



FONDO EDITORIAL

CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



UNIVERSIDAD
DE LIMA

SOCIEDAD DIGITAL: RETOS Y OPORTUNIDADES DE UNA NUEVA REALIDAD

ACTAS DEL IV CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas

Sociedad digital: retos y oportunidades de una nueva realidad
Actas del IV Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas

FONDO EDITORIAL

CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



UNIVERSIDAD
DE LIMA

SOCIEDAD DIGITAL: RETOS Y OPORTUNIDADES DE UNA NUEVA REALIDAD

ACTAS DEL IV CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

Sociedad digital: retos y oportunidades de una nueva realidad. Actas del IV Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas / organizado por la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Lima. Primera edición digital. Lima: Universidad de Lima, Fondo Editorial, 2021.

225 páginas: ilustraciones, diagramas, gráficos.

Texto en inglés y español.

Conferencias magistrales y ponencias del IV Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas (CIIS), denominado “Sociedad digital: retos y oportunidades de una nueva realidad”, el cual se realizó del 26 al 28 de octubre del 2021.

Incluye referencias. Pósteres: páginas 196-212.

Ingeniería de sistemas -- Congresos. 2. Aprendizaje automático (Inteligencia artificial) -- Congresos. 3. Cadena de bloques (Bases de datos) -- Congresos. 4. Seguridad informática -- Congresos. I. Universidad de Lima. Fondo Editorial. II. Actas del IV Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas (4.º : 2021: Lima, Perú).

005.1

C

4

ISBN 978-9972-45-579-7

Sociedad digital: retos y oportunidades de una nueva realidad. Actas del IV Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas

Primera edición digital: diciembre, 2021

© De esta edición:

Universidad de Lima

Fondo Editorial

Av. Javier Prado Este 4600,

Urb. Fundo Monterrico Chico, Lima 33

Apartado postal 852, Lima 100, Perú

Teléfono: 437-6767, anexo 30131

fondoeditorial@ulima.edu.pe

www.ulima.edu.pe

Diseño, edición y carátula: Fondo Editorial de la Universidad de Lima

Imagen de carátula: Metamorworks / Shutterstock.com

Prohibida la reproducción total o parcial de este libro, por cualquier medio, sin permiso expreso del Fondo Editorial.

ISBN 978-9972-45-579-7

ISSN 2810-806X (En línea)

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º 2021-13963

PROGRAM COMMITTEE / COMITÉ ACADÉMICO

- Juan Gutiérrez
- Manuela Linares
- Andrea Matuk
- Nadia Rodríguez

ORGANIZING COMMITTEE / COMITÉ ORGANIZADOR

- Andrea Matuk Chijner
- Carlos Torres Paredes
- Daniel Cárdenas Salas
- Guillermo Antonio Dávila Calle
- Hernán Nina Hanco
- Hernán Quintana Cruz
- Jazmín Malpartida Sánchez
- José Caballero Ortiz
- Juan Gutiérrez Cárdenas
- Nadia Rodríguez
- Pablo Rojas Jaén
- Rosario Guzmán Jiménez
- Víctor Hugo Ayma Quirita

Índice

PRESENTACIÓN	13
CONFERENCIAS MAGISTRALES	
Aplicaciones de <i>blockchain</i> en IoT y computación en la niebla <i>María Blanca Caminero, Carlos Núñez-Gómez, Carmen Carrión</i>	19
Applying Mathematics and Engineering Techniques to Cyber Security <i>Chuck Easttom</i>	33
Augmented Reality Educational Applications: Let's Find out What Students and Teachers Need! <i>Effie Lai-Chong Law</i>	49
PONENCIAS	
Análisis comparativo de métodos de <i>machine learning</i> para clasificar opiniones sobre el servicio de restaurantes peruanos en Facebook <i>Martín Jesús Adrianzén Torres, Edwin Jhonatan Escobedo Cárdenas</i>	67
Identificación de expertos como fuente de conocimiento en las organizaciones <i>Álvaro Antonio Aures García, Adelaida Estela Balvín Landeo</i>	83
Agilísimo sin romanticismo: el perfil de un líder <i>Marco A. Fernández del Pomar</i>	97
Security Competence as an Integral Part of Competence-Based Learning Approach: Russian and European Experience <i>Yana Goncharova, Tatyana Savchenko, Olga Sheveleva</i>	123

