dominantes y liderazgo organizacional de la cultura de mercado se reflejen como cultura prevaleciente a futuro.

En tal sentido, se sugiere impulsar iniciativas estratégicas en la IEST orientadas a logros en el frente externo, que podrían resultar en ventajas competitivas apalancadas en la importante contribución de la cultura de clan, asociada al orden y control de la cultura jerárquica, sin dejar de lado la perspectiva creciente de consolidar más adelante las características de la cultura adhocrática.

En línea con el propósito de la presente investigación, brindamos a los directivos de la institución, al personal responsable de la gestión académica y a los propios docentes un mejor entendimiento de la CO actual y la deseada, así como de las características del estilo predominante y de las tipologías subsidiarias.

Recomendamos que, a partir de la referida información, puedan reconocer los aspectos internos favorables y los espacios de progreso relativos a la CO, con el fin de aprovechar las oportunidades del entorno, enfatizando el impulso a los procesos de mejora continua e innovación que les faciliten abordar el giro estratégico hacia la cultura de mercado anhelada por los docentes, en equilibrio con las demás tipologías del modelo CVF.

6.2 Contribuciones e investigaciones futuras

En primer lugar, la presente investigación ha aportado el primer estudio realizado en el ámbito de la educación superior tecnológica, cuya oferta educativa es complementaria a la de las universidades, con carreras técnicas de más corta duración.

En segundo término, se ha realizado una evaluación de las percepciones del colectivo docente respecto a la CO dominante en una IEST, utilizando el CVF y el OCAI por primera vez en el nivel de educación superior tecnológica.

Tercero, los resultados presentan información de utilidad para los niveles responsables de la gestión educativa de la IEST, porque comprender los rasgos culturales más significativos en una entidad educativa constituye una oportunidad para mejorar su eficacia, productividad e impulsar su transformación sobre la base del diagnóstico de situaciones con impacto en el logro de los objetivos estratégicos.

En cuarto lugar, aporta al diseño e implementación de mejoras estructurales o soluciones para, de ser el caso, renovar las percepciones culturales, debido a su importancia en la generación de compromiso, desempeño y comportamientos positivos en los educadores de la IEST.

En quinto lugar, los hallazgos ayudan a los directivos y profesores a comprender sus percepciones en términos de información acerca de la satisfacción y compromiso de los docentes.

Una sexta contribución, con relación al OCAI, está referida al uso de una escala ipsativa (Eijnatten et al., 2015) con el fin de evitar sesgos y facilitar comparaciones entre tipologías culturales, tanto en el contexto actual como el deseado.

No obstante, se puede enriquecer el estudio realizado haciéndolo extensivo a otras instituciones educativas, para acopiar resultados que permitan a las autoridades educativas tener una mejor comprensión y gestión en la educación superior tecnológica, con base en el diagnóstico de la CO de las IEST.

Para tal fin, se pueden proponer y desarrollar futuras investigaciones cuyo alcance hace posible, además, evaluar/ampliar información sociodemográfica complementaria, tal como género, edad, carreras de especialización, entre otras; así como extender el estudio a otros grupos de interés vinculados, por ejemplo, los colectivos de estudiantes y directivos.

Desde la perspectiva de los responsables de la gestión educativa tanto en el ámbito institucional como el de las autoridades, se podrían plantear también estudios sobre cómo, a partir de los resultados obtenidos, se definen líneas de actuación tendientes a mejorar la CO de las instituciones educativas y de la sociedad en general.

REFERENCIAS

- Antó, J. M., Martí, J. L., Casals, J., Bou-Habib, P., Casal, P., Fleurbaey, M., Frumkin, H., Jiménez-Morales, M., Jordana, J., Lancelotti, C., Llavador, H., Mélon, L., Solé, R., Subirada, F., & Williams, A. (2021). The planetary wellbeing initiative: Pursuing the sustainable development goals in higher education. *Sustainability*, 13(6), 3372. <http://dx.doi.org/10.3390/su13063372>
- Arévalo-Ascanio, J. G., Navarro-Claro, G. T., & Bayona-Trillos, R. A. (2017). La necesidad a medir la cultura organizacional. Una revisión del tema. *Revista Ingenio*, 12(1), 53-65. <https://doi.org/10.22463/2011642X.2124>
- Aydin, B. (2018). The role of organizational culture on leadership styles. *MANAS Journal of Social Studies*, 7(1), 267-280. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/578231>
- Barnes, N., Du Plessis, M., & Frantz, J. (2021). Institutional culture and academic career progression: Perceptions and experiences of academic staff. *SA Journal of Industrial Psychology*, 47(0), a1878. <https://doi.org/10.4102/sajip.v47i0.1878>
- Bauer, M., Niedlich, S., Rieckmann, M., Bormann, I., & Jaeger, L. (2020). Interdependencies of culture and functions of sustainability governance at higher education institutions. *Sustainability*, 12(7), 2780. <http://dx.doi.org/10.3390/su12072780>

- Belcher, B. M., Claus, R., Davel, R., & Jones, S. M. (2022). Evaluating and improving the contributions of university research to social innovation. *Social Enterprise Journal*, 18(1), 51-120. <https://doi.org/10.1108/SEJ-10-2020-0099>
- Caliskan, A., & Zhu, C. (2019). Organizational culture type in Turkish universities using OCAI: Perceptions of students. *Journal of Education Culture and Society*, 10(2), 270-292. <https://doi.org/10.15503/jecs20192.270.292>
- Cameron, K., & Quinn, R. (2011). *Diagnosing and changing organizational culture. Based on the Competing Values Framework*. Jossey-Bass.
- Casillo, F. (2020). Caracterizaciones contemporáneas de la cultura. Metáforas materialistas e idealistas acerca del patrimonio cultural en textos *online* de *La Nación*, *Clarín* y *Página/12*. *Austral Comunicación*, 9(2), 159-186. <https://doi.org/10.26422/aucom.2020.0902.cas>
- Cieciora, M., Pietrzak, P., Dębski, M., Kandefer, K., & Botkunow, W. (2021). Differences in the perception of organizational culture in non-public universities in Poland by academic and administrative staff – A study based on Cameron and Quinn's model. *Foundations of Management*, 13(1), 131-144. <https://doi.org/10.2478/fman-2021-0010>
- De Aparicio, X., Chinini Macanchi, M. A., & Toledo Rodríguez, O. C. (2017). El rol de la vinculación en la integración de las funciones sustantivas de la Universidad Metropolitana del Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 9(4), 37-43. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/660>
- Eijnatten, F., Ark, L., & Holloway, S. (2015). Ipsative measurement and the analysis of organizational values: An alternative approach for data analysis. *Quality & Quantity: International Journal of Methodology*, 49(2), 559-579. <https://doi.org/10.1007/s11135-014-0009-8>
- Esquinca Moreno, A., Jiménez Terrazas, C. P., & Gaggiotti, H. (2021). Cultura organizacional e inteligencia competitiva en una institución de educación superior del norte de México. *Nósis. Revista de Ciencias Sociales*, 27(53-2), 34-60. <https://doi.org/10.20983/noesis.2018.4.3>
- González Díaz, R. A., Ochoa Jiménez, S., & Celaya Figueroa, R. (2016). Cultura organizacional y desempeño en instituciones de educación superior: implicaciones en las funciones sustantivas de formación, investigación y extensión. *Universidad & Empresa*, 18(30), 13-31. <https://doi.org/10.12804/rev.univ.empresa.30.2016.01>
- Groh, A. (2019). *Theories of culture*. Routledge.
- Guízar Montúfar, R. (2013). *Desarrollo organizacional. Principios y aplicaciones*. McGraw Hill.

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill.
- Justo Gil, M. (1990). *Fundamentos del análisis semántico*. Universidad de Santiago de Compostela.
- Kovalenko, M., Rusnak, A., & Lomonosov, D. (2021). Ways of ensuring the compliance of the activities of higher education institutions with modern challenges. *Baltic Journal of Economic Studies*, 7(5), 104-113. <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2021-7-5-104-113>
- Kroeber, A. L., & Kluckhohn, C. (1952). *Culture: A critical review of concepts and definitions*. Harvard University Printing Office.
- Menon, S., & Suresh, M. (2020). Organizational agility assessment for higher education institution. *Journal of Research on the Lepidoptera*, 51(1), 561-573. <https://doi.org/10.36872/LEPI/V51I1/301050>
- Naranjo-Valencia, J. C., Jiménez-Jiménez, D., & Sanz-Valle, R. (2016). Studying the links between organizational culture, innovation, and performance in Spanish companies. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 48(1), 30-41. <https://doi.org/10.1016/j.rlp.2015.09.009>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2020). *Educación para el desarrollo sostenible. Hoja de ruta*. UNESCO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2021). *Reimagining our futures together: A new social contract for education*. UNESCO.
- Parasii-Verhunenko, I., Kuznetsova, I., Misko, H., Biriuk, O., & Zharikova, O. (2020). Strategic analysis of the competitiveness of educational products in the management of higher education institutions. *Independent Journal of Management & Production*, 11(9), 2496-2515. <https://doi.org/10.14807/ijmp.v11i9.1421>
- Pedraja Rojas, L. M., Marchioni Choque, Í. A., Espinoza Marchant, C. J., & Muñoz Fritis, C. P. (2020). Liderazgo y cultura organizacional como factores de influencia en la calidad universitaria: un análisis conceptual. *Formación Universitaria*, 13(5), 3-14. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062020000500003>
- Porter, M. (1980). *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. Free Press.
- Rivera, D. A., Carrillo, S. M., Forgiony, J., Nuván, I. L., & Rozo, A. C. (2018). Cultura organizacional, retos y desafíos para las organizaciones saludables. *Revista Espacios*, 39(22), 1-14. <http://hdl.handle.net/20.500.12442/2165>
- Robbins, S., & Coulter, M. (2018). *Administración*. Pearson.

- Ruiz-Mallén, I., & Heras, M. (2020). What sustainability? Higher education institutions' pathways to reach the Agenda 2030 Goals. *Sustainability*, 12(4), 1290. <https://doi.org/10.3390/su12041290>
- Saiz-Sáenz, M., y Jácome, R. (2022). Revisión bibliográfica: la cultura organizacional de las instituciones de educación superior. *Revista Gestión de las Personas y Tecnología*, 15(43), 20. <https://doi.org/10.35588/gpt.v15i43.5463>
- Saleh, R., & Atan, T. (2021). The involvement of sustainable talent management practices on employee's job satisfaction: Mediating effect of organizational culture. *Sustainability*, 13(23), 13320. <https://doi.org/10.3390/su132313320>
- Schein, E. H. (2004). *Organizational culture and leadership*. Jossey-Bass.
- Serpa, S., & Sá, M. J. (2022). Trust in higher education management and organizational culture. *Journal of Educational and Social Research*, 12(1), 8. <https://doi.org/10.36941/jesr-2022-0002>
- Thien, N. H. (2020). Exploring the organizational culture of higher education institutions in Vietnam from faculty's perspective – A case study. *Journal of International and Comparative Education*, 9(2), 58-76. <https://doi.org/10.14425/jice.2020.9.2.0704>
- Trivedi, R., & Prakasha, G. S. (2021). Student alienation and perceived organizational culture: A correlational study. *International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)*, 10(4), 1149-1158. <http://doi.org/10.11591/ijere.v10i4.21304>
- Turpo-Gebera, O., & Pérez-Zea, A., (2020). Sistemas basados en la cultura organizacional de los docentes de carrera y de estudios generales de una universidad peruana. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, E31, 192-207. <https://www.researchgate.net/publication/344388627>
- Turpo-Gebera, O., Pérez-Zea, A., Pérez-Postigo, G., & Lazo-Manrique, M. (2021). Cultura en universidades peruanas: estudio de caso. *Revista Venezolana de Gerencia*, 26(93), 192-208. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29066223013>
- Ulloa-Eraza, N. (2019). Cultura organizacional ¿un paradigma social? *ComHumanitas: Revista Científica de Comunicación*, 10(2), 150-173. <https://doi.org/10.31207/rch.v10i2.201>
- Umrani, W. A., Shah, S. M. M., Memon, P. A., & Samo, A. H. (2017). Organizational culture and business performance: An empirical investigation in the Pakistani context. *International Journal of Academic Research in Economics and Management Sciences*, 6(1), 93-107. <https://doi.org/10.6007/ijarems/v6-i1/2575>
- Waller, R. E., Lemoine, P. A., Mense, E. G., Garretson, C. J., & Richardson, M. D. (2019). Global higher education in a VUCA world: Concerns and projections. *Journal of Education and Development*, 3(2), 73-83. <https://doi.org/10.20849/jed.v3i2.613>

- Yopan Fajardo, J., Palmero Gómez, N., & Santos Mejía, J. (2020). Cultura organizacional. *Controversias y Concurrencias Latinoamericanas*, 11(20), 263-289. <http://ojs.sociologia-alas.org/index.php/CyC/article/view/156>
- Žalėnienė, I., & Pereira, P. (2021). Higher education for sustainability: A global perspective. *Geography and Sustainability*, 2(2), 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.001>

MODELO PARA LA MEJORA DEL SERVICIO DE ATENCIÓN AL CLIENTE MEDIANTE LA TEORÍA DE COLAS: CASO DE ESTUDIO DE UNA AGENCIA BANCARIA

LETICIA SIU LENG LEÓN LAZO
20172281@aloe.ulima.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-4766-2728>
Universidad de Lima, Perú

LORENA PAOLA VIVANCO VIVANCO
20171715@aloe.ulima.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-2762-2980>
Universidad de Lima, Perú

RESUMEN

El análisis de las líneas de espera en las diferentes agencias bancarias nace por el descontento de la población por las largas colas y un tiempo promedio de más de 8,539 minutos de espera para recibir el servicio respectivo, tomando en cuenta el día y hora con mayor demanda. Por eso es necesario un equilibrio entre la capacidad y la oferta. El objetivo de esta investigación es aplicar la teoría de colas como base fundamental para modelar el sistema con la ayuda del *software* Arena (16.1 Student Version), y analizar su comportamiento para identificar las posibles mejoras y lograr una mayor calidad de servicio al cliente. Así se simuló el comportamiento de las líneas de espera, definiendo los recursos, los tiempos de espera, el tiempo entre llegadas, las entidades involucradas, entre otros. Además, se utilizó un enfoque cuantitativo de alcance explicativo y descriptivo para la obtención de datos. De esta manera, al realizar las réplicas en el *software* con el modelo propuesto, se consiguieron resultados positivos, tales como la reducción de tiempo en cola en un 52,61 %; pero también se identificaron factores que incrementan ese tiempo, como el hecho de que el cliente no finaliza el proceso y se retira porque desconoce ciertos requisitos para la operación que desea realizar. Por ello, la mejora planteada también ayuda a disminuir el número de personas que se retiran del proceso, cuyo porcentaje pasó de 14,52 % a 4,032 %. Finalmente, la existencia de diferentes variables en los clientes que no califican un buen servicio de atención con un menor tiempo de espera limita los resultados obtenidos.

PALABRAS CLAVE: teoría de colas, servicio de atención, simulación, agencia bancaria

MODEL FOR IMPROVING CUSTOMER SERVICE THROUGH QUEUING THEORY: CASE STUDY OF A BANKING AGENCY

ABSTRACT

ABSTRACT. This article analyses waiting lines at a bank branch where customers described long queues and waiting time (8,539 minutes on average) as the main problem with the bank's service. For research purposes, we modeled a system, based on queuing theory, in Arena software (16.1 Student Version) to identify possible improvements to customer service. The waiting line simulation considered resources, waiting times, time between arrivals, and entities involved. We gathered data using an explanatory and descriptive quantitative approach. The proposed model offered positive results, such as a 52,61 % reduction in queue time. The model also allowed us to identify different factors affecting queue time, such as customers who do not finish the process and leave because they did not comply with all the requirements for a given service. The proposed improvement also helps to reduce the number of people who withdraw from the process from 14,52 % to 4,032 %. Different variables that determine poor customer service reviews despite shorter waiting time limits the results obtained.

KEYWORDS: queuing theory, customer service, simulation, bank agency

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la experiencia bancaria es definida por muchas personas como tediosa y se ha vuelto un símbolo de insatisfacción por las extensas líneas de espera, lo cual tiene como consecuencia que la mayoría de los clientes prefieran evitarlas de todas las maneras posibles. Por otra parte, los productos y servicios que ofrecen las diferentes agencias bancarias guardan una gran similitud entre ellos. Por ello, la decisión de cuál de ellas elegir depende muchas veces de la calidad del servicio al cliente (Entriger, 2020).

La teoría de colas es una herramienta que se caracteriza por su enfoque sistemático y por su aplicación en modelos que analizan el comportamiento de las líneas de espera (Peter & Sivasamy, 2019). Por lo general, la mala gestión de dichas líneas se debe a la disparidad entre la capacidad de la empresa al brindar el servicio y la demanda. Por eso, el objetivo principal al aplicar la teoría de colas es determinar la capacidad apropiada y la estabilidad del sistema para poder garantizar el equilibrio y una buena calidad del servicio al cliente (Kittsteiner & Moldovanu, 2005).

Los modelos matemáticos basados en la teoría de colas presentan una alta variedad, que difiere en sus supuestos: tiempo de llegada del cliente, capacidad de la cola, tiempo de espera, número de servidores, entre otros (Dorda et al., 2019). A partir de la información obtenida, la simulación puede ser utilizada como una técnica para ejecutar estos modelos, con resultados y predicciones relativamente rápidas, representando así la situación con las modificaciones propuestas de manera concisa (Portilla et al., 2010).

Existen muchos escenarios en los que, para recibir un servicio, el usuario debe esperar para ser atendido. Las agencias bancarias no son ajenas a esta realidad, pues constituyen uno de los servicios más utilizados y en los cuales se generan las mayores molestias por sus largas colas y la demora en sus tiempos de espera. Esto depende de distintos factores: el día, el horario, la disponibilidad de los recursos, etcétera. Por ejemplo, en los días de fin de mes, la afluencia de usuarios suele ser mayor; o en las horas de cambio de turno del personal de caja, se reduce la capacidad de atención y aumenta el tiempo de espera del servicio. En la mayoría de los casos, esto se origina porque la capacidad del servicio es menor que la demanda (López Hung & Joa Triay, 2018). La teoría de colas busca comprender y determinar el funcionamiento de las colas, examinando los diferentes escenarios para diseñar estrategias que permitan alcanzar la capacidad idónea para brindar un servicio de calidad (Cárdenas Estrada et al., 2019). Con la aplicación de un *software* es factible simular y representar visualmente el comportamiento del sistema, lo cual permite cambiar los parámetros que definen el proceso de la simulación, de manera que facilita la experimentación (Vallejos et al., 2017).

En este contexto, resulta crucial evaluar la satisfacción del cliente con el servicio proporcionado, lo que se puede realizar de dos maneras: una medición objetiva del grado de cumplimiento respecto a la calidad requerida y las encuestas dirigidas al cliente

(Morán Ruiz, 2017). Por ejemplo, los modelos matemáticos son aplicados mediante el concepto de teoría de colas como representación de los comportamientos de las líneas de espera en diferentes escenarios (Vega de la Cruz, 2017). De esta manera, se encuentra una estabilidad entre el número de los clientes que se encuentren esperando y la cantidad de cajas bancarias que llevan a cabo el servicio.

El problema de las largas e interminables colas en diferentes agencias bancarias no es nuevo. En muchas ocasiones, los medios de comunicación han informado acerca de la aglomeración de personas en las agencias por falta de organización e información. Los usuarios que se encuentran en cola no solo se forman para realizar sus cobros en la agencia, también los que carecen de información del bono otorgado por el gobierno, por ejemplo (Redacción RPP, 2021). En este caso, es fundamental destacar la relevancia de establecer una efectiva comunicación con el cliente, la información que se ofrece y cómo se relaciona con la empresa, debido a que la satisfacción del cliente se ve reflejada en los resultados del crecimiento de una organización. Por ello, el cliente será el factor decisivo para obtener un impacto positivo en varios aspectos, tales como una mejor relación cliente-empresa, satisfacción, lealtad, competitividad, entre otras (Robayo, 2017).

El objetivo de este estudio es identificar posibles mejoras en el servicio de atención al cliente en una agencia bancaria de Lima Metropolitana, Perú, utilizando la teoría de colas y el *software* de modelación Arena. Se busca medir e identificar las variables más influyentes en el servicio brindado, representar el comportamiento del sistema y predecir posibles impactos. Se aborda el problema de las largas colas y tiempos de espera en las agencias bancarias, y se destaca la importancia de la comunicación con el cliente y la satisfacción como factores clave para el crecimiento de una organización.

El artículo sigue la siguiente estructura: la sección 2 examina el estado del arte, la sección 3 describe la metodología, la sección 4 expone los hallazgos del estudio o resultados, la sección 5 se dedica a la discusión de los mismos y, por último, la sección 6 aborda las conclusiones del trabajo.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 La teoría de colas y el servicio al cliente

Cada vez son más las industrias de servicios en las que se forman las denominadas líneas de espera para la atención, las cuales llegan a ser un impedimento para alcanzar la satisfacción del cliente. Según Cárdenas Estrada et al. (2019), las situaciones de espera surgen cuando los clientes se acercan solicitando un servicio, pero este no se encuentra disponible, lo cual los lleva a decidir si desean esperar para recibirlo; si la espera se extiende excesivamente, los clientes podrían elegir retirarse, lo que resultaría en pérdidas para la empresa. La teoría de colas tiene como principal objetivo lograr una

estabilidad en el sistema y establecer una capacidad de servicio suficiente que asegure un balance entre el factor cuantitativo, relacionado con los costos del sistema, y el factor cualitativo, relacionado con la satisfacción del cliente con el servicio brindado (Portilla et al., 2010).

La estructura de un sistema de colas se compone de los siguientes elementos. Los clientes que requieren un servicio emergen en el transcurso de tiempo en una fuente de entrada. Posteriormente, ingresan al sistema para unirse a una cola de espera. En un momento específico, se elige un cliente de la cola para recibir el servicio, utilizando alguna regla conocida como disciplina de la cola. Se proporciona el servicio solicitado por el cliente a través de un mecanismo de atención, se le atiende y posteriormente el cliente abandona el sistema de colas (Hillier & Lieberman, 2010).

Proporcionarle un servicio de calidad satisfactorio al cliente constituye uno de los principales retos para toda organización, pues supone un proceso de alcanzar la satisfacción del cliente con el servicio proporcionado. Las empresas se esfuerzan considerablemente por ofrecer a los clientes una variedad de actividades que cuentan con una esencia única, con el objetivo de lograr que se sientan satisfechos y perciban que el valor invertido por su adquisición es correspondido (García, 2016). El servicio prestado por las agencias bancarias tiene un rol cada vez más importante en la sociedad moderna; la globalización ha motivado a las instituciones financieras a competir a través de la inversión tecnológica e innovación como una estrategia para destacarse y diferenciarse con el objetivo de garantizar la lealtad de los clientes (Morillo et al., 2011).

2.2 Antecedentes de la teoría de colas en diferentes escenarios

Desde el punto de vista de López Hung y Joa Triay (2018), el uso de la teoría de colas en diferentes escenarios ayuda a consolidar una base teórica tanto del tipo de servicio como del diseño, que puede lograrse mediante modelos matemáticos. Vinculando a lo anteriormente expuesto, se encontraron los siguientes aportes al estado del arte del presente artículo.

En primer lugar, al aplicarse la metodología mencionada en una agencia bancaria brasileña, se demostró que una buena relación entre la demanda y la capacidad tiene como resultado un tiempo de espera menor para los clientes, así como la obtención de información necesaria para proponer mejoras al sistema, lo que abarca a la empresa y la satisfacción del cliente (Entriger, 2020). Por consiguiente, Wang et al. (2020) enfatizan que se debe determinar una estrategia óptima de las colas, ya que presentan muchos factores, lo que dificulta la minimización de las líneas de espera; esto es posible mediante la modelación de los sistemas con base en la teoría de colas para simularlas. En síntesis, para diseñar un modelo con enfoque de la teoría de colas, es necesario obtener los datos que tengan la mayor influencia en el comportamiento del sistema para lograr el

establecimiento de un perfil o estrategia de mejora de la situación actual (Longaray et al., 2016).

En un contexto similar, como las líneas de espera originadas en el sector de salud, Song et al. (2015) encuentran que la gestión de colas permite que los pacientes tengan un menor tiempo de espera, de manera que se genere una mayor capacidad para brindar el servicio médico y se mejore su calidad. Asimismo, en un centro de ortopedia, fue posible determinar una alta probabilidad de que los tiempos en la cola sean de cinco minutos en promedio, por lo que se trazaron estrategias para reducirlo y mejorar la calidad de la estancia (Vega de la Cruz et al., 2017). De igual manera, Peter y Sivasamy (2019) señalan que la teoría de colas demuestra eficacia en este tipo de sistemas de gestión, aportando un marco de ciertos aspectos para la satisfacción de los pacientes, a pesar de que existen situaciones en la que no será posible la reducción de tiempos. En este sentido, Komashie et al. (2015) destacan que es de gran importancia determinar los factores de mayor impacto en la satisfacción del cliente.

La teoría de colas busca determinar el funcionamiento y analizar el comportamiento de las líneas de espera en distintos escenarios para plantear estrategias que permitan lograr la capacidad óptima para brindar un buen servicio (Cárdenas Estrada et al., 2019). En el sector de servicios alimentarios, se analizó el caso de Burger Ranch, un restaurante que presentaba un problema porque su capacidad de atención no era suficiente para la cantidad de clientes que atraía a ciertas horas del día, por lo cual perdía ventas, ya que los clientes simplemente se retiraban u optaban por otras opciones. Según Dorda et al. (2019), con un buen diseño para la prestación de un servicio idóneo, se puede estimar el número óptimo de servidores que deberían estar en el sistema para minimizar las pérdidas económicas; y satisfacer las necesidades del cliente brindándole un mejor servicio de calidad y eficacia. En el sector industrial, se halló el caso de una empresa de máquinas que buscaba optimizar el número de reparadores con respecto a los costes del sistema, debido a que se presentaban continuamente averías, fallos u otros problemas que necesitaban ser solucionados para cumplir con las funciones respectivas; y para optimizar la gestión de sus procesos, se aplicó la teoría de colas.

Otras investigaciones sobre las líneas de espera y la atención en el servicio brindado al cliente se enfocan en estrategias para la organización de los clientes. En el primer estudio, se buscaba un mayor orden en el sistema de las colas, por lo cual se desarrolló el diseño de un modelo para asignar la prioridad y el orden en el que los clientes llegaban para recibir un servicio. Para Kittsteiner y Moldovanu (2016), hay dos razones para otorgar prioridad a algunos clientes: la primera, porque puede conducir a una reducción en los costos generales de las colas; y la segunda, porque los clientes estarán dispuestos a pagar un poco más con tal de ser atendidos en el menor tiempo posible, con lo cual la prestadora de servicios se beneficia debido al incremento de ingresos. Otro estudio

relacionado aborda la implementación de precios cíclicos a un servicio; un ejemplo de ello es el caso de Estados Unidos, donde muchos parques temáticos ofrecen descuentos de marzo a octubre, la temporada alta de turismo (Huang et al., 2019). Se demostró que, al aplicar precios cíclicos, tanto los clientes como el proveedor se ven beneficiados, ya que la prestadora de servicios incrementa su rentabilidad y no se ve afectada la calificación del cliente. El último estudio comprende el desarrollo de estrategias para reducir los costos por el tiempo de espera mediante la implementación de prioridad de colas aplicada a una agencia de servicios. De acuerdo con Gavirneni y Kulkarni (2016), la segmentación de clientes es el concepto por el cual los precios se cobran en función de la capacidad disponible para determinar mejor lo que un cliente está dispuesto a pagar por un producto o servicio; ello permite a los proveedores aumentar sus ganancias, hacer eficiente el sistema y, al mismo tiempo, otorgar al cliente un buen servicio.

Finalmente, Dorda et al. (2019) agregan que es de vital importancia designar el servicio para cada cliente que ingrese al sistema, ya que a partir de esta información se puede optimizar el número de servidores para mejorar la eficiencia y evitar pérdidas de tiempo valioso mediante los modelos matemáticos ejecutados en una simulación. Estas simulaciones se caracterizan por su rapidez en la ejecución y su alta precisión en comparación con otros métodos, tomando en cuenta las diferentes variaciones de los factores y sus niveles de clasificación (Zengin et al., 2016).

3. METODOLOGÍA

En la presente investigación, se empleó un enfoque cuantitativo con un alcance explicativo y descriptivo. Se describe el método por el cual se realizó la obtención de datos; además, se incluyeron conceptos relacionados con el diseño de modelos y la aplicación de colas, que son relevantes para el desarrollo de este trabajo (Entriger, 2020).

3.3 Recopilación de datos

La recolección de datos para establecer la base del modelo de simulación se hizo mediante la toma de tiempos por turnos durante dos meses. La población objetivo fueron los clientes de una agencia bancaria en el área de servicio de atención. De esta manera, la distribución que tienden a seguir se analizó mediante la herramienta Input Analyzer de Arena. Cabe destacar que se tuvo en cuenta las horas y los días pico. La Figura 1 presenta la cantidad de arribos promedio en la semana, que, en su mayoría, son los días lunes y martes; para este estudio, se escogió entre ambos el día lunes.

Figura 1

Arribos promedio a lo largo de la semana

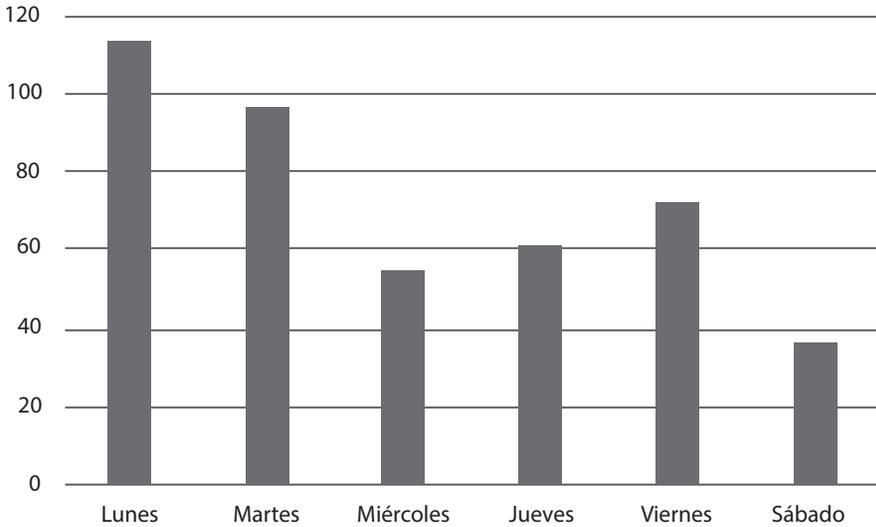


Tabla 1

Composición de los usuarios en una agencia bancaria en un día pico

Tipo de cliente	Porcentaje (%)
Cliente 1 (regular)	75,14
Cliente 2 (preferencial)	24,86

En el caso de la hora pico, se observó que a partir de las cinco de la tarde aumentaba la demanda, pues solo falta una hora antes de que cierre la agencia bancaria. De este modo, los usuarios que llegan a última hora generan las aglomeraciones y hacen que el avance de la cola se vuelva más lento. Es importante indicar que, para el estudio, se asume que los agentes de ventanilla tienen una misma eficiencia, puesto que todos son capacitados por igual y al momento del reclutamiento el personal es calificado por sus competencias y habilidades.

3.2 Diseño del modelo y definición de data

Figura 2

Diagrama de procesos

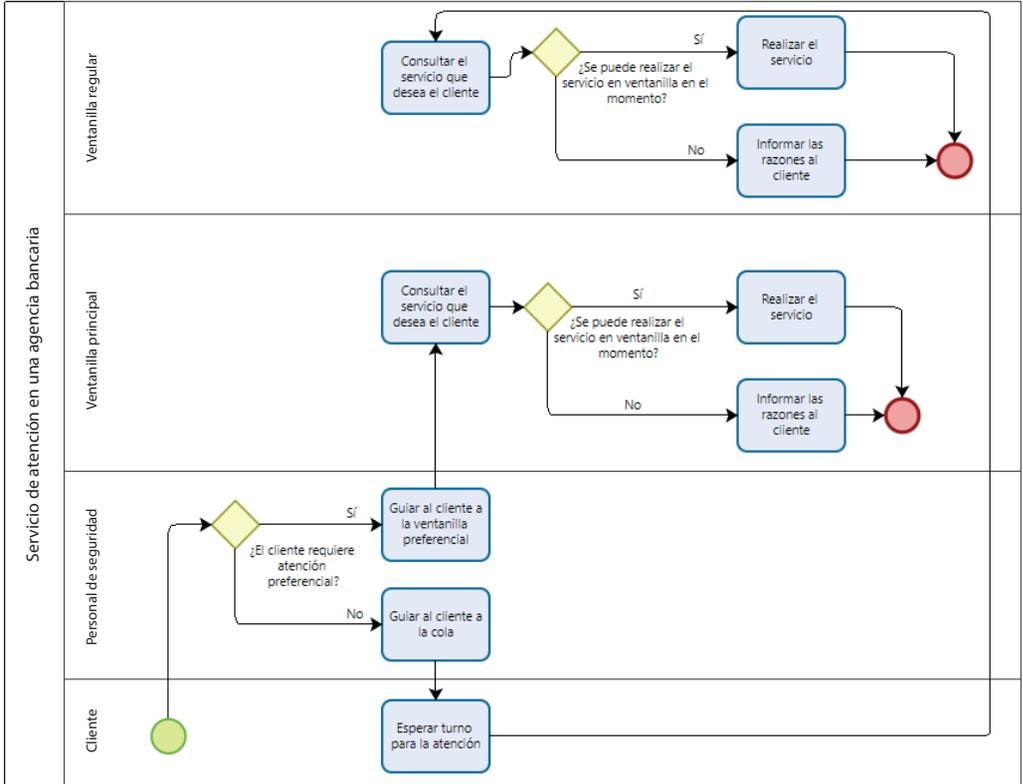
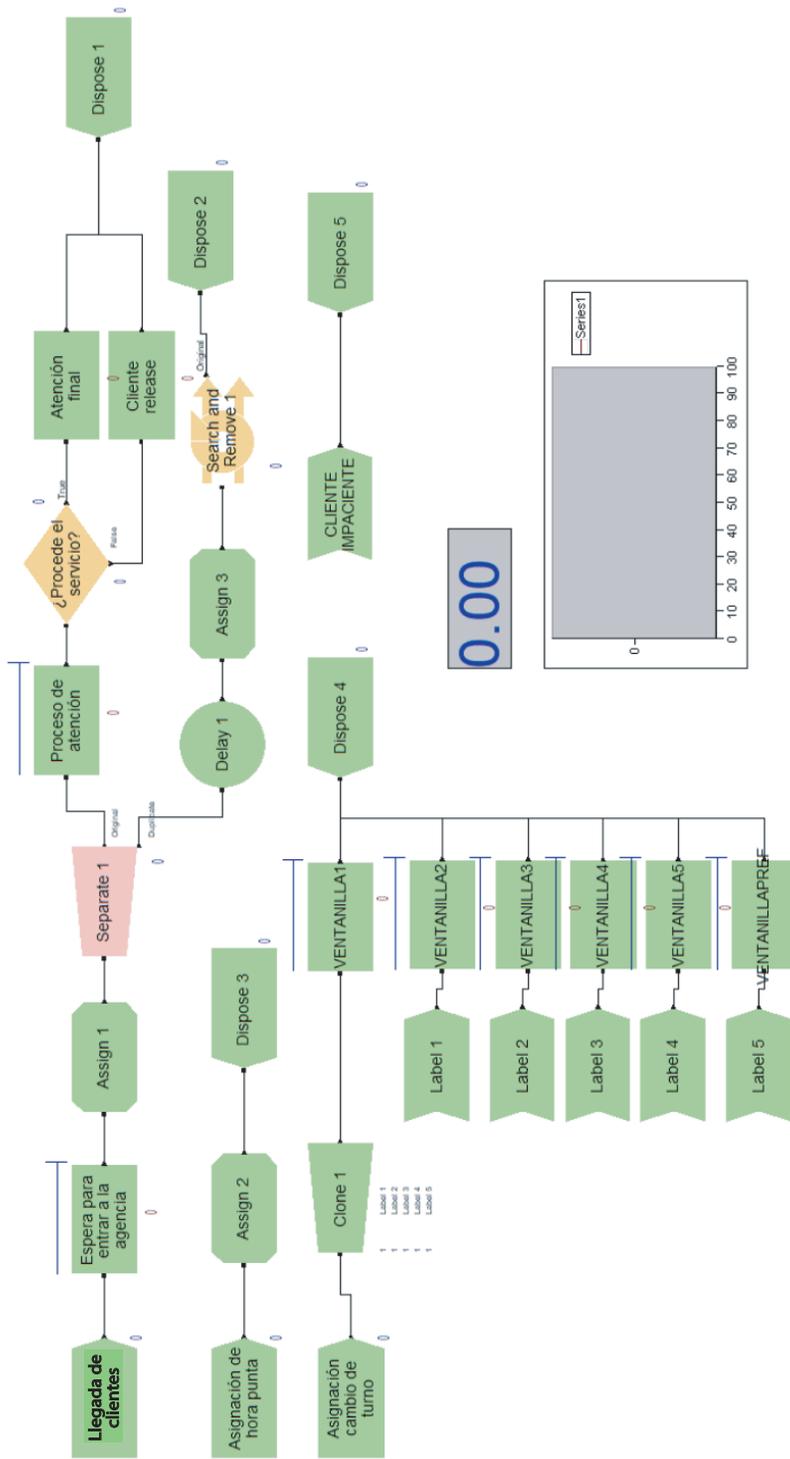


Figura 3

Modelo del sistema actual



En primer lugar, para modelar el escenario actual del sistema en ventanilla de la agencia bancaria, se tomó en cuenta los datos del día lunes, que fue seleccionado como día pico. En la información recolectada, se observó que existen dos tipos de clientes, el regular y preferencial, los cuales se designan como cliente 1 y cliente 2, respectivamente. El horario de atención del banco comprende desde las 9:00 horas hasta las 18:00 horas, con un aumento del número de clientes a partir de las 17:00 horas. Por otro lado, no se considera una hora específica de almuerzo, ya que existe un doble turno; sin embargo, durante el cambio de turno, que es realizado por todos los cajeros, se presenta una espera adicional para los clientes de aproximadamente diez minutos como máximo. En segundo lugar, ante la llegada de los clientes a la agencia bancaria, el agente de seguridad los guía a la cola para ser atendidos en ventanilla según el tipo de cliente. El banco cuenta con seis ventanillas regulares y una preferencial, que atiende exclusivamente a los clientes designados; no obstante, cabe la posibilidad de que si el cajero de usuario regular está libre, el cliente preferencial pueda usarlo, y viceversa. Asimismo, se observó que después de una espera de entre 25 y 30 minutos como máximo, los clientes se retiran. En tercer lugar, al iniciarse el servicio, se consulta si este procede, ya que existen casos en los cuales no es posible brindar el servicio por ventanilla o no es necesario. Finalmente, los clientes que no reciben el servicio se retiran, y los que permanecen, salen del sistema luego de su consulta.

Tabla 2

Definición de data actual

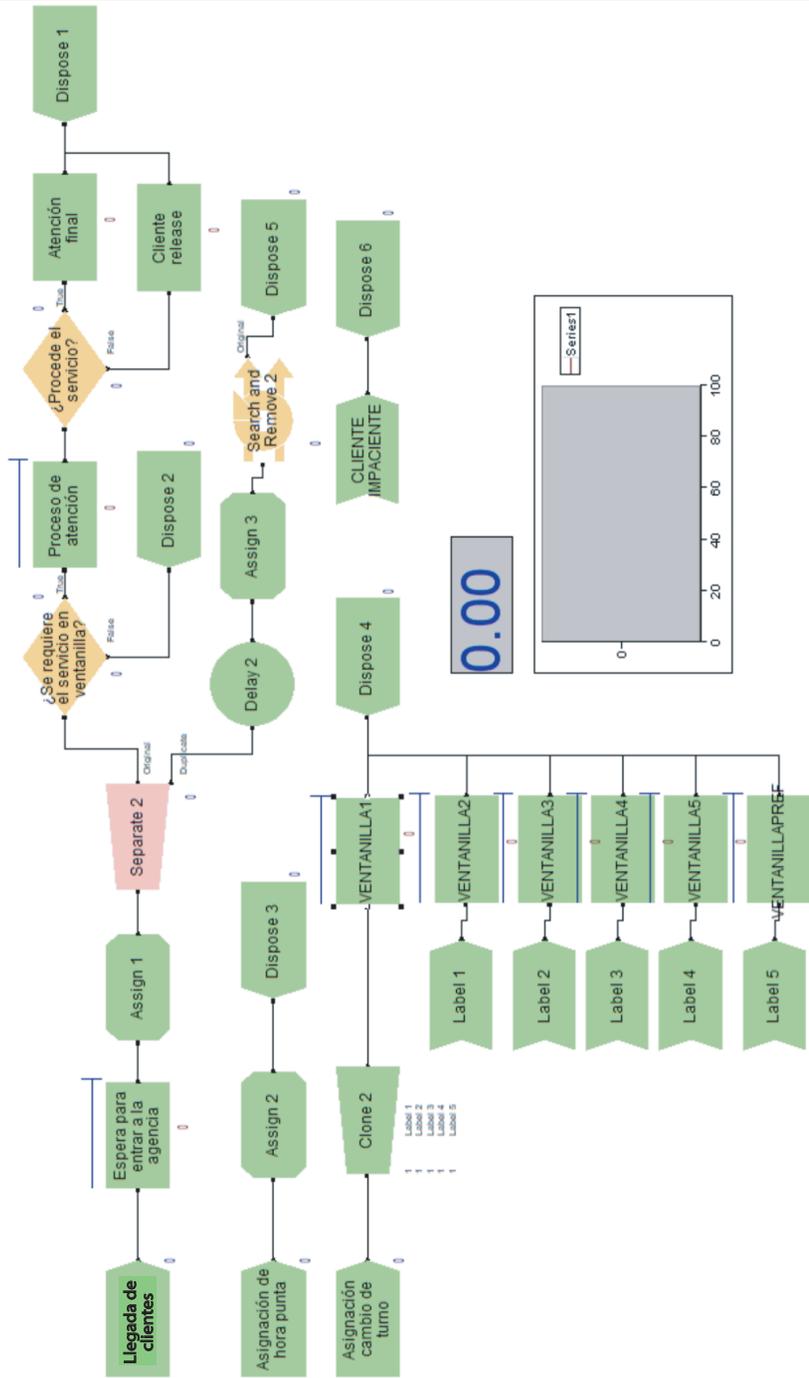
Módulo	EntityType	Descripción	Expresión
Llegada de clientes	Cliente	Cliente que ingresa al sistema.	Unif(Vmin, Vmax, 1) First Creation: Unif(3,5)
Asignación de hora punta	HoraPunta	Ingresar nuevos valores para la llegada de clientes.	First Creation: 8
Asignación cambio de turno	CTurno	Define los cambios de turno por ventanilla.	First Creation: 5
Assign1	Variable y atributo	Define el tipo, variable tiempo y número de clientes.	Variable, CUENTA, CUENTA+1 Attribute, NUMERO, CUENTA Attribute, TIEMPO, Unif(25,30) Attribute, TIPOCLIENTE, disc(0.75,1,1,2)

(continúa)

(continuación)

Módulo	EntityType	Descripción	Expresión
Assign2	Variable	Definición de nueva distribución en hora punta.	Variable,Vmin,1 Variable,Vmax,2
Assign3	Variable	Selecciona el número de clientes que sobrepasan el tiempo máximo de espera.	Variable,BUSQUEDA, NUMERO
Separate1	Duplicate Original	Duplicar al cliente para simular a los que se retiran después de 10 a 15 minutos de espera.	50%, 1# duplicate
Delay1	Delay	Define a los clientes que deciden retirarse.	Delaytime: TIEMPO
Search and remove	Search a Queue	Los clientes definidos en el delay1 se retiran del sistema.	BUSQUEDA==NUMERO Destination Label CLIENTE IMPACIENTE
Clone1	Clone	Clona el recurso de ventanillas para organizar los cambios de turno.	1,Label1/2,Label2... /5,Label5
Cliente impaciente	Label	Retira a los clientes impacientes.	CLIENTE IMPACIENTE
¿Procede el servicio?	Decide	Separa a los clientes que proceden con el servicio en ventanilla.	Percent true: 60%
Espera para entrar a la agencia	Seize Delay Release	El cliente realiza una consulta al vigilante.	Unif(1,2) Resource,VIGILANTE,1
Proceso de atención	Seize Delay	Según el tipo de cliente, se brinda el servicio inicial.	Set, VENTANILLAS, 1, Specific member, TIPOCLIENTE Unif(9,11)
Atención final	Delay Release	Se realiza la operación final deseada por el cliente.	Set, VENTANILLAS, 1, Specific member, TIPOCLIENTE Unif(15,18)
ClienteRelease	Delay Release	Módulo para liberar a la entidad cliente.	Set, VENTANILLAS, 1, Specific member, TIPOCLIENTE
VENTANILLA 1-5	Seize Delay Release	Módulos para realizar el cambio de turno por ventanilla.	Resource, VENTANILLA,1
VENTANILLA PREF.			Constant(10)

Figura 4
Propuesta de modelo para el proceso de simulación



Al analizar el escenario original, se determinó que el sistema puede mejorarse tanto en ahorro de tiempos como en ofrecer una mejor calidad de servicio al cliente, estableciendo un mejor balance entre la demanda y la disponibilidad de recursos con los que cuenta (Entriger, 2020). Esto se puede lograr introduciendo al sistema una nueva persona encargada de preguntar a las personas por el servicio que buscan e informarles la manera en la que puede llevarse a cabo. Por lo tanto, se reduce el número de personas en cola, el porcentaje de clientes que ya no puede proceder con el servicio por ventanilla y los que se retiran por esperar demasiado en la cola. El nuevo personal orientará a los usuarios en cola si el servicio que buscan recibir se realiza en ventanilla o se puede hacer por otro medio como plataforma o cajero; de esta manera, se ahorrará tiempo de espera haciendo cola en ventanilla para recibir un servicio al que es posible acceder por otro medio.

Tabla 3

Cambios en la definición de data

Módulo	Inputdata	Descripción	Expresión
Decide EscOriginal Procede el servicio	2-way chance	Se refiere a si puede atender el servicio de atención en ventanilla.	65% Percent true (no varía).
Decide EscMejora Procede el servicio	2-way chance	Se refiere a si puede atender el servicio de atención en ventanilla.	85% Percent true.

3.4 Técnicas e instrumentos

En la aproximación al comportamiento de colas en el servicio al cliente, se tuvo en cuenta que, para realizar el análisis, se necesitó determinar diferentes probabilidades, entre ellas, la existencia o no de las líneas de espera, el tiempo que el cliente decide permanecer en la cola, el rendimiento del proceso y la satisfacción por parte del cliente (López Hung & Joa Triay, 2018). En este sentido, la teoría de colas proporciona una base teórica y el modelamiento o simulación de los sistemas, el cual puede variar según la complejidad del escenario que se va a investigar y el objetivo con el que se realiza; en este caso, es del tipo *input-output*, ya que se insertan datos de entrada para obtener los resultados (Entriger, 2020).

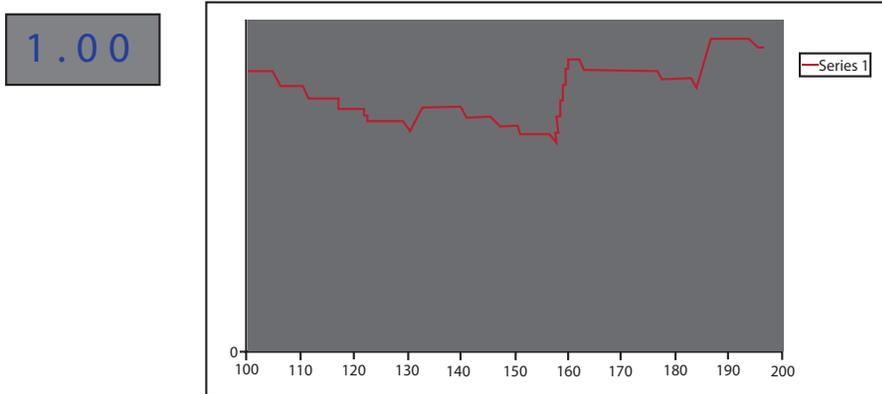
En tal virtud, se utilizó la simulación y diseño de modelos para diseñar y evaluar dos escenarios: el primero describe la situación original y el segundo comprende los cambios sugeridos basados en la teoría de colas; posteriormente, se comparan ambos escenarios mediante el traslape de intervalos de confianza para comprobar la mejora. En este contexto, el instrumento principal es el *software* para modelación de eventos discretos, en este caso, Arena Software Simulation (16.1 Student Version).

3.5 Criterios de validez

Para procesar los datos relacionados con el comportamiento de las líneas de espera en una agencia bancaria de Lima Metropolitana, se definió la data de entrada en el simulador: el horario de atención, el porcentaje por tipo de cliente, los tiempos entre llegadas, los cambios por turno, el tiempo de servicio, la proporción de clientes que procedieron con el servicio y el número de ventanillas. Posteriormente, el simulador realizó un total de 30 réplicas con un 95 % de confianza para lograr una representación más exacta respecto a la realidad, y en el reporte se obtuvo los indicadores para evaluar el nuevo escenario con la propuesta de mejora. Asimismo, con ayuda del módulo "Variable" se pudo observar en tiempo real el comportamiento de la simulación (véase la Figura 5).

Figura 5

Validación de modelo vs. realidad chart plot



Como se puede observar en el *chart plot*, el número de personas en cola empieza a aumentar según las variables mencionadas en el proceso, con lo que se comprueba que el comportamiento de la cola se asemeja al real.

4. RESULTADOS

Tras el procesamiento de la data en el Arena Software Simulation para la evaluación de tiempos antes realizada, se obtuvieron los siguientes reportes, los cuales muestran resultados en dos tipos de escenarios: el escenario original y el escenario óptimo. A continuación, se presentan los resultados del primer escenario.

Tabla 4*Escenario original: waiting time*

<i>Waiting time</i>	Media
Proceso de atención. <i>Queue</i>	8,539

Tabla 5*Escenario mejorado: number waiting*

<i>Number waiting</i>	Media
Proceso de atención. <i>Queue</i>	18

En el escenario original, se encontró que el tiempo promedio de espera en cola es de 8,539 minutos, lo cual indica que cuando un cliente va a una agencia bancaria y hace la cola respectiva para realizar algún tipo de operación le va a tomar el tiempo mencionado. De acuerdo con Belás y Gabčová (2016), el reconocimiento de las necesidades financieras de un cliente es esencial para la gestión eficaz de la venta de productos y servicios, pues se obtiene como resultado una experiencia satisfactoria. Por ello, adicionalmente, se considera que el proceso de atención tiene una duración inicial aproximada de diez minutos; antes de definir si es posible realizar la operación en ventanilla, en el caso de que se continúe, se agregan entre quince a dieciocho minutos en promedio; por tanto, el tiempo en sistema del cliente se incrementa, generando incomodidad y su eventual retiro antes de recibir el servicio. Para evitar esto, se debe tener en cuenta la atención limitada que se brinda para trazar las estrategias de diseño de las formas de servicio (Canyakmaz & Boyaci, 2021). Por otro lado, el tiempo de espera puede incrementarse o reducirse, pues es afectado por la hora en que el cliente va al banco, la operación que va a realizar y el número de ventanillas disponibles.

Del mismo modo, en la Tabla 6, se muestra el número de personas que se retiraron de cola por esperar más de un tiempo determinado, que se encontró que era de entre 20 y 25 minutos. Con respecto a ello, se calculó que casi un 14,51 % de los usuarios que ingresa a la agencia bancaria se termina retirando debido al alto tiempo de espera.

Tabla 6*Número de personas que se retiran de la cola*

Número de personas que ingresan al sistema	124
Número de personas que se retiran de la cola	18

Sobre esta base, la investigación busca lograr la optimización del servicio, así como la eficiencia de los recursos implicados dentro del sistema para mejorar el proceso de atención al cliente de la agencia bancaria y así reducir el tiempo de espera en cola (Nascimento et al., 2021). Debido a esto, se incorporó un nuevo recurso: un personal que pregunte a los clientes en cola la operación que van a realizar, lo que permite agilizar los movimientos y ahorrar tiempo, pues existen otros medios para hacer las mismas operaciones, ya sea mediante la plataforma digital, la banca por internet o la aplicación del banco. Otras posibilidades, entre otras, son que dicha operación no se realice en ventanilla o que el cliente solo haya ido para hacer una consulta, y por eso muchos clientes no culminan el servicio y se retiran sin realizar operación alguna. De igual manera, el resultado del tiempo de espera por la atención depende de quien la ejecute; en otras palabras, el empleado a cargo de la ventanilla también es responsable de la demora a la hora de prestar el servicio (Entriger, 2020). Finalmente, todo lo mencionado genera un mayor tiempo de espera innecesario en la cola y molestias en los clientes que realmente van a hacer uso del servicio. En la Tabla 7, se muestran los resultados con la aplicación de las mejoras respectivas.

Tabla 7

Propuesta de sistema: waiting time

<i>Waiting time</i>	Media
Proceso de atención. <i>Queue</i>	4,0461

Tabla 8

Propuesta de sistema: number waiting

<i>Number waiting</i>	Media
Proceso de atención. <i>Queue</i>	5

En los resultados del escenario óptimo, se hallaron mejoras significativas. El tiempo de espera promedio en cola ahora es de 4,0461 minutos y el número de personas promedio en cola es de 5. El tiempo promedio de espera en cola disminuyó en más de la mitad; y el número de personas en cola se redujo en más de 10 personas. Igualmente, con las nuevas medidas, el porcentaje de personas que procede y culmina el servicio pasó de un 85,48 % a un 95,96 %.

Los resultados demuestran que un pequeño cambio puede ser significativo para la optimización de un proceso, y ello se evidencia en el tiempo de espera menor que en el escenario original. Como señalan Cárdenas Estrada et al. (2019), no solo se agiliza el proceso de atención, sino que también el cliente se siente bien y a gusto con el servicio

que está recibiendo. Entriger (2020) afirma que un mal servicio al cliente puede generar diferentes reacciones de su parte, como disminuir su preferencia hacia la tienda, cambiar de producto o marca, provocar quejas o incluso hacer *marketing* negativo con personas cercanas.

Con respecto al número de personas que se retiraron de la cola, este disminuyó significativamente. Con estos resultados se demuestra que casi todas las personas que ingresan al banco llegan a realizar sus respectivas operaciones y no se retiran, lo que se debe principalmente a la disminución del tiempo de espera en la cola. En la Tabla 9, se observa que con las mejoras aplicadas el porcentaje de personas que se retiraron de la cola pasó de 14,52 % a 4,032 % con respecto a las que ingresaron a la agencia bancaria.

Tabla 9

Número de personas que se retiran de la cola

Número de personas que ingresan al sistema	124
Número de personas que se retiran de la cola	5

En ese sentido, para comprobar si las diferencias eran significativas, se eligió como indicador el “AverageWaitTime: TAVG(Proceso de atención.Queue.WaitingTime)”, el cual es la medida del tiempo que esperan los clientes antes de ingresar a ventanilla. Así se generaron los cálculos para definir intervalos independientes de confianza para cada escenario (véase la Tabla 10).

Tabla 10

Intervalos de confianza

	Límite inferior	Límite superior
Escenario actual	1,9	19,36
Propuesta de modelo	1,96	10,08

Figura 6

Prueba con Output Analyzer



Se observó que los intervalos de confianza presentan una superposición entre ellos, por lo que fue necesario utilizar la herramienta Output Analyzer para realizar una prueba pareada. Esta dio como resultado extremos del intervalo de las diferencias pareadas positivos (+;+), lo que indica que el escenario mejorado es considerado superior por sus valores. En ese sentido, se logró la disminución del número de personas que se retiran del sistema y una atención en un tiempo más corto, mejorando la calidad de servicio, así como una reducción de tiempos, aumentando la productividad (Entriger, 2020).

De esta manera, basándonos en los conceptos que aplica la teoría de colas, hemos determinado la forma en que operan las líneas de espera, teniendo en cuenta diferentes escenarios, y es posible aplicar mejoras al sistema para alcanzar un balance con el objetivo de brindar un mejor servicio (Cárdenas Estrada et al., 2019). Asimismo, el *software* permitió la simulación del comportamiento del sistema, sin restricción al cambiar los parámetros para la experimentación respecto a las diferencias en los tiempos del indicador analizado (Vallejos et al., 2017). Por lo tanto, se diseñó un modelo de simulación que permite medir la mejora del servicio al cliente mediante la aplicación de la teoría de colas y el uso del *software* Arena (16.1 Student Version).

5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Después de mostrar de manera detallada los resultados, es preciso resaltar los hallazgos de esta investigación. En primer lugar, con respecto al tiempo promedio de espera en cola, en el primer escenario, se detalla cómo es el funcionamiento de las líneas de espera, y se comprueba que el tiempo y el número de personas en cola tienden a aumentar porque una gran cantidad de personas, una vez dentro del sistema, no terminan el proceso y se retiran; a ello se añade el hecho de que los clientes preferenciales tienen una prioridad más alta y pasan a la ventanilla designada. Muchas veces, los usuarios que requieren servicios de una agencia bancaria desconocen que las operaciones que quieren realizar se pueden llevar a cabo a través de otros medios, como la página web, agentes, aplicativos, cajeros, plataformas digitales, entre otros. Sin embargo, no deja de ser necesaria la asistencia presencial a las agencias bancarias para operaciones específicas que solo se pueden realizar por ese medio. Por ello, es indispensable para la agencia bancaria brindar un buen servicio y de calidad a sus usuarios, principalmente en cuanto a las esperas en cola que suelen ser un motivo de molestia para los clientes.

Por ejemplo, para abrir una cuenta de ahorros no es necesario ir a la agencia, pues hoy en día existe la opción de apertura a través de la página web del banco solo con el DNI, y tan solo se tendría que ir para recoger la tarjeta. Del mismo modo, se puede hacer un depósito a través de los agentes o los cajeros; y si se es cliente del banco, se puede realizar a través de transferencia, ya sea por la página web o el aplicativo.

Mencionando esto, una vez aplicada la propuesta de mejora del sistema, se observa que el tiempo y las personas en cola se han minimizado considerablemente, pues se optó por implementar en el sistema un nuevo personal que tenga la función de preguntar a las personas en cola la operación que van a realizar y, de ese modo, asesora a los usuarios que no terminen la operación o a los que puedan realizarlas por otros medios de manera más rápida y eficiente, con el resultado de evitar hacer colas innecesarias.

Si se compara los resultados obtenidos con los de otros estudios similares, mencionados en la sección sobre el estado del arte, se encuentra que, según Dorda et al. (2019), es relativamente importante designar primero el servicio que va a recibir el cliente. Por eso, se realizó algo similar en el presente estudio, pues los usuarios no reciben el servicio sin previamente haber sido consultados por la operación que van a hacer —esta es la función del nuevo personal— y de esta manera se optimizan los tiempos de espera. Así se consigue que el cliente esté satisfecho.

En ese sentido, se analizó el sistema para determinar el proceso que representaba un problema para lograr la reducción de tiempos y un mejor servicio de calidad; se determinó la causa raíz y, de acuerdo con esta, se trazaron estrategias para mejorar el sistema (Vega de la Cruz et al., 2017). De esta manera, la teoría de colas demostró su eficiencia para cumplir los objetivos establecidos en este caso de estudio; sin embargo, existen aspectos que pueden variar el punto de vista de cada cliente respecto a la calidad del servicio, los cuales afectan al tiempo de la propuesta (Peter & Sivasamy, 2019).

6. CONCLUSIONES

El desarrollo del modelo de simulación en una agencia bancaria logró replicar el comportamiento de la línea de espera mediante la aplicación de la teoría de colas como base, y se pudo comprobar la mejora de atención al cliente por la reducción de tiempos de espera, lo cual fue validado mediante un *chart plot*.

Asimismo, con la propuesta se logró la reducción del porcentaje de usuarios que se retiraban por molestia respecto al excesivo tiempo de espera en cola, debido a que el modelo planteado disminuye este lapso realizando una consulta a los clientes mientras esperan ser atendidos. Estos disminuyeron en más de un 50 %, pasando de 14,52 % a 4,032 %.

De igual manera, cabe destacar que existen diferentes variables en los clientes, las cuales no solo dependen de un menor tiempo de atención para calificar un servicio como de calidad. También es necesario asumir la eficiencia de los agentes de ventanilla, ya que existen variados factores que podrían aumentar o disminuir su eficiencia personal, errores en el sistema, entre otros. Estos estarían limitando los resultados del presente estudio.

Adicionalmente, con el uso del *software* Arena (16.1 Student Version) se demostró consistencia con el sistema real, ya que en los datos del reporte se obtuvieron tiempos casi similares a los conseguidos en el estudio para el análisis de datos.

Para finalizar, los resultados demostraron la mejora del sistema al adicionar una entidad extra, encargada de ayudar y guiar a los clientes mientras esperan en cola, reduciendo el número de personas en espera y aumentando la calidad del servicio; sin embargo, por el factor de los costos, se recomendaría activar este recurso a partir de la hora pico establecida.

REFERENCIAS

- Belás, J., & Gabčová, L. (2016). The relationship among customer satisfaction, loyalty and financial performance of commercial banks. *Ekonomie a Management*, 19(1), 132-147. DOI: 10.15240/tul/001/2016-1-010
- Canyakmaz, C., & Boyaci, T. (2021). Queueing systems with rationally inattentive customers. *Manufacturing & Service Operations Management*, 25(1), 1-22. DOI: 10.1287/msom.2021.1032
- Cárdenas Estrada, R., Pérez Pin, M., Tejada Solórzano, A., & Cevallos Torres, L. (2019). Aplicación de un modelo híbrido de teoría de colas y algoritmo evolutivo para medir la optimización en el servicio de atención al cliente en un local de comida rápida. *Ecuadorian Science*, 3(1), 15-22. <https://doi.org/10.26911/issn.26028077vol3iss1.2019pp15-22p>.
- Nascimento, M. A. R., dos Santos, L. M., da Silva, A. M., Bueno, R. C., Machado, S. T., & Tanaka, W. Y. (2021). Discrete event simulation applied to single queue management: A case study at a bank agency. *Independent Journal of Management & Production*, 12(9), S831-S842. DOI: 10.14807/ijmp.v12i9.1632
- Dorda, M., Teichmann, D., & Graf, V. (2019). Optimisation of service capacity based on queueing theory. *MM Science Journal*, October, 2975-2981. https://doi.org/10.17973/mmsj.2019_10_201889
- Entriger, T. C. (2020). Simulation and analysis of queues in banks: A case study of an agency in the Southern State of Rio de Janeiro. *Independent Journal of Management & Production*, 11(3), 892-907. <https://doi.org/10.14807/ijmp.v11i3.1074>
- García, A. (2016). Cultura de servicio en la optimización del servicio al cliente. *Telos*, 18(3), 381-398. <https://www.redalyc.org/pdf/993/99346931003.pdf>
- Gavirneni, S., & Kulkarni, V. G. (2016). Self-selecting priority queues with Burr distributed waiting costs. *Production and Operations Management*, 25, 979-992. <https://doi.org.ezproxy.ulima.edu.pe/10.1111/poms.12520>

- Hillier, F., & Lieberman, G. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones* (9.ª ed.). The McGraw-Hill Companies.
- Huang, F., Guo, P., & Wang, Y. (2019). Cyclic pricing when customers queue with rating information. *Production and Operations Management*, 28(10), 2471-2485. <https://doi.org/10.1111/poms.13052>
- Kittsteiner, T., & Moldovanu, B. (2005). Priority auctions and queue disciplines that depends on processing time. *Management Science*, 51(2), 236-248. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1040.0301>
- Komashie, A., Mousavi, A., Clarkson, J., & Young, T. (2015). An integrated model of patient and staff satisfaction using queuing theory. *Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 3. <https://doi.org/10.1109/JTEHM.2015.2400436>
- Longaray, A. A., Munhoz, P. R., Castelli, T. M., & Santos, A. C. (2016). Analysis of queue discipline in services to citizens in social security agencies: A case study. *Revista de Gestão em Sistemas de Saúde*, 5(1), 105-119.
- LópezHung, E., & JoaTriay, L. (2018). Teoría de colas aplicada a la estudi del sistema de servicio de una farmacia. *Revista Cubana de Informática Médica*, 10(1), 3-15. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18592018000100002&lng=es&tlng=en
- Morán Ruiz, E. (2017). La calidad del servicio al cliente externo administrativo vinculado al incremento de las ventas en el grupo Santillana. *Espirales. Revista Multidisciplinaria de Investigación*, 9, 82-104. <http://www.revistaespirales.com/index.php/es/article/view/221/168>
- Morillo, M. del C., Morillo, M. C., & Rivas, D. (2011). Medición de la calidad del servicio en las instituciones financieras a través de la escala de Servqual. *Contaduría y Administración*, 234, 101-130. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018610422011000200006
- Peter, P., & Sivasamy, R. (2019). Queueing theory techniques and its real applications to health care systems – Outpatient visits. *International Journal of Healthcare Management*, 14, 114-122. <https://doi.org/10.1080/20479700.2019.1616890>
- Portilla, L. M., Arias Montoya, L., & Fernández Henao, S. A. (2010). Análisis de líneas de espera a través de teoría de colas y simulación. *Scientia et Technica*, 17(46), 56-61.
- Redacción RPP. (2021, 17 de febrero). *Largas colas afuera de las sedes del Banco de la Nación en primer día de pago del Bono de S/600*. RPP Noticias. <https://rpp.pe/lima/actualidad/coronavirus-en-peru-largas-colas-afuera-de-las-sedes-del-banco-de-la-nacion-en-primer-dia-de-pago-del-bono-de-s-600-noticia1321387?ref=rpp>

sedesdel-banco-de-la-nacion-en-primer-dia-de-pago-del-bono-de-s-600-noticia1321387?ref=rpp

- Robayo, A. (2017). *La importancia del servicio al cliente y el reflejo de las ventas en una empresa* [Tesis de grado, Universidad Militar Nueva Granda]. Repositorio Institucional UMNG. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16203/RobayoRodriguezAlejandro2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Song, H., Tucker, A., & Murrell, K. (2015). The diseconomies of queue pooling: An empirical investigation of emergency department length of stay. *Management Science*, 61(12), 3032-3053. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.2014.2118>
- Vallejos, R. D., Mariño, S., & Alfonzo, P. L. (2017). Teoría de colas. Propuesta de un simulador didáctico. *Revista Publicando*, 13(1), 5-20. <https://core.ac.uk/download/pdf/236645186.pdf>
- Vega de la Cruz, L. O., Leyva Cardeñosa, E., Pérez Pravia, M., & Tapia Claro, I. I. (2017). La teoría de colas en la consulta de ortopedia. *Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología*, 31(2), 1-13. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-215X2017000200002&lng=es&tlng=es
- Wang, X.-L., Wen, Q., Zhang, Z.-J., & Ren, M. (2020). The optimal queuing strategy for airport taxis. *IEEE Acces*, 8, 208232-208239. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3038176
- Zenginlis, I., Vardakas, J., Zorba, N., & Verikoukis, C. (2016). Analysis and quality of service evaluation of a fast charging station for electric vehicles. *Energy*, 112, 669-678.

ARTÍCULO DE REVISIÓN

LA ENSEÑANZA DE LA PROGRAMACIÓN MEDIANTE *SOFTWARE* EDUCATIVO ESPECIALIZADO Y LOS AGENTES CONVERSACIONALES

OMAR AYALA CADENA

oayalac426@alumno.uaemex.mx

<https://orcid.org/0009-0009-2942-2470>

Universidad Autónoma del Estado de México

IRENE AGUILAR JUÁREZ

iagUILARj@uaemex.mx

<https://orcid.org/0000-0003-4747-0336>

Universidad Autónoma del Estado de México

RESUMEN

En las actividades cotidianas de aprendizaje se generan intercambios de ideas, dudas y explicaciones entre alumnos y docentes. Estos diálogos se interrumpen por limitaciones de tiempo o espacio, pues las clases terminan y la posibilidad de preguntar a un docente durante el trabajo en casa no es posible. Para facilitar la comunicación, se han desarrollado nuevas herramientas automatizadas que aprovechan los programas de procesamiento de texto. Un ejemplo muy concreto son los chatbots, los cuales han probado su utilidad en el comercio y en la atención al cliente. Actualmente, algunas instituciones educativas exploran los beneficios de estos programas en la atención a los alumnos. En este trabajo, se describe un estudio exploratorio sobre el uso del *software* educativo y de los agentes conversacionales en la enseñanza de la programación; el objetivo es identificar la potencialidad de este tipo de programas que apoyarán a los docentes en la formación de los programadores y en el acompañamiento de los alumnos en la autogestión del aprendizaje. Esta investigación es relevante porque las actividades de enseñanza de la programación son un reto, sobre todo cuando el alumno de nuevo ingreso inicia su contacto con la disciplina y debe aprender definiciones y tecnicismos de los que no tiene una noción previa; además, se enfrenta a desarrollar algoritmos sin nunca haberlos usado, a comprender el uso de lenguajes de programación, a participar en procesos de *software* y conocer por primera vez herramientas tecnológicas, técnicas y metodologías de desarrollo.

PALABRAS CLAVE: minería de textos, inteligencia de procesos, prestación inteligente de servicios

TEACHING PROGRAMMING THROUGH SPECIALIZED EDUCATIONAL SOFTWARE AND CONVERSATIONAL AGENTS

ABSTRACT

Daily learning activities generate exchanges of ideas, doubts, and explanations between students and teachers. These dialogues and the possibility of asking a teacher questions disappear after classes. New automated communication tools developed with word processing programs, such as chatbots, have proven helpful in commerce and customer service. Some educational institutions are currently exploring the benefits of these programs in student care. This paper describes an exploratory study on the use of educational software and conversational agents in the teaching of programming; the objective is to identify the potential of this type of program to support teachers in the training of programmers and the accompaniment of students in their self-managed learning.

KEYWORDS: text mining, process intelligence, intelligent service provisioning

1. INTRODUCCIÓN

Aprender a programar es un reto de alta complejidad para los alumnos del nivel superior en las licenciaturas relacionadas con el procesamiento de la información, como Ciencias de la Computación, Informática Administrativa, Ingeniería de Sistemas o Ingeniería en Computación; sobre todo si los alumnos no han trabajado previamente en sus habilidades de pensamiento algorítmico. En México, la enseñanza de la programación no se incluye en los estudios del nivel medio superior general, ya que estas habilidades se desarrollan solo en los planes de estudio del bachillerato tecnológico, por ejemplo, en carreras técnicas como Programación o Computación e Informática. Además, las estrategias de enseñanza de los profesores no siempre son acertadas; las evidencias muestran que los estudiantes manifiestan inconformidad con la forma de enseñanza de los docentes tradicionales, ya que, entre otros aspectos, los alumnos perciben que tienen poco apoyo de los profesores, los docentes usan ejercicios que no corresponden a contextos reales y la explicación se limita al discurso del docente (Benítez et al., 2009). Otro factor que frustra a los alumnos es que muchas veces los profesores no aprovechan los avances tecnológicos en formato, contenidos, casos de estudio o ejemplos. Se requiere una constante actualización e innovación para la impartición de clases, su evaluación y la gestión del aprendizaje, en donde se pueden adaptar contenidos y herramientas que sean fuentes de motivación para el alumno.

Por eso, la difusión de nuevas estrategias y formas de trabajar la enseñanza de la programación puede ayudar a los docentes a adaptar e innovar su forma de enseñar para lograr mejores resultados. Las aplicaciones del procesamiento de texto, específicamente los chatbots, pueden mejorar la forma en que el alumno haga consultas en los momentos de trabajo académico.

El presente artículo se compone de cinco secciones. La primera es una introducción del problema y su contexto. En la segunda, se detalla la metodología usada en el análisis de las referencias seleccionadas sobre el uso del *software* educativo en el acompañamiento del aprendizaje de la programación y de los agentes conversacionales. En el tercer apartado, se describe el resultado del análisis, la clasificación del *software* educativo y su uso en la enseñanza de la programación. En la cuarta sección, se expone el funcionamiento de los agentes inteligentes y su arquitectura. En la quinta y última sección, se formulan las conclusiones y la definición de nuevas tareas de investigación.

2. METODOLOGÍA

Este trabajo se ha realizado con un enfoque exploratorio y una investigación documental en línea, ya que se recopiló información previamente publicada para conocer e indagar sobre el uso de *software* educativo dedicado a facilitar el aprendizaje y la enseñanza de la programación.

La búsqueda de los trabajos se llevó a cabo en Google y Google Scholar, pues este último es un buscador de carácter académico que facilita el acceso a artículos especializados, libros y tesis. Se especializa en identificar contenido y bibliografía científica, además de organizar la información según la relevancia de las fuentes. Se optó por identificar palabras clave que permitan hacer una búsqueda y el filtrado de artículos.

- Palabras clave: problemas de aprendizaje, programación de computadoras, lenguaje natural, generación de lenguaje natural, enseñanza de programación, chatbot, uso de chatbot, arquitectura de un chatbot.
- Cadenas de búsqueda: se generaron a partir de conectores lógicos como OR y AND. Las cadenas ingresadas fueron estas: (“chatbot educativo” OR “uso de chatbot ámbito educativo” OR “arquitectura de un chatbot”), con 57 resultados; (“generación de lenguaje natural” OR “análisis de procesamiento de texto”), con 625 resultados; y (“problemas de aprendizaje” AND “enseñanza de programación” AND “programación de computadoras”), con 24 resultados.

En cuanto a la selección de los artículos, se utilizaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

- Criterios de inclusión
 - Artículos científicos cuyo objetivo es el uso de *software* para la enseñanza de programación de computadoras.
 - Artículos científicos que explican los procesos involucrados en el procesamiento de texto.
 - Artículos científicos que exploran las dificultades para desarrollar el pensamiento algorítmico.
 - Artículos científicos que documentan el uso de chatbots en un contexto educativo.
- Criterios de exclusión
 - Artículos científicos que no tienen como objetivo de uso de herramientas tecnológicas para la enseñanza de programación de computadoras.
 - Artículos científicos que no explican los procesos involucrados en el procesamiento de texto.
 - Artículos científicos que no exploran las dificultades para desarrollar el pensamiento algorítmico.
 - Artículos científicos que no exploran el uso de chatbots en el ámbito educativo.

Luego de aplicar los criterios, se analizó un libro, siete páginas web referenciadas, cinco tesis y catorce artículos.

3. RESULTADOS

3.1 El *software* educativo dedicado al aprendizaje de la programación

La programación de computadoras permite resolver problemas de diversa naturaleza usando ordenadores, que funcionan con lenguajes de programación. Estos son conjuntos de símbolos, reglas de sintaxis y semánticas que definen las instrucciones que ejecutarán las computadoras (Jiménez-Toledo et al., 2019). La implementación de los programas resuelve la necesidad de procesar rápidamente grandes cantidades de información; sin embargo, este proceso creativo es realmente muy complejo, ya que es necesario aplicar habilidades ingenieriles, tecnológicas y de los contextos específicos de los problemas. Para los alumnos de nuevo ingreso, esta situación es muy retadora, pues se enfrentan a definiciones técnicas abstractas de las que no tienen una noción empírica previa; por eso, su aprendizaje no es sencillo.

En opinión de Gómez (2020), en la adquisición de un lenguaje se involucran tres propiedades: la expresividad del lenguaje, la interactividad formativa y la fluidez. La expresividad del lenguaje es muy importante para la enseñanza de los lenguajes formales y lógicos, pues este aspecto define la profundidad o control que se tiene al codificar programas. En los programas de bajo nivel, se encuentra una mayor expresividad porque permiten tener mejor control del *hardware*; sin embargo, para desarrollar con estos lenguajes, aunque los programas sean simples, se debe aprender detalles de mayor complejidad. Aquellos lenguajes de menor expresividad permiten la codificación de programas más fácilmente, pero con el inconveniente de que el programador se verá limitado en el control del lenguaje (Gómez, 2020).

Por su parte, la interactividad de un lenguaje de programación no es un aprendizaje espontáneo, sino que se adquiere y evoluciona respecto a su uso. Considerando el tipo de interactividad, estos pueden ser cerrados o abiertos. El entorno cerrado permite tener ejercicios predefinidos en donde el docente puede prever los errores a los que se enfrentarán los estudiantes y actuar en consecuencia, mientras que los entornos abiertos dan paso a ejercicios exploratorios como aquellos que se consideran en el aprendizaje basado en problemas, pero en este caso el docente no podrá prever los errores que existirán y los alumnos necesitarán un acompañamiento y un monitoreo personalizado (Gómez, 2020).

Finalmente, la fluidez es la habilidad de las personas en el dominio de un lenguaje natural; en el caso del aprendizaje de los lenguajes de programación, se refiere a la

adquisición demostrada de un lenguaje en específico. Este aspecto está ligado a los códigos que produzca un estudiante para determinar si tiene el dominio sobre un lenguaje de programación; es decir, se puede saber si fue capaz de resolver algún problema, o si el alumno requiere ayuda del profesor (Gómez, 2020).

Ante la dificultad de los alumnos para adquirir un lenguaje de programación, se obtienen bajos indicadores de aprendizaje en las materias de programación. Por eso, se ha buscado resolver el problema con herramientas tecnológicas, algunas con potencial uso de algoritmos de inteligencia artificial, como la minería de datos educativos.

Mancuzo (2022) clasifica el *software* educativo en cinco categorías:

1. Programas de resolución de problemas
2. Programa educativo de práctica y simulación
3. *Software* educativo de tutorial
4. *Software* de juego educativo
5. *Software* educativo de simulación

Con este criterio y con los documentos revisados, podemos identificar que para la enseñanza de la programación se han usado todos los tipos de *software* educativo. En el siguiente listado, se señalan algunas experiencias documentadas:

1. Programas de resolución de problemas: en esta categoría se encuentra el *software* para diseñar algoritmos, por ejemplo, GCompris, Raptor, Dia, StarUML o DFD (Ballesteros et al., 2020; Shiguay, 2019).
2. Programa educativo de práctica y simulación: las plataformas especializadas en codificación entran en esta categoría, pues entre los servicios que ofrecen se encuentra la posibilidad de practicar en línea la codificación (Franco et al. 2020; Massachusetts Institute of Technology, s. f.; Pérez-Narváez et al., 2020).
3. *Software* educativo de tutorial: en esta categoría están los cursos en línea especializados, pues su principal función es la de ser tutoriales de los temas de interés (Codewars, Codecademy, edX, Khan Academy, Udemy, Coursera, Dash, Bento.io, Code Avengers). Esta categoría tiene un amplio potencial para aplicar técnicas de inteligencia artificial, ya que son usadas por miles de usuarios y se generan almacenes de datos listos para explorar e identificar en ellos patrones de comportamiento durante el aprendizaje.
4. Juegos serios: *software* de juegos educativos (Pilas Bloques, Alice, Greenfoot) (Kuz & Ariste, 2021; Torbado, 2021; Xinogalos & Tryfou, 2021). En esta categoría se pueden aplicar técnicas de gamificación para generar motivación y aumentar el interés de los alumnos.

5. Programas trazadores de código: este tipo de programas usa animaciones para dar seguimiento a las sentencias de los programas (BlueJ, Jeliot, Greenfoot) (Aguilar Juárez et al., 2022).

No obstante los esfuerzos invertidos en el desarrollo de *software* con fines educativos, no basta únicamente con aprovechar estas herramientas si estas no se acompañan de estrategias didácticas diseñadas para facilitar la adquisición del lenguaje de programación por parte de los estudiantes. También es importante evitar la desmotivación y los obstáculos en el aprendizaje de la programación. Algunos de los modelos de aprendizaje que pueden aplicarse son el aprendizaje basado en *software*, el aprendizaje basado en resolución de problemas y el aprendizaje basado en juegos (Ibarra-Zapata et al., 2021).

Asimismo, es necesario formar al alumno para que él mismo conozca y regule sus propios procesos de aprendizaje. Para ello, se debe promover la capacidad de aceptar la frustración que provoca el error para sentirse capaces de superar esas fallas, realizar un trabajo colaborativo y fortalecer la autoestima. De esta manera, se puede tener una autoevaluación y coevaluación de su ritmo de trabajo (García Mauri, 2020).

En consecuencia, además de usar *software* educativo, es necesario proveer al alumno de herramientas que faciliten su autogestión y un acompañamiento didáctico constante para poder aclarar dudas e inquietudes en el proceso de aprendizaje. Así es como surge la propuesta de aprovechar los asistentes conversacionales que aplican la inteligencia artificial en la interacción con los estudiantes de programación.

3.2 Agentes conversacionales

El principal objetivo de los agentes conversacionales es establecer un diálogo con los usuarios para proveer información. La funcionalidad del procesamiento de lenguaje natural (*natural language processing*, NLP) implica la utilización de reglas lingüísticas y algoritmos inteligentes para procesar un texto sin procesar en un lenguaje natural, de manera que se le pueda atribuir un valor significativo mediante técnicas de aprendizaje automático, como el *machine learning* (ML), el cual es un enfoque de análisis de datos que permite automatizar diversas tareas y comprender conceptos para generalizar comportamientos a partir de los datos recopilados (Arredondo Castillo, 2021).

El NLP es una rama multidisciplinaria que se relaciona estrechamente con la lingüística, las ciencias cognitivas, la psicología, la filosofía y las matemáticas, en especial con la lógica (Singh, 2022, p. 17). Su objetivo es analizar el lenguaje humano mediante programas informáticos. Pese a las dificultades no resueltas, se han logrado aplicaciones funcionales con dominios muy acotados, como programas de reconocimiento óptico de caracteres, revisores de ortografía y gramática, identificadores de sentimientos, generadores de documentos, traductores y recuperadores de texto.

En el sector educativo, el texto es el principal medio de intercambio de ideas; por eso, en este documento se aborda el procesamiento informático sobre el texto. El procesamiento de texto identifica y asigna a cada unidad textual sus propiedades lingüísticas, como son la función fonológica, morfológica, sintáctica, semántica y pragmática; posteriormente, se obtiene e infiere información mediante la inteligencia artificial, la cual frecuentemente se entrena en nuevos documentos textuales o se usa para enriquecer los modelos de representación.

Una de las aplicaciones del procesamiento del lenguaje natural de mayor éxito son los generadores de diálogo, es decir, programas usados para lograr interfaces humano-computadora amigables que automatizan la interacción de un usuario común con una empresa, un sistema computacional o la entidad interesada en atender a muchos usuarios en cualquier hora y lugar. Coloquialmente llamados *chatbots*, se caracterizan por establecer un diálogo limitado a un dominio previamente establecido, por ejemplo, la compra de un producto, la respuesta a dudas frecuentes, el cumplimiento de órdenes, etcétera.

Desde un punto de vista técnico, un chatbot se define como un programa inteligente que se comunica con un usuario en lenguaje natural a través de texto (chat) que imita una conversación humana utilizando NLP (Villón Cabrera, 2020). Existen también los agentes conversacionales, que son un sistema de diálogo generado con NLP dirigido a una tarea; es decir que, además, están basados en una máquina finita de estados, que tiene una estructura previamente programada (Alonso Astruga, 2021).

La diferencia entre uno y otro es que en los chatbots se aplican técnicas de inteligencia artificial (AI, por sus siglas en inglés) para responder dentro de una conversación humana con un conjunto de respuestas predefinidas y coherentes, que simulan comprender dicha interacción mediante el análisis del contexto en el discurso. En cambio, los agentes conversacionales se limitan a una sola estructura de diálogo y responden a ella; si dentro de la conversación el usuario sale del contexto, el agente conversacional ignorará la entrada o la malinterpretará respondiendo de forma equivocada.

Los chatbots pueden funcionar de dos formas (Villón Cabrera, 2020): la primera se basa en reglas y la segunda, en máquinas inteligentes. Los chatbots basados en reglas entregan respuestas predefinidas en una base de conocimiento extrayendo las palabras clave emitidas por el usuario. Por su parte, los basados en máquinas utilizan la AI para tener un análisis de lenguaje natural mediante reglas para mejorar la interacción humano-máquina y generarán un diálogo con una finalidad bien definida.

Orozco González (2020) clasifica a los chatbots como agente conversacional o como asistentes virtuales. El primero está diseñado para simular una conversación inteligente mediante textos o audios, mientras que los segundos ayudan a buscar información en los recursos web o responden a comandos ya establecidos. En el ambiente educativo,

los chatbots se pueden utilizar como asistentes virtuales de clase, sistemas de tutorías inteligentes, sistemas de compañeros de aprendizaje u objetos de aprendizaje.

En la actualidad, hay varias estrategias de desarrollo de estos programas. La de mayor aceptación es usar los servicios de plataformas que se encargan de encapsular la complejidad del procesamiento y que ofrecen servicios de diseño y publicación de chatbots. Las principales empresas que ofrecen estos servicios de inteligencia son las siguientes:

- IBM Watson
- Microsoft Azure
- Google: Tensor Flow, Cloud AI (Artificial Intelligence), Cloud Natural Language API
- Amazon Lex
- Facebook: Wit.ai
- Otras: Motion, Smooch, Gupshup, Botkit, Rasa (Martín, 2017), Api.ai, Semantic Machines, Digital Genius, Chatfuel, Pypestream, Pandorabots, AgentBot, ChatterBot o ChatScript (Davydova, 2017)

3.2.1 La arquitectura de los chatbots

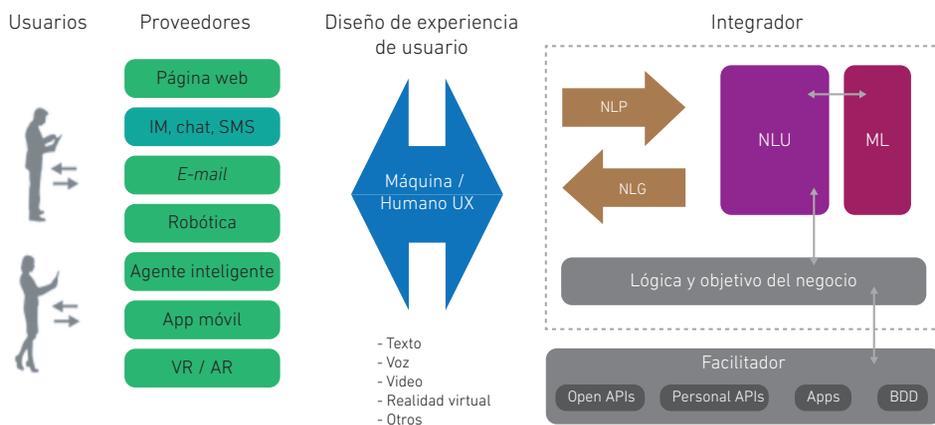
El objetivo de los chatbots es establecer una conversación con el usuario que sea semejante a un diálogo humano-humano, por lo que internamente se forman módulos que construyan dicha conversación. Si bien existen plataformas que encapsulan el proceso, es implícito que el chatbot debe vincularse con módulos que implementan la inteligencia artificial conversacional, en los cuales se produce el procesamiento de lenguaje natural.

Los chatbots más antiguos se enfocaban en la interpretación y reconocimiento de patrones y reglas predefinidas. Actualmente, se utiliza *deep learning* y *machine learning* para generar una respuesta adecuada (Nieves, 2018), que hace posible establecer una conversación más natural y coherente mediante el uso de la interfaz de usuario, donde se puede ver o escuchar las conversaciones con el chatbot.

La Figura 1 representa la arquitectura de un chatbot, donde se muestra el encapsulamiento de las entidades que participan. Estas son el proveedor, el integrador y el facilitador (Cornejo, 2018).

Figura 1

Adaptación de arquitectura de un chatbot



Nota. Reproducido de *Arquitectura de un chatbot*, por P. Cornejo, 2018, Medium (<https://medium.com/@patcornejo/arquitectura-de-un-chatbot-cb2d1c5f86c7>).

El proveedor es la interfaz con la cual el usuario entra en contacto con el chatbot; enseguida se encuentra una capa intermedia de experiencia de usuario (UX, por sus siglas en inglés), en donde se define cómo se mostrará y cómo se comunicará el chatbot con el usuario, puede ser mediante texto, imágenes o voz. El integrador es la pieza fundamental, ya que en él se encuentran las herramientas de procesamiento de lenguaje natural, *machine learning* y *deep learning*, que son la parte de inteligencia del chatbot.

Como parte del procesamiento de lenguaje natural (NLP), se encuentran tanto el módulo de NLU (*natural language understanding*) como el de NLG (*natural language generation*); una vez procesada, la entrada pasa al NLU, en donde se identifica la intención que tiene el usuario, en otras palabras, lo que el usuario quiere (la razón por la que habla o escribe al chatbot). El funcionamiento del NLU va de la mano con *machine learning* no supervisado de clasificación, dado que existe un banco de datos con posibles intenciones del usuario, las cuales son previamente definidas y clasificadas; mediante algoritmos se asigna un puntaje a la intención que el usuario trata de comunicar y, a partir de estos cálculos, se le entrega información al NLG.

La respuesta al usuario se genera con el NLG, en el cual al identificar la intención clasificada se seleccionan las respuestas preprogramadas, que bien pueden ser personalizadas o generales; la finalidad de este módulo es generar la respuesta en lenguaje natural en diferentes formatos, ya sea texto o audio.

El funcionamiento de un chatbot se produce por la integración de reglas preestablecidas y los algoritmos de AI, por lo que debe ser constantemente entrenado para que la generación de respuestas sea más precisa y corresponda a las intenciones del usuario. Si bien se requiere de la optimización de algoritmos, la aplicación de *deep learning* con diferentes tipos de entrenamiento y la implementación de diversas teorías lingüísticas, las plataformas integradoras son las que en la actualidad se encargan de realizar estas tareas complejas. Para los desarrolladores, son transparentes las herramientas que se proporcionan como servicios de creación de los chatbots.

Finalmente, el facilitador no es más que el intermediario entre el integrador y el banco de datos, que puede estar alojado en una base de datos, en la plataforma para crear chatbots, en una API que consulte algún servicio o en alguna aplicación general o personal, en donde se encuentre toda la información precargada de las respuestas con respecto a las intenciones del usuario.

Aunque existen herramientas para que un autor independiente genere su propio chatbot, las respuestas de su programa serían poco competitivas comparadas con los servicios que ofrecen las plataformas, ya que en la actualidad se está invirtiendo muchos recursos humanos y financieros en aumentar el nivel y complejidad del NLP que ofrecen las empresas.

4. APLICACIÓN DE CHATBOTS EN EL ÁMBITO EDUCATIVO

Uno de los primeros chatbots, llamado ELIZA, se desarrolló a partir del año 1964 con capacidad para mantener conversaciones en idioma inglés sobre una amplia variedad de temas, empleaba etiquetas para representar y clasificar los textos; y, además, fue configurado para actuar como un psiquiatra (Thorat & Jadhav, 2020). Otro ejemplo fue ALICE, inspirado en ELIZA, que se basaba en un patrón de selección sin percepción de conversación, pero con la habilidad de obtener información sobre cualquier tema en la web y generar así una discusión con los usuarios (Adamopoulou & Moussiades, 2020). Después de ese chatbot, fueron surgiendo con el paso de los años y de las nuevas tecnologías lo que hoy conocemos como asistentes personales de voz, entre los cuales podemos mencionar a Siri de Apple, a Cortana de Microsoft o a Alexa de Amazon (Moussiades & Adamopoulou, 2020).

El uso de los chatbots como herramienta de gestión educativa y didáctica es cada vez más frecuente. En esta sección, se listan algunos de los trabajos que han explorado los beneficios de usar chatbots en el sector educativo:

- La ProfeBot: es un chatbot con inteligencia artificial que permite al estudiante acceder a los conceptos y preguntas frecuentes relacionados con la materia que se implementó para el primer año de la Carrera de Licenciatura en Protección Civil y Emergencias en Buenos Aires (Lima & Rodríguez, 2021) .

- Ani: es un chatbot diseñado y creado con el propósito de brindar un enfoque de aprendizaje con el objetivo de ofrecer tutoría personalizada; ayuda, motiva y retroalimenta a los estudiantes. Fue aplicado en España (Garcia Brustenga et al., 2018).
- Botter: es un robot físico para ayudar a los estudiantes de la Universitat Oberta de Catalunya; interactúa por medio de sonidos, luces y frases. Su objetivo es el acompañamiento en el progreso del aprendizaje de los estudiantes (Garcia Brustenga et al., 2018).
- Bot de la Universidad CEU Cardenal Herrera: es un chatbot desarrollado en Microsoft Azure para responder consultas del alumno; actúa como asistente personal desde el 2017 (Garcia Brustenga et al., 2018).
- CourseQ: diseñado en la Universidad Cornell (Estados Unidos), es un bot conversacional basado en texto que permite conocer los horarios, eventos y fechas de entregas de trabajos tanto a los estudiantes como a los profesores (Garcia Brustenga et al., 2018).
- Differ: empleado en la BI Norwegian Business School, crea comunidades, envía recordatorios y publica mensajes. Su objetivo es crear un espacio seguro para estudiantes sin que existan prejuicios de por medio (Garcia Brustenga et al., 2018).
- Duolingo: es una aplicación que permite el aprendizaje de distintos idiomas; utiliza técnicas de gamificación para una mejor interacción con el estudiante (Garcia Brustenga et al., 2018).
- Genie: diseñado por la Deakin University de Australia, responde a las preguntas que los estudiantes tienen acerca de la escuela; se desarrolló con IBM Watson (Garcia Brustenga et al., 2018).
- Ivy: fue diseñado para la enseñanza en el nivel superior; su objetivo es responder y apoyar a los estudiantes sobre trámites administrativos y configuración de aplicaciones; además, cuenta con un apartado de preguntas frecuentes (Garcia Brustenga et al., 2018).

Estos chatbots se encuentran disponibles para su uso; sin embargo, el objetivo que se cubre con ellos son trámites administrativos, lo que es un uso de asistente personal. El reto para estas aplicaciones es su uso en la enseñanza-aprendizaje dentro del ámbito educativo. Para ello, en este trabajo se identificó un área de oportunidad para utilizar chatbots en el aprendizaje de programación.

5. CONCLUSIONES

Aprender a programar es un reto para los alumnos de licenciaturas relacionadas con la computación en la educación superior. No obstante, la presencia de la computación como herramienta que potencializa el desarrollo de las disciplinas ha generado la necesidad de aprender a programar en casi todas las áreas de estudio y desde edades tempranas; pero si en la programación los contenidos presentados por los profesores son poco didácticos, mal expuestos y se desaprovecha el *software* educativo existente, se pierden los beneficios de la tecnología en las diversas esferas del desarrollo humano.

Con el surgimiento de las computadoras, se ha tenido la posibilidad de procesar datos textuales de forma automática. Así se originó una rama multidisciplinaria conocida como NLP, cuyo objetivo es analizar y procesar el lenguaje humano mediante programas informáticos para identificar, asignar valor y significado al texto a fin de formar respuestas en lenguaje natural. Los sistemas creados mediante las teorías y técnicas de esta disciplina resultan exitosos en entornos acotados a un dominio específico; aún no se logran aplicaciones de dominio general que procesen eficientemente la ambigüedad del lenguaje natural. Los principales retos por superar son encontrar las mejores técnicas para representar el conocimiento humano con un buen tratamiento de la ambigüedad, integrar eficientemente datos de entrada de diferente naturaleza y generar salidas coherentes y estructuradas comprensibles para el usuario.

Una de las aplicaciones más exitosas del NLP son los chatbots, programas que se comunican con un usuario para imitar una conversación humana. Para ello, existen diversas plataformas que ofrecen servicios de diseño y alojamiento que están propiciando el uso generalizado de estos sistemas en múltiples servicios.

La arquitectura de un chatbot se compone de módulos con tareas específicas: una interfaz de usuario, un procesamiento del lenguaje natural desde la entrada hasta su salida. Su objetivo es identificar la intención del usuario y generar una respuesta coherente con ella; requiere de programas de preprocesamiento de entrada de datos, una base de conocimiento, modelos lingüísticos y algoritmos de aprendizaje automático.

Una de las dificultades del uso de NLP es la optimización de los algoritmos que se requiere para tener un mejor entrenamiento y respuestas más precisas y coherentes cuando se interactúa con un chatbot. Sin embargo, esta optimización actualmente es responsabilidad de las empresas que están ofreciendo estos servicios e invirtiendo en múltiples recursos. El sector académico puede aportar en el desarrollo de teorías lingüísticas, algoritmos de optimización y aprendizaje automático, además de propuestas de diseño instruccional que faciliten, por un lado, la eficiencia de los programas y, por otro, la adopción de estos programas en las actividades de estudio de los estudiantes.

Los docentes sin experiencia en tecnología pueden usar las plataformas para acceder a los servicios inteligentes de vanguardia que las empresas ofrecen, ya sea

cursos MOOC (*Massive Open Online Courses*, por sus siglas en inglés) orientados a la codificación, o juegos serios, trazadores de algoritmos, *software* de modelado o gestores de chatbots, de manera que aprovechen la disponibilidad de múltiples herramientas de *software* para innovar su labor docente.

Es un reto difundir estas alternativas y convencer al sector docente de que estas herramientas son un apoyo más en su vida diaria, semejantes a los procesadores de texto o de imágenes que pueden facilitar y enriquecer su didáctica. La clave radica en incorporar este *software* de manera estructurada y estratégica en el proceso de aprendizaje de los estudiantes, con el fin de obtener los mayores beneficios posibles. La exploración del uso de *software* educativo en el aprendizaje de la programación es necesaria para identificar buenas prácticas, proponer nuevas formas de evaluación del aprendizaje de los alumnos y aumentar la motivación de aprender.

Los siguientes trabajos de investigación se encaminarán a emplear un chatbot especialmente diseñado para atender consultas relacionadas con la programación orientada a objetos, con la finalidad de ofrecerlo a nuestra comunidad y valorar los beneficios que los alumnos identifiquen de este apoyo en sus actividades de aprendizaje.

REFERENCIAS

- Adamopoulou, E., & Moussiades, L. (2020). Chatbots: History, technology, and applications. *Machine Learning with Applications*, 2, 100006. <https://doi.org/10.1016/J.MLWA.2020.100006>
- Aguilar Juárez, I., Rojas Espinoza, B. A., & Ayala de la Vega, J. (2022). Una experiencia del aprendizaje móvil como apoyo para el estudio de la programación. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 9(18), 44-63. <https://www.pag.org.mx/index.php/PAG/article/view/899>
- Alonso Astruga, J. (2021). *Propuesta metodológica para el análisis y diseño de chatbots basados en texto* [Tesis de maestría, Universidad de Valladolid]. Repositorio Documental. Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/50064>
- Arredondo Castillo, C. C. (2021). *Inteligencia artificial en la educación: uso del chatbot en un curso de pregrado sobre Investigación Académica en una universidad privada de Lima* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigación PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/20996>
- Ballesteros, V. A., Rodríguez, O. I., Lozano, S., & Nisperuza, J. L. (2020). El aprendizaje móvil en educación superior: una experiencia desde la formación de ingenieros. *Revista Científica*, 38(2), 243-257. <https://doi.org/10.14483/23448350.15214>

- Benítez, R. P., Torres, V. J., Camacho, F. Y., & Ramírez, V. (2009). *La influencia de las estrategias de instrucción sobre la motivación de los estudiantes en un curso de programación Java: un caso de estudio*. XXII Congreso Nacional y VIII Congreso Internacional de Informática y Computación, Ensenada, Baja California, México.
- Cornejo, P. (2018, 3 de abril). *Arquitectura de un chatbot*. Medium. <https://medium.com/@patcornejo/arquitectura-de-un-chatbot-cb2d1c5f86c7>
- Davydova, O. (2017, 11 de mayo). 25 chatbot platforms: A comparative table. *Chatbots Journal*. <https://chatbotsjournal.com/25-chatbot-platforms-a-comparative-table-aeefc932eaff>
- Franco, D., García, D. G., Guevara, C. F., & Erazo, J. C. (2020). Scratch para la enseñanza de lenguaje de programación en primero de bachillerato. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 5(5), 398-414. <https://doi.org/10.35381/r.k.v5i5.1050>
- García Brustenga, G., Fuertes-Alpiste, M., & Molas-Castells, N. (2018). *Briefing paper: chatbots in education*. Universitat Oberta de Catalunya. <https://doi.org/10.7238/elc.chatbots.2018>
- García Mauri, D. R. (2020). Aprender a aprender. *Revista Referencia Pedagógica*, 8(2), 203-218. <https://rrp.cujae.edu.cu/index.php/rrp/article/view/212>
- Gómez, M. J. (2020). *Aspectos de adquisición de lenguaje en la enseñanza de programación* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba]. Repositorio Digital UNC. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/16051>
- Ibarra-Zapata, R. E., Castillo-Cornelio, J. O., Trujillo-Natividad, P. C., García-Villegas, C., Yanac-Montesino, R., & Pando, B. (2021). Enseñanza-aprendizaje de programación de computadoras: avances en la última década. *Revista Científica*, 42(3), 290-303. <https://doi.org/10.14483/23448350.18339>
- Jiménez-Toledo, J. A., Collazos, C., & Revelo-Sánchez, O. (2019). Consideraciones en los procesos de enseñanza-aprendizaje para un primer curso de programación de computadores: una revisión sistemática de la literatura. *Tecnológicas*, 22, 83-117. <https://doi.org/10.22430/22565337.1520>
- Kuz, A., & Ariste, M. C. (2021). Un análisis desde la programación estructurada del lenguaje Scratch como entorno lúdico educativo. *IE Comunicaciones: Revista Iberoamericana de Informática Educativa*, 33, 14-21. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7985875&>
- Lima, M. R., & Rodríguez, J. M. (2021). La ProfeBot, un chat para la educación. *INNOVA UNTREF. Revista Argentina de Ciencia y Tecnología*, 1(8). <https://www.revistas.untref.edu.ar/index.php/innova/article/view/1240>

- Mancuzo, G. (2022, 7 de enero). Los 5 tipos de *software* educativos más usados. *Compara Software*. <https://blog.comparasoftware.com/los-5-tipos-de-software-educativos-mas-usados/>
- Martín, J. (2017). Estado del arte en el desarrollo de chatbots a nivel mundial. *Futurizable*. <https://futurizable.com/chatbot/>
- Massachusetts Institute of Technology. (s. f.). *Scratch*. <https://scratch.mit.edu/>
- Nieves, B. (2018, 3 de mayo). *IA conversacional: definición y conceptos básicos*. Planeta ChatBot. <https://planetachatbot.com/ia-conversacional-conceptos-basicos-y-definicion/>
- Orozco González, M., Pytel, P., & Pollo-Cattaneo, M. F. (2020). Metodología de implementación de un chatbot como tutor virtual en el ámbito educativo para universidades en Latinoamérica. En E. Serna (Ed.), *Investigación formativa en ingeniería* (4.ª ed., pp. 218-226). Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4031253>
- Pérez-Narváez, H. O., Roig-Vila, R., & Jaramillo-Naranjo, L. (2020). Uso de Scratch en el aprendizaje de programación en educación superior. *Cátedra*, 3(1), 28-45. <https://doi.org/10.29166/10.29166/catedra.v3i1.2006>
- Shiguay, G. A. (2019). *Las tecnologías de la información y comunicación en el aprendizaje de algoritmos y diagramas de flujo en el curso de Informática V en los estudiantes del área de tecnología e informática del quinto grado de educación secundaria de la Institución Educativa Emblemática Ricardo Bentín Sánchez, Rímac, 2018* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle]. Repositorio Institucional. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. <http://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/3465>
- Singh, A. (2022). *Procesamiento de lenguaje natural con Python*. Bebelcube. <https://www.kobo.com/mx/es/ebook/procesamiento-de-lenguaje-natural-con-python>
- Thorat, S. A., & Jadhav, V. D. (2020). A review on implementation issues of rule-based chatbot systems. En *Proceedings of the International Conference on Innovative Computing and Communications* (pp. 1-6). <https://ssrn.com/abstract=3567047>
- Torbado, M. (2021). *Gamificación de fundamentos de la programación: juegos serios para el aprendizaje de estructuras de código iterativas, métodos y funciones* [Tesis de licenciatura, Universidad de Valladolid]. Repositorio Documental. Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/50440>
- Villón Cabrera, N. (2020). *Inteligencia artificial aplicada al marketing: impacto del uso de chatbots cognitivos en la satisfacción del cliente del sector bancario* [Tesis de

grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC.
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/652700>

Xinogalos, S., & Tryfou, M. M. (2021). Using Greenfoot as a tool for serious games programming education and development. *International Journal of Serious Games*, 8(2), 67-86. <https://doi.org/10.17083/IJSG.V8I2.425>

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

APLICACIÓN DEL MODELO CANVAS PARA LA CREACIÓN DE LA FÁBRICA DE *SOFTWARE* EN UNA UNIVERSIDAD PÚBLICA: CASO DE ESTUDIO UNFV-FIIS

LUIS AVELINO MUÑOZ RAMOS

lmunozr@unfv.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-1299-5282>

Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

MILAGROS ELISA LEONARDO RAMOS

C18982@utp.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0006-9462-8852>

Universidad Tecnológica del Perú

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue utilizar el modelo de negocio Canvas para establecer una fábrica de *software* académica en la Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas (UNFV-FIIS). Dado que es una universidad pública con limitaciones financieras, se utilizaron cinco de los nueve bloques que componen el modelo: propuesta de valor, segmento de clientes, relaciones con clientes, actividades clave y recursos clave. Para la muestra, se seleccionaron docentes nombrados del Departamento Académico de Ingeniería de Sistemas y estudiantes matriculados en la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas durante el año 2022 en cursos de Ingeniería de *Software* para identificar los cinco bloques del modelo. Se realizaron encuestas a los participantes para recopilar información sobre la situación actual, requisitos y expectativas relacionadas con la creación de una fábrica de *software* académica. Los datos fueron analizados utilizando el modelo Canvas, centrándose en la propuesta de valor y en identificar características diferenciadoras. Se destaca la importancia de aplicar modelos y estándares modernos para el desarrollo y calidad del *software*. En conclusión, el modelo de negocio Canvas permite establecer una relación entre las necesidades y expectativas de los docentes y estudiantes con los servicios de la fábrica de *software*.

PALABRAS CLAVE: modelo de negocio Canvas, fábrica de *software*, modelos de desarrollo de *software*, calidad de *software*

APPLICATION OF THE CANVAS MODEL FOR THE CREATION OF A SOFTWARE FACTORY IN A PUBLIC UNIVERSITY: CASE STUDY UNFV - FIIS

ABSTRACT

This research aimed to use the Canvas Business Model to establish an academic software factory at Universidad Nacional Federico Villarreal - Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas (UNFV-FIIS). As a public university with financial limitations, five of the nine blocks composing the model were relevant: value proposition, customer segment, customer relationships, key activities, and key resources. Named faculty members from the Department of Systems Engineering and students enrolled in the Professional School of Systems Engineering 2022 software engineering courses were selected to identify the five blocks of the model. Surveys were conducted among faculty members and students to gather information on the current situation, requirements, and expectations regarding creating an academic software factory. The collected data was analyzed using the Canvas model, focusing on the value proposition and identifying differentiating characteristics. The study highlights the importance of applying modern models and standards for software development and quality. In conclusion, the Canvas business model establishes a relationship between the needs and expectations of faculty members and students and the services provided by the software factory.

KEYWORDS: Canvas business model, software factory, software development models, software quality

1. INTRODUCCIÓN

Una fábrica de *software* tiene como propósito desarrollar y construir productos de *software* para clientes individuales y corporativos. Para lograrlo, utiliza estándares y modelos de ciclo de vida y calidad de *software*, como ISO 12207, ISO 15504, ISO 9126, ISO 25000 y CMMI, así como recursos humanos calificados y experimentados que desempeñan roles y responsabilidades específicas en cada proyecto. También emplea técnicas y herramientas para el desarrollo de *software*, ambientes, equipos y *software* adecuados según la línea de productos, y una estructura organizativa similar a la de un negocio de producción con áreas de recursos humanos, logística, fabricación y ventas.

Una fábrica de *software* académica proporciona ambientes, equipos y *software* adecuados para el aprendizaje en el desarrollo de productos. Utiliza estándares, técnicas y herramientas diferentes de los empresariales, con una organización enfocada en docentes líderes por producto. Desarrolla casos prácticos alineados con el plan de estudios y opcionalmente ofrece servicios a personas naturales y jurídicas. La fábrica académica tiene un propósito distinto al de una fábrica empresarial.

Carranza (2008) destaca las diferencias entre una fábrica de *software* empresarial y una fábrica académica. Según él, una fábrica de *software* empresarial necesita contar con modelos, organización, procesos y plataformas bien establecidos. En cambio, la fábrica académica brinda a docentes y estudiantes la oportunidad de aplicar sus conocimientos y practicar con modelos y estándares internacionales reconocidos. Otra diferencia es que la fábrica empresarial construye aplicaciones basadas en el ensamble de componentes ya definidos para entregarlas a sus clientes, mientras que la fábrica académica tiene como clientes a los docentes y estudiantes, quienes aplican sus conocimientos teóricos para resolver problemas que se presenten en la vida real. Coincidimos con las observaciones de Carranza respecto a que los clientes de la fábrica de *software* académica son los docentes y estudiantes. No obstante, la implementación de la fábrica de *software* es muy distinta en universidades privadas y públicas, debido a que la adquisición de recursos difiere entre una y otra.

Existen instituciones universitarias que cuentan con una fábrica de *software* donde docentes y alumnos aplican la teoría a casos y problemas reales. La Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV) también debe tener una fábrica de este tipo y es importante asegurar que ofrezca un valor diferencial tanto para docentes como para estudiantes, y en el futuro, para empresas públicas y privadas a las que se les pueda brindar productos de *software*. El modelo de negocio Canvas es una herramienta que permite destacar este valor diferencial como propuesta de valor.

Para crear la fábrica de *software* en la Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas (FIIS) de la UNFV, es recomendable representarla como un modelo de negocio gráfico que ilustre su funcionamiento futuro. Para ello, se utilizará el modelo Canvas, desarrollado

por Osterwalder y Pigneur (2009), que destaca la importancia de diseñar el negocio en torno a una propuesta de valor que diferencie el producto o servicio de la competencia. El Canvas se divide en nueve bloques: propuesta de valor, segmento de clientes, canales de comunicación y distribución, relación con los clientes, fuentes de ingresos, recursos clave, actividades clave, alianzas clave y estructura de costos.

En ese sentido, se formulan las siguientes preguntas: ¿cómo se debe representar en el lienzo del modelo de negocio la creación de la fábrica de *software* académica en la UNFV-FIIS? ¿Cómo se deben representar en el lienzo del modelo de negocio de la fábrica de *software* académica de la UNFV-FIIS la propuesta de valor diferencial, las relaciones con los clientes (docentes y estudiantes), las actividades clave, los recursos intangibles, los recursos tangibles (ambiente, *hardware*) y los recursos humanos?

El objetivo principal de la presente investigación es implementar un modelo de negocio Canvas para representar la creación de la fábrica de *software* académica en la UNFV-FIIS y hacer que esta se diferencie de otras existentes. Asimismo, medir la influencia de las relaciones con los clientes (docentes y estudiantes), actividades clave, recursos intangibles, recursos tangibles (ambiente, *hardware*) y recursos humanos en la fábrica de *software* académica de la UNFV-FIIS.

Este artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 aborda el estado del arte, la sección 3 describe la metodología del estudio, la sección 4 presenta los resultados obtenidos y la sección 5 se dedica a las discusiones. Finalmente, en la sección 6 se exponen las conclusiones del trabajo.

2. ESTADO DEL ARTE

Se ha realizado una revisión de investigaciones previas sobre fábricas de *software* y el modelo de negocio Canvas, las cuales han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Estas investigaciones se dividen en tres subsecciones: la primera aborda la implementación de fábricas de *software*, la segunda describe las fábricas de *software* académicas, y la tercera está relacionada con el modelo de negocio Canvas.

2.1 Fábrica de *software*

La globalización ha aumentado la oferta de profesionales en carreras de desarrollo de *software*, tales como Ingeniería de Sistemas, Ingeniería Informática, Ingeniería de *Software*, Ingeniería Industrial, Ingeniería Empresarial y Ciencias de la Computación. Los estudiantes deben estar capacitados y alineados con el modelo educativo para aplicar conocimientos teóricos en el sector empresarial. La creación de una fábrica de *software* complementa la formación práctica.

La fábrica de *software* empresarial difiere de aquella centrada en el ámbito académico. Según Ambrocio (2017), la fábrica de *software* MSDN de Microsoft (2012) es un conjunto organizado de componentes de *software* que brinda apoyo a arquitectos y desarrolladores para crear productos de alta calidad, eficientes y predecibles. Incluye activos como código reutilizable, documentación y mapas de implementación, además de herramientas como asistentes, generadores de código y diseñadores visuales. Bombieri (2017, como se citó en Ambrocio, 2017) también describe a la fábrica de *software* como un entorno para desarrollar aplicaciones rápidamente utilizando metodologías efectivas. Estas definiciones, aunque diferentes, se complementan en el ámbito académico para lograr un desarrollo de *software* rápido y efectivo con estándares de calidad reconocidos a nivel internacional, haciendo uso de recursos tangibles e intangibles.

Por su parte, Fernandes y Teixeira (2004) definen la fábrica de *software* como un proceso estructurado y controlado que busca atender diversas demandas, generando productos de *software* de manera productiva y económica según los requisitos de los usuarios. Sobre esta base, Borges et al. (2012) describen la diferencia entre una fábrica de *software* empresarial y una académica. Además, Vivacqua (2009) destaca la diferencia fundamental entre el proceso de fabricación y el desarrollo de *software*. Mientras que el primero produce unidades idénticas de un producto, el segundo produce componentes con características comunes, pero con funciones diferentes.

Oliveira et al. (2017) describen la diferencia entre una fábrica de *software* empresarial y una fábrica de *software* académica. Según los autores, una fábrica de *software* tiene dos aspectos: una visión orientada al mercado, que es un sistema estructurado, controlado y mejorado continuamente para el desarrollo de *software*; y una visión académica, que es un ambiente de experimentación con técnicas y conceptos relacionados con las actividades de desarrollo de *software*. Esta descripción es importante porque una fábrica de *software* debe desarrollar productos con eficiencia y eficacia, para lo cual sus procesos deben ser medidos, controlados y mejorados de manera continua. Además, desde el punto de vista académico, la fábrica de *software* también tiene como objetivo promover la investigación de metodologías, técnicas, herramientas y artefactos innovadores a través de experimentos científicos y tecnológicos.

En ese sentido, es importante el aporte del desarrollo de una arquitectura empresarial por parte de Cáceres y Montoya (2017), quienes analizaron en el capítulo 2 de su tesis los principios de la arquitectura empresarial desde el punto de vista del negocio, de los datos, de las aplicaciones y de la tecnología. Adicionalmente, las fábricas de *software* desarrollan productos a través de la gestión de proyectos, donde un elemento fundamental para el éxito es la división especializada de las funciones entre las personas que intervienen en el proyecto. Por ello, resulta de importancia para este trabajo la investigación de Castillo (2009), ya que describe estándares organizativos como ISO 9001, ISO

15504 y CMMI como “instrumentos privilegiados para conocer las tendencias del desarrollo de *software*”, cuyo uso mejora los procesos en una fábrica de *software*.

2.2 Fábrica de *software* académica

Borges et al. (2012) plantean la creación de un programa de fábrica de *software* académica con los siguientes objetivos:

1. Capacitar a estudiantes en la resolución de problemas relacionados con la producción de *software*.
2. Investigar y aplicar nuevas tecnologías y metodologías de desarrollo de *software*.
3. Facilitar la inserción laboral de los estudiantes en empresas de desarrollo de *software*.

Estos autores también establecen una distinción clara entre la producción de bienes tangibles e intangibles, y señalan que la fábrica de *software* proporciona productos personalizados según las necesidades del cliente. A diferencia de la investigación de Borges et al. (2012), nuestra propuesta de investigación se enfoca en capacitar tanto a estudiantes como a docentes para desarrollar productos de *software* que aborden problemas reales. Coincidimos con Borges et al. (2012) en la importancia de aprovechar las competencias de los estudiantes para su futura inserción en el mercado laboral.

En cuanto a la implementación de una fábrica de *software* académica en una universidad pública con recursos limitados, es recomendable adoptar un enfoque gradual y de bajo costo. En este sentido, la tesis de López (2017) sugiere implementar una fábrica de *software* basada en la norma ISO/IEC 29110, que está diseñada para pequeñas empresas desarrolladoras de *software*. Abarca et al. (2015), por su parte, ofrecen herramientas y artefactos propuestos por esta norma, lo cual resulta relevante para la implementación de la fábrica de *software* en la UNFV-FIIS.

Igualmente, Egúsqüiza y Navarro (2016) presentan un modelo de mejora para el ciclo de vida del desarrollo de *software* basado en la norma ISO/IEC 29110. Este modelo proporciona pautas para mejorar la calidad en proyectos de desarrollo de *software*, haciendo referencia a la norma ISO 15504 y al CMMI como modelos de madurez ampliamente aceptados por las grandes fábricas de *software*. Sin embargo, se requiere una adaptación de estos modelos al contexto de las pequeñas fábricas de *software*, considerando la familia ISO 29110.

Asimismo, Bagarotti y Pérez (2012) utilizan CMMI e ISO 9001 para demostrar que un modelo de factoría de *software* puede mejorar la organización de las personas y el uso idóneo de las herramientas para el desarrollo del *software*, es decir, se logra una reusabilidad de los componentes, lo que mejora el rendimiento de la factoría de *software*.

Por otro lado, Romanha et al. (2019) enfatizan los beneficios de contar con una fábrica de *software* académica para mejorar el aprendizaje de los estudiantes, fortalecer la formación docente y estimular el desarrollo regional. Para lograr estos objetivos, debe contar con una planificación y ejecución adecuadas, así como aplicar metodologías, técnicas y herramientas para el desarrollo de proyectos de *software*. Aunque coincidimos con Romanha et al. (2019) en la importancia de estos aspectos, consideramos que la gestión empresarial integral de la fábrica de *software*, que abarca la planificación, organización, ejecución y control, también desempeña un papel fundamental.

La creación de la fábrica de *software* en la Universidad de Antioquia se desarrolló con un modelo diferente del que propone nuestra investigación. Tal como menciona Colorado Vargas (2022), la fábrica de *software* aparece como un proyecto con el objetivo de conformar “una unidad de desarrollo de *software* especializado orientado a una unidad estratégica universitaria, enfocada en la generación de soluciones tecnológicas para la ciudad, la región y la Universidad de Antioquia”. En cambio, nuestra propuesta tiene como objetivo capacitar a estudiantes y docentes en la fabricación de *software* con estándares apropiados, y busca mejorar la calidad de los productos de *software*. En ese sentido, existe una coincidencia con lo mencionado por Colorado Vargas (2022), ya que es importante contar con elementos como “procesos de desarrollo de *software*, mantenimiento, actualización, despliegue, soporte, capacitación y administración”.

2.3 Modelo de negocio Canvas enfocado en el desarrollo de *software*

Quintero y Téllez (2019) aplican el modelo de negocio Canvas en una empresa emergente de desarrollo de *software* con el objetivo de ofrecer *software* de calidad, innovador y a bajo costo, dirigido a pequeñas y medianas empresas. El modelo les permitió analizar los recursos clave, incluyendo los recursos humanos, inicialmente sostenidos por los propios investigadores. Asimismo, Sigcha y Utreras (2018) investigaron la creación de una fábrica de *software* basada en la reutilización de componentes, lo que permite ahorrar tiempo y reducir los costos de desarrollo, y como consecuencia, ofrecer productos de *software* a precios bajos.

Según Carriel et al. (2017), “un modelo de negocio describe la forma en que una organización crea, entrega y captura valor, el cual no siempre se mide en términos monetarios, sino que también puede ser en términos de necesidades funcionales o emocionales” (p. 93). Complementan esta afirmación con la norma de calidad ISO 10006, que describe al modelo de negocio como un proceso único conformado por un conjunto de actividades coordinadas y controladas, con fecha de inicio y término, que se emprenden para alcanzar un objetivo. La investigación de Carriel et al. (2017), que utiliza métodos exploratorios y descriptivos —entre ellos, encuestas a estudiantes y entrevistas a docentes y expertos—, proporciona un buen marco para nuestra propia investigación, que consiste

en encuestas dirigidas a docentes y estudiantes para identificar las necesidades y expectativas de la comunidad universitaria.

Con otro enfoque, Campos (2016) aplica el modelo de negocio Canvas para la creación de un negocio de comercio electrónico, centrándose en la formulación de estrategias que permitan una comunicación efectiva con los clientes y su fidelización a través de la identificación adecuada de los canales apropiados. La autora describe la aplicación de cada uno de los nueve bloques del modelo Canvas y cómo se interrelacionan. Aunque no se consideran aspectos comerciales como los *gadgets* en nuestra investigación, dado que se orienta a una entidad pública, sí consideramos relevante el diseño de una página web atractiva.

En forma específica, Hernández (2014) aplica los nueve bloques del modelo de negocio para crear una unidad de negocio orientada a proporcionar un servicio tecnológico, donde resalta la importancia del bloque de la creación de la propuesta de valor proponiendo la continuidad en el mantenimiento del servicio, incluso durante el período vacacional de las personas que realizan el servicio; para ello, se forman equipos de trabajo organizados por especialidad, “atendiendo cada equipo a todos los clientes que usan la misma tecnología”. En ese sentido, existe cierta afinidad con la propuesta de valor de nuestra investigación, ya que se considera importante la capacitación y especialización de los docentes y estudiantes en tecnologías específicas de los lenguajes de programación, base de datos y estándares de procesos de *software*.

Espín y Zurita (2015) elaboran un modelo de negocio para empresas de desarrollo de *software* ofreciendo el *software* como servicio, utilizando la computación en la nube (SaaS). Su investigación se basa en cuestionarios y entrevistas a expertos, y los resultados les permiten describir el modelo actual de las empresas desarrolladoras de *software* sustentadas en productos y proponer un modelo de negocio orientado a servicios. Este enfoque de ofrecer el *software* como servicio es innovador, pero requiere una infraestructura tecnológica sólida y una inversión financiera considerable. Consideramos la investigación de Espín y Zurita (2015) como una visión hacia el futuro.

Por otro lado, Torre (2019) menciona que construir un producto de *software* utilizando una fábrica de *software* implica actividades como establecer los requisitos del producto en coordinación con el usuario, realizar análisis para determinar la funcionalidad del producto, especificar formalmente, diseñarlo e identificar los componentes reutilizables para su construcción; luego, se lleva a cabo la implementación, despliegue y prueba del producto. Estas son las principales etapas del desarrollo de *software*. La investigación de Torre (2019) es relevante al aplicar talleres de desarrollo de *software* en la enseñanza y el aprendizaje de estudiantes de Ingeniería de Sistemas, complementando la teoría con la práctica a través de fábricas o talleres de *software* en un laboratorio de cómputo.

3. METODOLOGÍA

3.1 Recolección de datos

Para la presente investigación, se recolectaron datos de estudiantes y docentes de la especialidad de Ingeniería de Sistemas de la UNFV-FIIS. Esta especialidad está conformada por 28 docentes nombrados del Departamento Académico de Ingeniería de Sistemas, que proporcionan servicios académicos a las escuelas profesionales de la universidad; y 400 estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas con registro de matrícula en el año 2022.

En ese sentido, se seleccionó a docentes y estudiantes de la especialidad de Ingeniería de Sistemas asignados o matriculados en asignaturas relacionadas con Ingeniería de *Software*, de la siguiente forma: (i) ocho docentes nombrados del Departamento Académico de Ingeniería de Sistemas que dictan clases en la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas; y (ii) cuarenta estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas matriculados el año 2022 en cursos relacionados con Ingeniería de *Software*.

3.2 Identificación de bloques del modelo de negocio Canvas

La investigación tiene un enfoque cualitativo, ya que los datos recopilados y analizados permitieron obtener conocimiento para la creación de una fábrica de *software* académica. Para ello, se elaboraron dos tipos de encuestas: una con preguntas cerradas y abiertas para evaluar la percepción de los docentes, y otra con preguntas cerradas para conocer los requerimientos y expectativas de los estudiantes sobre los servicios de la fábrica de *software*. Las preguntas se basaron en los principales bloques del modelo de negocio Canvas que se desean medir: segmento de clientes, propuesta de valor, relaciones con clientes (estudiantes y docentes), actividades clave y recursos clave. Los bloques de alianzas clave, canales, ingresos y gastos no se consideraron debido al enfoque de la investigación en la creación de una fábrica de *software* para una universidad pública.

La encuesta a los docentes del Departamento Académico de Ingeniería de Sistemas permitió identificar los bloques del modelo de negocio Canvas necesarios para la creación de la fábrica de *software* y se recopiló datos sobre las expectativas de propuesta de valor de los docentes, las actividades principales requeridas y los recursos clave necesarios. Por otro lado, con la encuesta a los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas se identificó la propuesta de valor y las expectativas generadas por la creación de la fábrica de *software*. También se recopiló datos sobre las alegrías y frustraciones actuales de los estudiantes, que sirvieron como base para proponer mejoras en las actividades y recursos de la fábrica de *software*. En la Tabla 1 se muestran los bloques del modelo de negocio Canvas utilizados para los docentes y estudiantes.

Tabla 1

Bloques del modelo de negocio Canvas utilizados para la creación de la fábrica de software

	Docentes y estudiantes
Modelo de negocio Canvas	Propuesta de valor
	Relación con clientes
	Actividades clave
	Recursos intangibles clave
	Recursos tangibles clave
	Recursos humanos clave
Fábrica de <i>software</i>	Diferenciación de la propuesta de valor
	Satisfacción de clientes
	Eficiencia de actividades clave
	Eficiencia de recursos intangibles
	Eficiencia de recursos tangibles
	Eficiencia de recursos humanos

3.3 Documentación utilizada

Se coordinó con el decano de la Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas para obtener permisos y facilidades para la aplicación de las encuestas a los docentes del Departamento Académico de Ingeniería de Sistemas y a los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas matriculados en el 2022.

La encuesta docente constaba de un cuestionario de 20 puntos, que incluía 17 preguntas cerradas y 3 preguntas abiertas. Se analizaron las preguntas del cuestionario para determinar su relación con los bloques del modelo de negocio Canvas.

La encuesta estudiantil consistía en un cuestionario de 19 preguntas cerradas dirigido a los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas. En colaboración con un grupo de estudiantes de la asignatura de Ingeniería de *Software*, se evaluó la pertinencia de las preguntas del cuestionario para determinar su relación con los bloques del modelo de negocio Canvas, especialmente en lo que respecta a la propuesta de valor y a los recursos para medir las expectativas, alegrías y frustraciones de los estudiantes.

3.4 Relación de los segmentos del modelo de negocio Canvas y la fábrica de software

Se considera de vital importancia en la investigación cinco bloques seleccionados del modelo de negocio Canvas: la identificación del segmento de clientes, la propuesta de valor dirigida a los clientes (docentes y estudiantes), las actividades clave y los recursos clave del negocio. Estos elementos han sido analizados para el diseño de la fábrica de software.

Además, se ha tenido en cuenta el impacto de estos segmentos en el diseño futuro de la fábrica de software, en relación con los siguientes indicadores: diferenciación de la propuesta de valor, satisfacción de los clientes, eficiencia de las actividades clave, eficiencia de los recursos intangibles, eficiencia de los recursos tangibles y eficiencia en los recursos humanos.

4. RESULTADOS

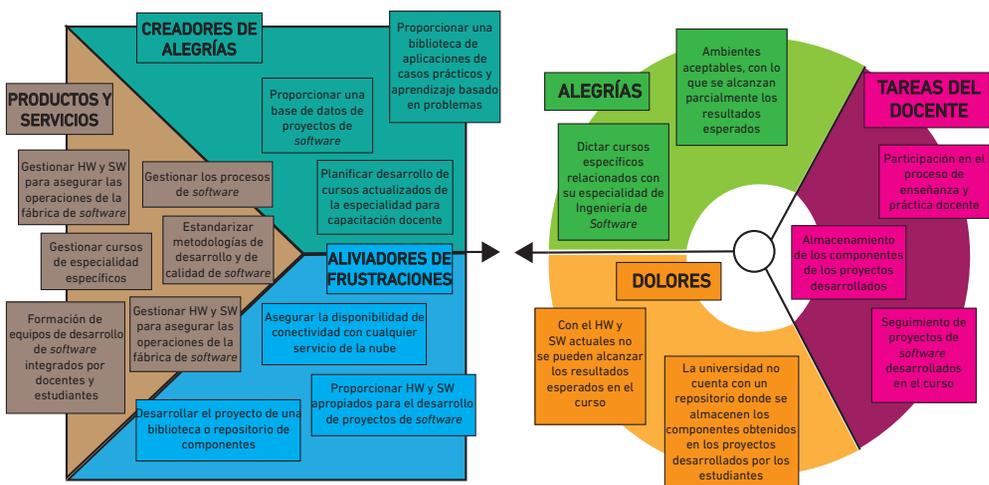
Tras identificar la relación de segmentos del modelo de negocio Canvas y su impacto en la creación de la fábrica de software, a continuación, se presentan los resultados esperados por los docentes y los estudiantes.

4.1 Propuesta de valor para docentes

La Figura 1 presenta la propuesta de valor de la fábrica de software dirigida a los docentes del Departamento de Ingeniería de Sistemas.

Figura 1

Propuesta de valor de la fábrica de software para docentes



La elaboración de este mapa de propuesta de valor revela las formas en que los docentes están dispuestos a participar: mejorar el proceso de enseñanza mediante el uso de metodologías combinadas de desarrollo de casos y aprendizaje basado en problemas, cambiar su enfoque docente para fomentar la participación grupal de los estudiantes en el desarrollo de casos o proyectos basados en problemas, establecer un repositorio o biblioteca para almacenar componentes de proyectos de *software*, y contribuir al desarrollo y seguimiento de los proyectos de *software* realizados por los estudiantes.

Además, los docentes consideran que la universidad debe tomar en cuenta los siguientes aspectos: la UNFV-FIIS cuenta con ambientes aceptables, pero se obtienen resultados parciales, no existe un repositorio para almacenar los componentes de los proyectos de *software* desarrollados por los estudiantes, no se pueden alcanzar los resultados esperados en las asignaturas que requieren el uso de *hardware* y *software* actualizados.

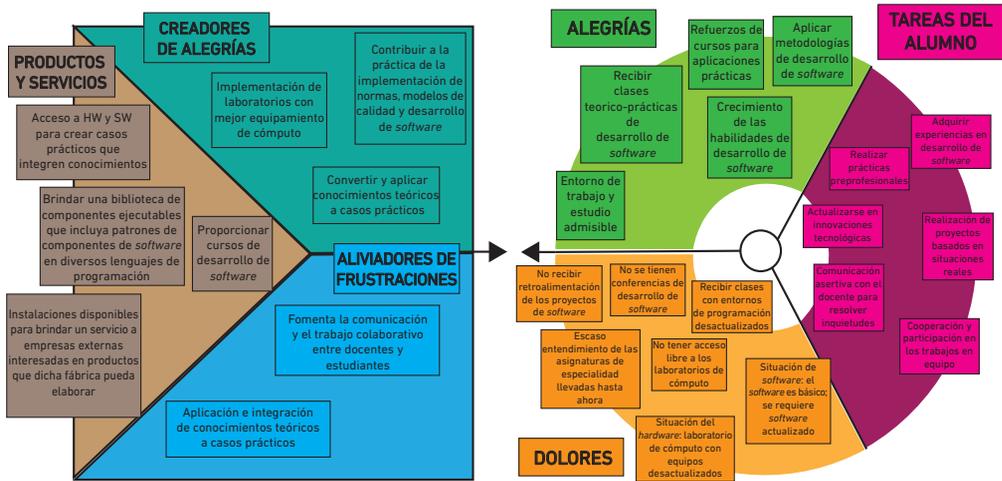
Por último, indicaron que los servicios que se pueden ofrecer como propuesta de valor son estos: (i) elaborar *software* utilizando metodologías y estándares de desarrollo y calidad, (ii) formar equipos de proyectos de *software* integrados por docentes y estudiantes para desarrollar productos de *software* de calidad, y (iii) gestionar las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) utilizando plataformas en la nube para garantizar el funcionamiento de la fábrica de *software*.

4.2 Propuesta de valor para estudiantes

En la Figura 2 se aprecia la propuesta de valor de la fábrica de *software* para los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas.

Figura 2

Propuesta de valor de la fábrica de software para estudiantes



En línea con el mapa de propuesta de valor, los estudiantes muestran motivación para participar en la creación de la fábrica de *software* de la siguiente manera: están dispuestos a realizar prácticas en la fábrica, tienen experiencia en trabajos académicos grupales realizados en los cursos, y están interesados en inscribirse en cursos de capacitación para el desarrollo de *software* innovador y tecnológicamente avanzado.

Además, consideran que la universidad puede mejorar en los siguientes aspectos: promover una mayor comunicación por parte de los docentes en la retroalimentación de los proyectos de *software*, brindar información sobre conferencias relacionadas con el desarrollo de *software*, actualizar y mejorar el *hardware* y *software* instalados en los laboratorios de cómputo, y abordar el bajo rendimiento académico causado por la falta de comprensión de las asignaturas de especialidad cursadas hasta el ciclo anterior.

A pesar de las mejoras necesarias, los estudiantes se sienten motivados porque han recibido clases teórico-prácticas durante el desarrollo de las asignaturas de la especialidad, desean seguir utilizando la infraestructura actualizada y el *software* libre, y valoran la aplicación de metodologías de *software* que les permiten mejorar sus habilidades de desarrollo.

En ese sentido, señalan que los servicios ofrecidos por la fábrica de *software* como propuesta de valor son los siguientes: (i) ofrecer cursos de desarrollo de *software*, (ii) acceso a *hardware* y *software* para crear casos prácticos que les permitan integrar sus conocimientos, y (iii) proporcionar una biblioteca de componentes que incluya patrones de *software* en diferentes lenguajes de programación.

4.3 Relación con los clientes

El segmento de relación con los clientes se compone de los docentes y estudiantes que requieren los servicios de la fábrica de *software*. En ese sentido, los docentes reconocen que la fábrica de *software* fomenta una mejor interacción entre ellos y los estudiantes, además de facilitar la incorporación de los estudiantes en proyectos de *software* del mercado laboral. Asimismo, consideran que su creación e implementación mejora la comunicación entre ellos y los estudiantes, lo que enriquece su perspectiva de la realidad.

Por otro lado, los estudiantes opinan que la fábrica de *software* debería implementar estrategias de comunicación para los proyectos actuales y futuros de *software*, utilizando medios como el correo electrónico, las redes sociales o incluso medios alternativos como *podcasts*. De esta manera, la comunidad universitaria se mantendría informada a través de diversos canales publicitarios.

4.4 Actividades clave

Para llevar a cabo las actividades clave, es fundamental contar con los recursos adecuados. Para los docentes, una actividad clave es la gestión del *hardware* y *software* de la fábrica de *software*. También lo son la selección y estandarización de las metodologías de desarrollo de *software*, así como la definición de los procesos de *software*. Además, destacan la selección y gestión de los proyectos de desarrollo de *software* basados en las asignaturas de la especialidad.

Por otro lado, los estudiantes señalan que una actividad principal es la ejecución y control de la metodología de enseñanza en las asignaturas de la especialidad, y buscan que sea más práctica que teórica. Consideran que el marco teórico se puede investigar en profundidad utilizando las facilidades proporcionadas por internet. Asimismo, participar activamente en el desarrollo práctico de los proyectos de *software* se destaca como otra actividad principal para los estudiantes, ya que les permite reforzar y profundizar en sus conocimientos teóricos en las asignaturas de la especialidad. Por último, el desarrollo de conferencias virtuales relacionadas con la gestión de proyectos de *software* en otras universidades, tanto nacionales como extranjeras, es una actividad principal relevante para ellos.

4.5 Recursos intangibles clave

Como se ha mencionado anteriormente, contar con los recursos adecuados es crucial para llevar a cabo las actividades clave. Tanto los docentes como los estudiantes destacan la importancia de la actualización del *software* en general para el desarrollo de los proyectos de *software*. Además, consideran fundamental la creación de un repositorio o biblioteca institucional de componentes para almacenar los resultados de los

productos de *software* generados en las asignaturas de la especialidad. De esta manera, se facilita el acceso y la reutilización de estos componentes en futuros proyectos.

4.6 Recursos tangibles clave

Si bien es cierto que los docentes reconocen que la universidad cuenta con ambientes aceptables en la actualidad, creen que es necesario actualizar o mejorar el *hardware* existente. En este sentido, identifican como recursos importantes los siguientes: acceso a plataformas *cloud* utilizando PaaS (plataforma como servicio), establecer convenios con proveedores de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y realizar cambios en la estructura curricular para incluir la ingeniería de *software* como un área de especialidad.

Por su parte, los estudiantes coinciden con los docentes en que el *hardware* actual es básico, pero están de acuerdo en seguir utilizando la infraestructura existente. Sin embargo, consideran que la universidad debe planificar a corto y mediano plazo la actualización o mejora del *hardware* para obtener resultados óptimos tanto en las asignaturas de la especialidad como en el desarrollo de proyectos de *software*.

En resumen, tanto los docentes como los estudiantes reconocen la importancia de contar con un *hardware* actualizado y coinciden en la necesidad de realizar mejoras en este aspecto para garantizar un entorno de aprendizaje y desarrollo de *software* óptimo.

4.7 Recursos humanos clave

Los docentes reconocen la importancia de contar con una certificación en la especialidad correspondiente para el ejercicio profesional. Además, valoran la experiencia previa en actividades relacionadas con la fábrica de *software*, especialmente en asignaturas clave de la especialidad, como Ingeniería de *Software*, Base de Datos, Lenguajes de Programación e Ingeniería de Requisitos.

5. DISCUSIÓN

El objetivo del diseño de la fábrica de *software* en esta investigación es generar productos de *software* utilizando metodologías de desarrollo y calidad de *software*. Para lograrlo, se formarán equipos integrados por docentes y estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas, los cuales trabajarán manteniendo una comunicación constante para facilitar la adquisición de experiencia por parte de los estudiantes y prepararlos para su ingreso al mercado laboral.

En la fábrica de *software*, tanto docentes como estudiantes tienen la oportunidad de investigar y desarrollar nuevos componentes de *software* o mejorar los existentes. Estos componentes se aplican en los proyectos de *software* en desarrollo, y después de

pasar por pruebas y demostrar su funcionamiento, se incorporan en un repositorio de componentes para su uso futuro. En la Figura 3, se muestra el modelo de negocio para la creación y diseño de la fábrica de *software* en la UNFV-FIIS. A continuación, se discuten los resultados obtenidos en esta investigación y se comparan con los resultados de otras investigaciones.

Nuestros resultados del modelo de negocio Canvas para la creación de la fábrica de *software* se obtuvieron a través de encuestas realizadas a docentes del Departamento Académico de Ingeniería de Sistemas y a estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas. En este sentido, nuestra investigación presenta similitudes con el estudio de Carriel et al. (2017), quienes utilizaron el método exploratorio y descriptivo, aplicando encuestas a estudiantes de último nivel y entrevistas a docentes y expertos, y describieron el modelo de negocio como un proceso único con un objetivo, utilizando la norma de calidad ISO 10006. En la Figura 3, se presenta el modelo de negocio resultante, que se basa en la recopilación y procesamiento de datos relacionados con la propuesta de valor, las relaciones con los clientes, las actividades clave y los recursos clave.

Figura 3

Modelo de negocio Canvas para la fábrica de Software

MODELO CANVAS: FÁBRICA DE SOFTWARE				
Diseñado para: UNFV - FIIS		Diseñado por: Luis Muñoz Ramos		Fecha: 21/10/2022
				Versión: 01
Socios clave	Actividades clave <ol style="list-style-type: none"> 1. Gestionar HW y SW 2. Estandarizar metodologías de desarrollo de <i>software</i> 3. Establecer procesos de SW 4. Generar proyectos de desarrollo de <i>software</i> 5. Mejorar metodologías de enseñanza 6. Gestionar solicitudes de trabajo 7. Desarrollo de aplicaciones Recursos clave <ol style="list-style-type: none"> 1. Docentes con certificación en los cursos asignados 2. Experiencia en fábricas de <i>software</i> 3. Acceso a plataformas <i>cloud</i> 4. Malla curricular integral con áreas de especialización 5. Laboratorios de cómputo actualizados 6. SW actualizado 	Propuesta de valor <ol style="list-style-type: none"> 1. Estandarizar metodologías de desarrollo y calidad de <i>software</i> 2. Gestionar los procesos de <i>software</i> 3. Gestionar HW y SW para asegurar las operaciones de la fábrica de <i>software</i> 4. Gestionar cursos de la especialidad específicas 5. Formación de equipos de desarrollo de <i>software</i> integrados por docentes y estudiantes 6. Proporcionar una biblioteca de aplicaciones de casos prácticos y aprendizaje basado en problemas 7. Desarrollar la biblioteca o repositorio de componentes <i>software</i> 8. Proporcionar HW y SW para el desarrollo de proyectos SW 	Relación con clientes <ol style="list-style-type: none"> 1. Relación docente-estudiantes para facilitar la inserción de los estudiantes en el mercado laboral 2. Comunicación permanente entre docente y estudiante 3. Uso de medios publicitarios (<i>e-mails</i>, redes sociales) Canales	Segmento de clientes <p>A corto y mediano plazo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Docentes 2. Estudiantes <p>A mediano y largo plazo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Empresas privadas (microempresas, pequeñas empresas) 2. Empresas públicas y privadas de mayor envergadura
Estructura de costos			Fuente de ingresos	

5.1 Segmento de clientes

Se identifica como clientes a corto y mediano plazo a los docentes y estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas de la UNFV-FIIS. A mediano y largo plazo, se prevé ampliar la base de clientes para incluir a docentes y estudiantes de otras facultades, así como a empresas privadas de menor y mayor tamaño. Esta identificación de clientes coincide parcialmente con la investigación de Borges et al. (2012), aunque se diferencia al señalar a los docentes como clientes importantes, quienes pueden aplicar sus conocimientos y experiencias en el desarrollo de *software*.

El segmento de clientes propuesto a corto plazo comprende a los docentes y estudiantes de la universidad, en contraste con el modelo propuesto por Quintero y Téllez (2019), que se enfoca en pequeñas y medianas empresas como clientes.

5.2 Propuesta de valor

La fábrica de *software* ofrece una variedad de servicios para el desarrollo de *software*, basados en estándares y metodologías de calidad. Además, se encarga de definir procesos orientados a medir la madurez del *software* y desarrollar proyectos utilizando componentes almacenados en un repositorio. La propuesta de valor ofrecida se clasifica de la siguiente manera:

1. *Estandarización de metodologías de desarrollo y calidad de software*. La fábrica de *software* inicia su actividad aplicando estándares y metodologías en diferentes áreas, como organización institucional, desarrollo de *software* y calidad de este. Se utilizan normas como la ISO 29110 para la organización de la fábrica, la guía del PMI para la gestión de proyectos de *software* y metodologías ágiles, como Scrum, para el desarrollo. Además, se emplea la familia ISO 25000 para gestionar la calidad del *software* y CMMI para medir la madurez de los procesos. Estas elecciones se basan en investigaciones realizadas por López (2017) y Abarca et al. (2015), quienes utilizaron la ISO 29110 y herramientas propuestas por esta norma.
2. *Gestión de los procesos de software*. La fábrica de *software* se apoya en normas técnicas probadas y validadas para el diseño de sus procesos. Se utilizan normas como la NTP/ISO 12207 para el ciclo de vida del *software*, la NTP/ISO 15504 para la evaluación de los procesos y el CMMI para medir la capacidad de los mismos. La aplicación de estas normas garantiza el desarrollo eficiente y eficaz de los productos de *software* (Oliveira et al., 2017). Sin embargo, a diferencia de Oliveira et al. (2017), la fábrica de *software* propone promover la investigación y experimentación con metodologías, técnicas, herramientas y artefactos innovadores. También se hace referencia a Egúsquiza y Navarro (2016), quienes mencionan la importancia de la calidad en los proyectos de desarrollo de *software* utilizando

- ISO 15504 y CMMI, aunque con diferencias respecto al enfoque propuesto por Oliveira et al. (2017), quienes plantean mejoras de *software* con ISO 29110.
3. *Gestión de hardware y software para asegurar las operaciones.* Dado que la fábrica de *software* se encuentra en una universidad pública con recursos limitados, es fundamental gestionar de manera óptima los recursos de *hardware* y *software* asignados para garantizar la continuidad de las operaciones. No se han encontrado investigaciones específicas relacionadas con esta propuesta de valor.
 4. *Gestión de asignaturas de la especialidad específicas.* La fábrica de *software* se encarga de gestionar y mantener actualizados a docentes y estudiantes en los conocimientos relacionados con asignaturas de Ingeniería de *Software*. Implica estar al día con las actualizaciones, nuevas versiones y nuevos productos de *software*. No se han hallado investigaciones similares relacionadas con esta propuesta de valor.
 5. *Formación de equipos de desarrollo de software integrados por docentes y estudiantes.* La fábrica de *software* promueve la formación de equipos de trabajo compuestos por docentes y estudiantes para el desarrollo de proyectos de *software*. Esto permite a los estudiantes adquirir competencias y prepararse para el mercado laboral, al mismo tiempo que los docentes pueden orientar su aprendizaje de manera más efectiva. Romanha et al. (2019) señalan la importancia de una fábrica de *software* académica para mejorar la formación docente y el nivel académico de los estudiantes.
 6. *Biblioteca de aplicaciones de casos prácticos y aprendizaje basado en problemas.* La fábrica de *software* almacena casos prácticos y basados en problemas en un repositorio para su utilización por parte de docentes y estudiantes. Esto permite poner en práctica la teoría adquirida en clase. No se han encontrado investigaciones similares, pero Torre (2019) destaca la importancia de aplicar talleres de desarrollo de *software* en la enseñanza para complementar la teoría con la práctica.
 7. *Desarrollo y gestión de una biblioteca o repositorio de componentes de software.* La fábrica de *software* cuenta con un repositorio donde se almacenan componentes de *software* desarrollados en proyectos anteriores, con el objetivo de reutilizarlos en futuros proyectos. Esta propuesta de valor es común en fábricas de *software*, tanto empresariales como académicas, y ha encontrado respaldo en investigaciones como las de Ambrocio (2017), Carranza (2008) y Sigcha y Utreras (2018).
 8. *Provisión de hardware y software para el desarrollo de proyectos de software.* La fábrica de *software* proporciona recursos de *hardware* y *software* a docentes y estudiantes que justifiquen su uso en proyectos reconocidos por la fábrica. No se han encontrado investigaciones específicas sobre esta propuesta de valor.

5.3 Relaciones con los clientes

La fábrica de *software* busca fomentar una relación docente-estudiante, una comunicación efectiva y una difusión adecuada de sus actividades. Estudios similares, como el de Campos (2016), han utilizado estrategias de comunicación, como el modelo de negocios Canvas y la creación de una página web, para atraer y fidelizar a sus clientes.

5.4 Actividades clave

Tras el análisis de los datos, se han identificado las siguientes actividades clave para la fábrica de *software*: gestión de *hardware* y *software* asignados, estandarización de metodologías de desarrollo, establecimiento de procesos de *software*, generación de proyectos de desarrollo, mejora de metodologías de enseñanza, gestión de solicitudes de trabajo de los estudiantes y desarrollo de aplicaciones. Mientras que algunas de estas actividades son comunes en todas las fábricas de *software*, las actividades de mejora de metodologías de enseñanza y gestión de solicitudes de trabajo de los estudiantes carecen de investigaciones similares. Es esencial mejorar el proceso de enseñanza para integrar teoría y práctica, así como mantener una comunicación fluida entre docentes y estudiantes. Además, la fábrica de *software* debe identificar estrategias para establecer relaciones con instituciones públicas y privadas, a fin de gestionar una bolsa de trabajo especializada y manejar las solicitudes de empleo de los estudiantes, lo cual difiere de las responsabilidades de otras áreas encargadas de la bolsa de trabajo universitaria.

5.5 Recursos intangibles clave

La fábrica de *software* requiere de recursos intangibles prioritarios para su óptimo desarrollo en el ámbito académico. Estos recursos incluyen la elaboración de una malla curricular integral que esté en consonancia con las mallas curriculares de las escuelas profesionales que utilicen los servicios de la fábrica. Además, es esencial mantener actualizado el *software* utilizado. La malla curricular es un recurso fundamental, ya que proporciona la estructura de asignaturas y prerrequisitos necesarios para que la fábrica pueda ofrecer sus servicios de acuerdo con la especialidad de la carrera profesional. Asimismo, es necesario mantener actualizada la lista de *software* requerido por los docentes y estudiantes, como se ha destacado en los resultados analizados.

5.6 Recursos tangibles clave

Aunque el recurso humano es prioritario para la fábrica de *software*, también existen recursos tangibles clave que no se pueden descuidar. Estos incluyen el acceso a plataformas de *cloud computing* y laboratorios de cómputo con *hardware* actualizado. En los resultados analizados, se ha destacado la importancia de estos recursos. La fábrica de *software* debe contar con una plataforma en la nube que permita a los docentes y

estudiantes compartir el progreso de los proyectos, garantizando así su acceso inmediato sin importar las distancias geográficas y asegurando la continuidad del proyecto. Además, los laboratorios de cómputo utilizados deben contar con *hardware* actualizado para asegurar el éxito de los proyectos y brindar tranquilidad a los equipos de trabajo. En investigaciones previas, Espín y Zurita (2015) han demostrado la relevancia de ofrecer el *software* como servicio (SaaS) en lugar de como producto, aunque reconocen que esto requiere de una infraestructura potente y una inversión económica considerable. Aunque esta inversión puede resultar desafiante para una universidad pública, la investigación de Espín y Zurita (2015) señala una dirección hacia la cual la fábrica de *software* puede evolucionar en el futuro.

5.7 Recursos humanos clave

Los recursos humanos clave en la fábrica de *software* son aquellos docentes que cuenten con certificación en las asignaturas que imparten y con experiencia laboral en fábricas de *software*. En la actualidad, es fundamental que los docentes se capaciten de manera continua para ofrecer conocimientos actualizados, ya que los fabricantes de *software* base y los nuevos productos emergentes requieren una especialización. Por lo tanto, los docentes encargados de asignaturas relacionadas con una especialidad específica deben obtener certificaciones correspondientes, como, por ejemplo, un certificado de DBA (administrador de bases de datos) para el docente a cargo de la asignatura de Base de Datos. La investigación de Quintero y Téllez (2019) ha permitido analizar los recursos clave, incluyendo los recursos humanos, con el objetivo de mantener recursos autosostenibles y reducir los costos del negocio.

6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se han identificado las especificaciones de los cinco bloques del modelo de negocio Canvas aplicados en la creación de una fábrica de *software* en la UNFV-FIIS: segmento de clientes, propuesta de valor, relaciones con el cliente, actividades clave y recursos clave. Dado que se trata de una universidad pública, no se han considerado los bloques de costos, ingresos, socios clave y canales de distribución.

La propuesta de valor de la fábrica de *software* destaca por sus características diferenciadoras respecto a otras fábricas de *software* académicas, como la gestión de cursos de actualización especializados y el suministro de *hardware* y *software* necesario para docentes y estudiantes. Además, como recomendación, esta investigación abre la puerta a nuevas investigaciones detalladas en los bloques utilizados del modelo, las cuales permitirán llevar a cabo la implementación efectiva de la fábrica de *software*.

REFERENCIAS

- Abarca, M., Arisaca, R., & Dávila, A. (2015). *Implementación del perfil básico de la ISO/IEC 29110 de una pequeña empresa desarrolladora de software: lecciones aprendidas*. Ibero-American Conference on Software Engineering. https://eventos.spc.org.pe/cibse2015/pdfs/06_IT15.pdf
- Ambrocio, T. (2017). *Modelo de fábrica de software para el desarrollo de sistemas de información en la empresa UCL Global Perú S.A.C., Callao 2017* [Tesis de maestría, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/19337>
- Bagarotti, Y., & Pérez, A. (2012). Las factorías de *software*, una alternativa para garantizar la calidad de los productos. *Revista INGENIERÍA*, 19, 31-39. <https://www.redalyc.org/pdf/707/70732261005.pdf>
- Borges, K. S., Carvalho, T. P., & Moraes, M. A. C. (2012). *Programa de Extensão "Fábrica de Software Acadêmica": contribuyendo para a formação profissional na área da Informática*. XX Workshop sobre Educação em Computação, 2012, Curitiba; XXX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação.
- Cáceres, G., & Montoya, M. Á. (2017). *Propuesta de una arquitectura empresarial para una fábrica de software* [Tesis de título profesional, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/621406>
- Campos, R. (2016). *Aplicación del modelo Canvas para la creación y puesta en marcha de un negocio de comercio electrónico en BRILDOR, S.L.* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio Institucional. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/65832>
- Carranza, Z. (2008). Fábrica académica de *software*. *Interfases*, 3, 7-22. <https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Interfases/article/view/158/113>
- Carriel, J. C., Guarnizo, S. F., & Asencio, L. C. (2017). Modelo de negocios Canvas: análisis de sus horizontes epistemológicos. *INNOVA Research Journal*, 2(3), 91-98. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n3.2017.140>
- Castillo, J. J. (2009). Las fábricas de *software* en España: organización y división del trabajo. *Trabajo y Sociedad*, XI(12), 1-39. <https://www.redalyc.org/pdf/3873/387334684001.pdf>
- Colorado Vargas, M. P. (2022). *Avanza el proyecto de la fábrica de software de la Universidad de Antioquia*. Universidad de Antioquia. <https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/generales/interna/?page=udea.generales.interna&urile=wcm%3>

Apath%3A%2FPortalUdeA%2FasPortalUdeA%2FasHomeUdeA%2FasInstitucional%2FUnidades-academicas%2FasFacultades%2FIngenier%2521c3%252-1ada%2FasContenidos%2FasLis

- Egúsquiza, H., & Navarro, R. (2016). *Modelo de mejora del ciclo de vida del desarrollo de software con referencia a la ISO/IEC 29110. Caso Mype Holinsys* [Tesis de grado, Universidad de Lima]. Repositorio Institucional. Universidad de Lima. <http://doi.org/10.26439/ulima.tesis/3139>
- Espín, I. S., & Zurita, A. C. (2015). *Modelo de negocio para empresas de desarrollo de software como servicio en la ciudad de Quito* [Tesis de maestría, Escuela Politécnica del Ejército]. Repositorio Institucional. Escuela Politécnica del Ejército. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10315>
- Fernandes, A. A., & Teixeira, D. D. (2004). *Fábrica de software. Implantação e gestão de operações*. Atlas.
- Hernández, J. (2014). *Diseño de una estrategia de negocios que genere ingresos recurrentes para una empresa de software* [Tesis de maestría, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/116701>
- López, W. (2017). *Herramientas para facilitar la implementación de la ISO/IEC 29110 en las pymes. Caso: Lead Working Partner* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1333>
- Microsoft. (2012). *Software Factories*. <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ff699235.aspx>
- Oliveira, M. C. O., Oliveira, S. R. B., & Meira, S. L. (2017). *Condução de uma fábrica de software e o processo de aprendizagem em cursos de graduação de TI: uma aplicação de um survey sobre a percepção da importância*. En *Anais do XXVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. <http://dx.doi.org/10.5753/cbie.sbie.2017.92>
- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2009). *Generación de modelo de negocio*. Modderman Drukwerk.
- Quintero, A., & Téllez, J. (2019). *Modelo de negocio para Mundo Software-Soluciones Tecnológicas* [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://hdl.handle.net/11349/15893>

- Romanha, S., Junior, J. M., & Dale Luche, J. R. (2019). Fábrica de *software* em instituições de ensino superior: análise de universidades brasileiras. *Revista Produção Online*, 19(2), 408-429. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v19i2.2813>
- Sigcha, W. L., & Utreras, E. V. (2018). *Fábrica de software para pequeñas y medianas empresas* [Tesis de maestría, Universidad San Francisco de Quito]. Repositorio de la Universidad San Francisco de Quito. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7583/1/139663.pdf>
- Torre, A. A. (2019). *Uso de talleres de desarrollo de software en la formación profesional de los estudiantes de la escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional del Callao* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional Digital. Universidad Nacional del Callao. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/5150>
- Vivacqua, F. R. (2009). *Fábricas de software e a academia: análise da formação acadêmica em informática no município do Rio de Janeiro*. Fundação Getúlio Vargas. <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/3703?show=full>

ANEXO 1

ENCUESTA A DOCENTES

Nombres y apellidos:

Categoría:

Dedicación:

1. Asignaturas de la especialidad que tiene a su cargo o que podría dictar:

- Programación (Fundamentos, Aplicada)
- Base de Datos (Fundamentos, Diseño, Administración)
- Ingeniería de Procesos
- Dinámica de Sistemas
- Ingeniería de Requerimientos
- Arquitectura de *Software*
- Ingeniería de *Software*
- Ingeniería del Conocimiento
- Simulación de Sistemas
- Taller de Integración de Sistemas

Inteligencia de Negocios

Inteligencia Artificial

Gerencia de Proyectos de TI

2. **¿Cómo considera la comunicación que mantiene con los estudiantes de la asignatura?**
 - a. Nada importante
 - b. Algo importante
 - c. Importante
 - d. Demasiado importante

3. **¿Considera que en la universidad se tiene el *hardware* necesario para alcanzar los resultados en su asignatura?**
 - a. No, falta implementar *hardware* actualizado.
 - b. No, el *hardware* es básico, se debe repotenciar.
 - c. Tiene *hardware* aceptable, con el cual se alcanzarían resultados parciales.
 - d. Sí, se tiene el *hardware* necesario y logro obtener los resultados en la asignatura.

4. **¿Considera que la universidad tiene el *software* necesario para alcanzar los resultados en su asignatura?**
 - a. No, falta implementar *software* actualizado.
 - b. No, el *software* es básico debido a que no se tiene *hardware* apropiado.
 - c. Tiene *software* aceptable, con el cual se alcanzarían resultados parciales.
 - d. Sí, se tiene el *software* necesario y logro obtener los resultados en la asignatura.

5. **¿Considera que la universidad tiene el ambiente necesario para alcanzar los resultados en su asignatura?**
 - a. No, falta implementar el ambiente apropiado.
 - b. No, el ambiente es básico.
 - c. Tiene un ambiente aceptable, se alcanzarían resultados parciales.
 - d. Sí, se tiene el ambiente apropiado para obtener los resultados en la asignatura.

6. **¿Los resultados obtenidos en su asignatura se almacenan en un repositorio o biblioteca de la universidad?**

- a. No, no se cuenta con un repositorio institucional.
 - b. No, se tiene un repositorio institucional, pero no se almacenan los resultados.
 - c. Sí, se tiene un repositorio institucional, pero no se actualiza como es debido.
 - d. Sí, se tiene el repositorio institucional donde se almacenan los resultados.
- 7. Considera que la ejecución de proyectos de desarrollo de *software* como parte de una asignatura de la especialidad es:**
- a. Nada importante
 - b. Algo importante
 - c. Importante
 - d. Demasiado importante
- 8. La obtención de una certificación para el dictado de una asignatura de la especialidad (Programación, DBA, PMP, etcétera) la considera:**
- a. Nada importante
 - b. Algo importante
 - c. Importante
 - d. Demasiado importante
- 9. Considera que la implementación de una fábrica de *software* para la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas es:**
- a. Nada importante, no contribuye a la formación académica.
 - b. Algo importante, contribuye en forma parcial a la formación académica.
 - c. Importante, contribuye a la formación académica.
 - d. Demasiado importante, contribuye a una formación académica de calidad.
- 10. ¿Cuáles considera que serían las principales actividades para una fábrica de *software*?**
- a. Metodologías de desarrollo de *software*
 - b. Establecer los procesos de *software*
 - c. Gestionar *hardware* y *software*
 - d. Otros

11. **El uso de metodologías contribuye a la propuesta de valor de una fábrica de *software*:**
 - a. Nada importante
 - b. Algo importante
 - c. Importante
 - d. Demasiado importante

12. **La disponibilidad de *hardware* y *software* contribuye a la propuesta de valor de la fábrica de *software*:**
 - a. Nada importante
 - b. Algo importante
 - c. Importante
 - d. Demasiado importante

13. **La biblioteca de componentes contribuye a la propuesta de valor de la fábrica de *software*:**
 - a. Nada importante
 - b. Algo importante
 - c. Importante
 - d. Demasiado importante

14. **En su desarrollo docente, ¿cómo considera el uso de metodologías en el proceso de aprendizaje?**
 - a. Las metodologías tradicionales son eficientes y eficaces en el proceso de aprendizaje.
 - b. Las metodologías con aplicaciones de casos son eficaces en el proceso de aprendizaje.
 - c. Las metodologías basadas en problemas son eficaces en el proceso de aprendizaje.
 - d. Una combinación híbrida entre desarrollo de casos y basado en problemas es eficaz.

- 15. ¿Ha aplicado temas relacionados con una fábrica de *software* en alguno de estos cursos?**
- a. Lenguajes de Programación
 - b. Bases de Datos
 - c. Ingeniería de Requisitos
 - d. Ingeniería de *Software*
- 16. ¿Qué opina acerca de que una fábrica de *software* facilitaría la incorporación de los estudiantes al mercado laboral?**
- a. No facilita la incorporación de los estudiantes al mercado laboral.
 - b. Facilita en algo la incorporación de los estudiantes al mercado laboral.
 - c. Facilita en forma aceptable la incorporación de los estudiantes al mercado laboral.
 - d. Facilita bastante la incorporación de los estudiantes al mercado laboral.
- 17. ¿Considera que su práctica docente cambiaría con la implementación de la fábrica de *software*?**
- a. No, seguiría siendo parte activa y principal del proceso de aprendizaje.
 - b. Sí, pero debo seguir siendo parte activa y principal del proceso de aprendizaje.
 - c. Sí, mi práctica docente debe cambiar con la participación grupal de los estudiantes.
 - d. Sí, debo cambiar mi práctica docente a desarrollo de casos o basado en problemas.
- 18. ¿Cuál considera usted que sería el valor agregado de una fábrica de *software*?**
- 19. ¿Qué resultados espera obtener en su asignatura con la creación de una fábrica de *software*?**
- 20. Para lograr los resultados esperados, ¿qué recursos de TI necesita?**

ANEXO 2

ENCUESTA A ESTUDIANTES

Nombres y apellidos:

1. **De acuerdo con tu plan de estudios, ¿en qué ciclo o semestre académico te encuentras?**
 - a. Tercer ciclo
 - b. Quinto ciclo
 - c. Séptimo ciclo
 - d. Noveno ciclo

2. **Sobre la base de las asignaturas que has llevado hasta ahora, ¿cómo calificas el desarrollo de las asignaturas de la especialidad?**
 - a. Teórico
 - b. Práctico
 - c. Teórico-práctico
 - d. Otro (especifique): _____

3. **Sobre la base de las asignaturas de la especialidad que has llevado hasta ahora, ¿cómo se aplicó la metodología de enseñanza académica?**
 - a. El docente desarrolla la metodología en forma teórica, y el estudiante no aplica los conocimientos adquiridos.
 - b. El docente desarrolla la metodología en forma teórica, y el estudiante aplica los conocimientos adquiridos sin entenderlos bien.
 - c. El docente desarrolla la metodología en forma teórica, y el estudiante aplica los conocimientos adquiridos con un claro entendimiento.
 - d. El docente muestra en forma general la metodología, y el estudiante investiga una metodología específica y la aplica.

4. **En general, ¿cómo considera la comunicación que mantienen los docentes con los estudiantes de la asignatura?**
 - a. Los docentes son poco comunicativos, no responden a las dudas del estudiante.
 - b. Los docentes son algo comunicativos, responden parcialmente a las dudas del estudiante.

- c. Los docentes son comunicativos, pero se limitan a responder a las dudas del estudiante.
 - d. Los docentes son bastante comunicativos, responden en forma detallada a las dudas del estudiante.
- 5. Siguiendo con las asignaturas de la especialidad, al finalizar cada asignatura, ¿qué piensas acerca de tu desempeño académico?**
- a. Pobre desempeño, no entiendo y no aplico los conocimientos adquiridos en la asignatura.
 - b. Regular desempeño, entiendo poco y me limito a aplicar los conocimientos adquiridos en la asignatura.
 - c. Buen desempeño, entiendo, analizo y luego aplico los conocimientos adquiridos en la asignatura.
 - d. Excelente desempeño, entiendo, investigo, analizo, aplico y explico los conocimientos adquiridos en la asignatura.
- 6. En general, ¿cómo se desarrollan las tareas académicas en las asignaturas de la especialidad?**
- a. No existen tareas académicas, recibo los conocimientos impartidos por el docente.
 - b. Las tareas académicas son individuales, el docente retroalimenta la tarea entregada.
 - c. Las tareas académicas son grupales, pero no todos los integrantes del grupo participan en ellas y el docente no retroalimenta la tarea entregada.
 - d. Las tareas académicas son grupales, existe una activa participación de los integrantes del grupo. El docente retroalimenta la tarea entregada.
- 7. ¿Consideras que la universidad tiene laboratorios de cómputo con *hardware* y *software* apropiados para alcanzar los resultados en las asignaturas de la especialidad?**
- a. No, falta implementar laboratorios de cómputo con *hardware* y *software* debidamente actualizados.
 - b. No, los laboratorios tienen *hardware* y *software* básicos, deben repotenciarlos.
 - c. Sí, los laboratorios tienen *hardware* y *software* aceptables, con los cuales se lograron alcanzar en forma parcial los resultados esperados.

- d. Sí, los laboratorios tienen *hardware* y *software* actualizados, con los cuales se lograron alcanzar en forma total los resultados esperados.
- 8. ¿Cuál es tu nivel de satisfacción con las asignaturas de especialidad llevadas hasta ahora?**
- a. Muy satisfecho(a)
 - b. Algo satisfecho(a)
 - c. Algo insatisfecho(a)
 - d. Muy insatisfecho(a)
- 9. ¿Has obtenido respuestas a las solicitudes de trabajo presentadas y que estaban relacionadas con las asignaturas de la especialidad?**
- a. No envié solicitudes de trabajo.
 - b. Sí envié solicitudes, pero no recibí ninguna respuesta.
 - c. Sí envié solicitudes, recibí respuesta, pero no logré entrar al trabajo.
 - d. Sí envié solicitudes, recibí respuesta, estoy trabajando.
- 10. ¿Tienes conocimiento de en qué consiste una fábrica de *software* académica?**
- a. No tengo conocimiento, tendría que averiguar en qué consiste.
 - b. He escuchado ese término en clases, pero no recuerdo mucho en qué consiste.
 - c. Tengo algo de conocimiento, algunos docentes trataron de ese tema en clases.
 - d. Sí tengo conocimiento, lo escuché a algunos docentes en clases.
- 11. ¿Crees que la implementación de una fábrica de *software* en la FIIS es necesaria?**
- a. No lo considero necesario.
 - b. Me resulta indiferente.
 - c. Puede ser de utilidad.
 - d. Es muy necesario.
- 12. ¿Qué opinas acerca de que la enseñanza de los conocimientos teóricos de Ingeniería de *Software* se puede mejorar si se refuerza con aplicaciones prácticas en una fábrica de *software*?**
- a. Me reforzaría en forma bastante aceptable.

- b. Me reforzaría en forma aceptable.
- c. Me reforzaría en algo.
- d. No creo que me refuerce.

13. ¿La infraestructura tecnológica actual de la FIIS podrá ser utilizada por una fábrica de *software* para complementar los conocimientos teóricos de Ingeniería de *Software*?

- a. No, habría que hacer un estudio para renovar o repotenciar la infraestructura actual.
- b. No creo, la infraestructura tanto de *hardware* como de *software* son bastante obsoletas.
- c. Creo que sí, claro que se tendría que repotenciar la infraestructura actual.
- d. Sí, el *hardware* soporta las plataformas de *software* libre que se podría bajar sin costo alguno.

14. ¿Estarías dispuesto(a) a desarrollar aplicaciones prácticas en una fábrica de *software* en forma adicional a la enseñanza de los conocimientos teóricos para aprender la Ingeniería de *Software*?

- a. Sí, aunque tendré que dedicar más tiempo y esfuerzo al aprendizaje.
- b. Sí, creo que de esa forma podré complementar más rápidamente los conocimientos teóricos.
- c. Sí, pero se debe disminuir el tiempo de teoría para dedicar más tiempo a la práctica.
- d. No, puedo aplicar por mi cuenta los conocimientos teóricos adquiridos.

15. ¿Los casos por resolver en la fábrica de *software* deben reflejar situaciones reales?

- a. No, me conformo con resolver casos sencillos.
- b. No necesariamente, pero los casos deben aproximarse a una realidad.
- c. Sí, deben reflejar una realidad con el apoyo del docente.
- d. Sí, para identificar en la realidad las necesidades y requerimientos del cliente.

16. ¿Estarías dispuesto(a) a inscribirte en cursos ofrecidos por la fábrica de *software*?

- a. Sí.
- b. Tal vez.
- c. No me interesa.
- d. No por el momento.

17. ¿Asistirías a una conferencia virtual sobre fábrica de *software*?

- a. Sí.
- b. Tal vez.
- c. No me interesa.
- d. No, pero me gustaría tener acceso a la grabación.

18. ¿Consideras que las prácticas preprofesionales podrían ser realizadas dentro de la fábrica de *software*?

- a. Sí.
- b. Tal vez.
- c. No lo he considerado.
- d. No, prefiero una entidad externa.

19. ¿A través de qué medios te gustaría conocer los proyectos por concretarse o realizados de la fábrica de *software*?

- a. Correos o artículos publicados por la universidad
- b. Redes sociales
- c. Radio
- d. Todas las anteriores

DATOS DE LOS AUTORES

OLDA BUSTILLOS ORTEGA

Magíster en Auditoría en Sistemas de la Información. Directora y docente de la Escuela de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica.

JAVIER ROJAS SEGURA

Candidato a doctor en Dirección de Empresas y magíster en ciencias en Investigación Empresarial. Investigador del Centro de Investigación en Administración, Economía y Gestión Tecnológica del Tecnológico de Costa Rica. Docente investigador de la Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica. Investigador de GAIA Business School, Guatemala.

CINDY ORTIZ ACUÑA

Magíster en Administración de Empresas. Docente investigadora de la Escuela de Administración de Empresas, Tecnológico de Costa Rica.

JENNIER SOLANO CORDERO

Doctor en Ciencias de la Administración e ingeniero informático. Profesor adjunto de la Escuela de Ingeniería en Computación, Tecnológico de Costa Rica.

EUGENIA FERRETO GUTIÉRREZ

Doctora en Dirección de Empresas. Docente investigadora de la Escuela de Administración de Empresas, Tecnológico de Costa Rica.

BRENDA XIOMARA TAFUR ACENJO

Bachiller en Ingeniería de Sistemas por la Universidad de Lima, especializada en sistemas de información y estrategia de contenidos. Ha realizado investigación en el extranjero en temas de *machine learning* y lenguaje de señas peruano. Su interés de investigación se centra en visión computacional y nuevas formas de uso de la inteligencia artificial para un impacto positivo en la sociedad.

MARTIN ALEXIS TELLO PARIONA

Egresado de la Carrera de Ingeniería de Sistemas por la Universidad de Lima, cuenta con una especialización en Sistemas de Información. En esta casa de estudios, destacó por ser fundador del círculo de estudios CEADA, con el que ha participado en eventos internacionales de programación competitiva. Tiene experiencia laboral como RPA Developer en EY. Su interés como investigador se centra en la inteligencia artificial y la ciberseguridad.

EDWIN JHONATAN ESCOBEDO CÁRDENAS

Magíster y doctorado en Ciencia de la Computación por la Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil. Bachiller en Ciencias de la Computación e Ingeniería Informática por la Universidad Nacional de Trujillo. Actualmente, es docente en la Universidad de Lima en la Carrera de Ingeniería de Sistemas. Investigador RENACYT. Sus áreas de interés son la visión computacional, el *machine learning* y la ciencia de datos.

GUILLERMO TEJADA MUÑOZ

Ingeniero electrónico y doctor en Ingeniería Industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), Perú. Máster en Ingeniería Electrónica por la Universidade de São Paulo, Brasil. Profesor principal en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica de la UNMSM.

ALVARO SOTELO VILA

Bachiller en Ingeniería de Sistemas por la Universidad de Lima. Tiene experiencia en consultoría durante una pasantía en IBM. Actualmente, trabaja en obtener su título profesional en la Carrera de Ingeniería de Sistemas. Sus áreas de interés son *business intelligence*, drones y electrónica.

LOURDES RAMÍREZ CERNA

Magíster en Ciencia de la Computación por la Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil. Graduada en Ciencias de la Computación por la Universidad Nacional de Trujillo. Actualmente, está terminando el doctorado en Ciencias e Ingeniería en la Universidad Nacional de Trujillo. Docente auxiliar en la Universidad de Lima en la Carrera de Ingeniería de Sistemas. Investigadora RENACYT. Sus áreas de interés son la visión computacional, *machine learning*, optimización combinatoria y logística.

EDWIN HUMBERTO CALDERÓN-FUENTES

Candidato a Magíster en Educación con especialidad en Gestión del Aprendizaje y Educación Superior por la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Perú. Máster en Dirección y Administración Financiera por la Escuela de Organización Industrial (EOI), España. Ingeniero industrial por la Universidad de Lima, Perú. Ejecutivo con amplia experiencia en el sector financiero en procesos de transformación corporativa, procesos de negocio, gestión de personas, gobierno corporativo, gestión de riesgos, control interno y cumplimiento, entre otros. Ha liderado proyectos interinstitucionales, con una visión innovadora y promoviendo prácticas que marcaron hitos en el sector bancario. Auditor interno certificado (CIA) y especialista certificado en delitos financieros (CFCS), con habilidades para la implementación de entornos de control y soluciones que mejoren el logro de objetivos estratégicos. Director del Programa Especializado en Cumplimiento Corporativo de la Escuela de Posgrado de la UPC, y consultor independiente en gestión empresarial y en procesos de enseñanza-aprendizaje. Se interesa en temas de investigación relacionados con los procesos de enseñanza-aprendizaje y proyectos educativos para reforzar los comportamientos cívicos ciudadanos y la educación técnica superior, el desarrollo de ventajas competitivas mediante el fortalecimiento de la cultura organizacional y el gobierno corporativo, la gestión de riesgos y el modelamiento de control interno con el apoyo de las funciones de educación y *compliance*.

EDGAR SMITH HUAMANÍ-SAYÁN

Doctorando en Educación por la Universidad San Ignacio de Loyola (USIL), estudiante de la Maestría en Educación de la UPC, magíster en Finanzas por la ESAN y economista por la Universidad Nacional de Callao. Tiene estudios complementarios en Educación y Finanzas en la Haaga-Helia University, Finlandia; la Universitat Pompeu Fabra, España; y la Universidad de Buenos Aires, Argentina. Tiene experiencia laboral como docente de la Facultad de Contabilidad y Finanzas de la Universidad Privada del Norte, jefe de la Unidad de Programación y Presupuesto del Hospital Santa Rosa y consultor independiente en temas de emprendimiento y planes de negocio para el sector público y privado. Se interesa en investigar temas relacionados con la cultura organizacional, tecnologías

de la información y la comunicación, herramientas digitales aplicadas al aprendizaje educativo y políticas educativas. Asimismo, en buscar soluciones financieras, planeamiento, emprendimiento y planes de negocio.

LETICIA SIU LENG LEÓN LAZO

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Actualmente, ejerce el cargo de analista de ingeniería logística en una empresa comercial, gestiona y formula proyectos de mejora mediante la especialización en *lean manufacturing*. Sus principales intereses profesionales están orientados a analizar y proponer soluciones de mejora continua.

LORENA PAOLA VIVANCO VIVANCO

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Actualmente, trabaja en una empresa fabricante de calzados industriales en un puesto del área logística, donde se encarga del control de inventarios de materias primas y productos terminados. En un futuro quiere desarrollar su propia empresa comercializadora.

OMAR AYALA CADENA

Egresado del Centro Universitario UAEM Texcoco de la Carrera de Ingeniería en Computación. Actualmente, estudia la Maestría en Ciencias de la Computación en la rama de Cómputo Aplicado a la Educación y a los Sistemas de Información. Se ha desempeñado como profesional en análisis y pruebas de *software*, así como líder de calidad y de proyecto. Se interesa en las actualizaciones en el avance de la tecnología y cómo aplicarlas en el día a día con la finalidad de solucionar los problemas en el ámbito educativo y lograr generaciones mejor preparadas para ambientes laborales o académicos competitivos.

IRENE AGUILAR JUÁREZ

Maestra en Ingeniería en Sistemas Computacionales e ingeniera en computación. Profesora de tiempo completo en el Centro Universitario UAEM Texcoco, adscrito a la Universidad Autónoma del Estado de México. Su interés de investigación está centrado en la tecnología educativa, ya que considera que es necesario introducir las nuevas tecnologías en la práctica docente para lograr actividades atractivas, motivadoras y enriquecedoras para el estudiante.

LUIS AVELINO MUÑOZ RAMOS

Magíster en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Alas Peruanas y egresado del doctorado en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Nacional del Centro del Perú. Graduado en Ingeniería Industrial por la Universidad Nacional Federico Villarreal. Docente nombrado en la categoría de asociado a tiempo completo en la Universidad Nacional Federico Villarreal. Sus intereses de investigación son los sistemas de gestión por competencias para la administración pública, las *smart cities*, la inteligencia artificial y el *machine learning*.

MILAGROS ELISA LEONARDO RAMOS

Magíster en Administración de la Educación por la Universidad César Vallejo y egresada del doctorado en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Nacional del Centro del Perú. Graduada de la carrera de Ingeniería de Sistemas e Informática por la Universidad Continental. Docente a tiempo completo en la Universidad Tecnológica del Perú y docente contratada en la Universidad Nacional de Cañete. Sus intereses de investigación son el *machine learning* y el análisis de datos.



ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

Cómo promueven los Estados la ciberseguridad de las pymes

Competencias de comportamiento, determinando la existencia de una brecha entre la academia y el mercado laboral de TI

Comparativa entre RESNET-50, VGG-16, Vision Transformer y Swin Transformer para el reconocimiento facial con oclusión de una mascarilla

Lógica difusa para regular la velocidad de un motor de corriente continua (CC)

Optimización de planes de vuelo para múltiples drones en zonas de construcción

Aspectos relevantes de la cultura organizacional de los docentes en una institución de educación superior tecnológica peruana

Modelo para la mejora del servicio de atención al cliente mediante la teoría de colas: caso de estudio de una agencia bancaria

ARTÍCULO DE REVISIÓN

La enseñanza de la programación mediante *software* educativo especializado y los agentes conversacionales

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

Aplicación del modelo Canvas para la creación de la fábrica de *software* en una universidad pública: caso de estudio UNFV-FIIS