Modelo de reconocimiento de variables que influyen en el rendimiento de transacciones de RDBMS aplicando PCA y PCR	137
<i>José Luis Ponce Vergara</i>	
Ambulancia McQueen: optimización de rutas para ambulancias a partir de la distancia entre el accidente y el centro de salud	159
<i>Alexia Shariann Ríos Alarcón, Carlos Felipe Mariños Oré, Andrea Isabel Nepo Gamero, Juan David Amado Cárdenas Zúñiga, Víctor Andrés Ayma Quirita</i>	
The EU Trustworthy Artificial Intelligence: How the EU Wants to Regulate the Artificial Intelligence Practices	173
<i>Miguel Adolfo Rodríguez Cuadros</i>	
Algoritmos de deep learning para la detección de neumonía en infantes a través de imágenes de radiografías del tórax	183
<i>Juan Carlos Valero Gómez, Alex Peter Zúñiga Incalla, Juan Carlos Clares Perca</i>	
PÓSTERES	
Clasificación de pacientes con COVID-19 con predisposición a cuidados intensivos usando técnicas de SVM y Random Forest	196
<i>Juan Víctor Sanguinetti Valdivia</i>	
Modelo de teletratamiento para la atención primaria de pacientes con COVID-19	198
<i>Pool Jonathan Ramos Ramos</i>	
Aplicación de aprendizaje por refuerzo para el estacionamiento automático de un automóvil en un ambiente simulado	200
<i>Marcelo José Inocente Cornejo</i>	
Comparación de técnicas de procesamiento de imágenes para la detección de fisuras en pinturas al óleo	202
<i>Carla Valeria Rucoba Calderón</i>	
Herramienta colaborativa basada en blockchain para el registro fiable de la información de origen de la uva	204
<i>Gino Luis Chávez Pajuelo</i>	

Modelo predictivo basado en machine learning para la estimación de vulnerabilidades de riesgo de inundación y deslizamiento. Caso de estudio: instituciones educativas del Perú <i>John Wilson López Vega, Juan Carlos Torres Lázaro, José Herrera Quispe</i>	206
Aplicación móvil para gamificar el aprendizaje de zampoña en niños y adolescentes mediante la detección de notas musicales <i>Leonardo Patrick Luna Palomino</i>	208
Chatbot para el seguimiento de pacientes COVID-19 con sintomatología leve <i>Hugo Herrera Monje</i>	210
Monitoreo basado en visión computacional de aves en peligro de extinción de la reserva Pantanos de Villa <i>Luis Giancarlo Sánchez Huamán</i>	212
DATOS DE LOS AUTORES	215

Presentación

“A diferencia de los bienes materiales, el conocimiento es un recurso que, al ser compartido, solo crece” (Anónimo). Esta frase representa muy bien las experiencias vividas durante el IV Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas (CIIS), intitulado “Sociedad digital: retos y oportunidades de una nueva realidad”, organizado por la Universidad de Lima. El CIIS, que tuvo lugar los días 26, 27 y 28 de octubre del 2021, nos brindó un espacio dinámico y propicio para que este intercambio de conocimiento ocurra de forma casi natural, donde diversos docentes y alumnos de distintas instituciones abordaron múltiples temas relacionados con la tecnología, con un foco especial en aspectos de esta nueva sociedad digital.

La temática del congreso fue altamente relevante por varios motivos. Primero, continuamos inmersos en una etapa de cambios e incertidumbres, que —estamos seguros— terminarán configurando una nueva realidad que presenta no solo desafíos, sino también oportunidades. Segundo, consideramos que la tecnología y sus constantes disrupciones representan herramientas que, bien seleccionadas, adoptadas y adaptadas, nos ayudarán a capitalizar las oportunidades y vencer los desafíos que esta nueva realidad nos plantea. Finalmente, y no por eso menos importante, creemos que la sensibilización sobre ambos temas —nueva realidad y valor de la tecnología— es una precondition para que la comunidad en general, y especialmente nuestra comunidad académica, empiece a pensar en soluciones orientadas a crear bienestar y riqueza.

Sensibilizar fue importante, pero actuar también es necesario. El CIIS, a través de sus conferencias magistrales y ponencias, fue también una fuente de trabajos innovadores y bien contextualizados para enfrentar los desafíos existentes en nuestra sociedad. La presente memoria muestra que la comunión de la tecnología, las capacidades de investigación y un conocimiento

de las demandas del contexto permiten generar productos científicos de trascendencia para la sociedad. Por ejemplo, la doctora María Blanca Caminero, de la Universidad de Castilla-La Mancha, nos mostró el potencial de la tecnología *blockchain* para transparentar, asegurar y abaratar las transacciones que ocurren en diversas industrias en el mundo. La doctora Soon Ae Chun, de la Universidad de la Ciudad de Nueva York, nos mostró cómo las técnicas basadas en *machine* y *transfer learning* pueden apoyar en la mitigación de la desinformación, malinformación y desconfianza generada por las noticias falsas. El doctor Xavier Ferré, de la Universidad Politécnica de Madrid, nos mostró cómo las tecnologías móviles pueden contribuir a la solución de problemas de inclusión digital, en este caso, de adultos mayores¹. La doctora Effie Lai-Chong Law, de la Universidad de Durham, demostró a través de una aplicación que la realidad aumentada cuenta con un potencial enorme para innovar el proceso de aprendizaje. Otras ponencias muy relevantes comprendidas en esta memoria muestran soluciones de tecnología enfocadas en aspectos críticos para nuestra sociedad, con foco en los sectores de salud, educación, economía, derecho y en la propia tecnología.

Caminos nuevos —además de discusión, sensibilización y soluciones concretas— fueron también un legado que nos dejó este CIIS 2021. Las interacciones con los participantes —con quienes estamos totalmente agradecidos— dejaron muchas ideas e inclusive propuestas en este sentido. Quedó en evidencia la importancia de reflexionar sobre cómo llegar a ser una sociedad digital, inclusiva, con ciudades inteligentes que atraigan talentos y que ofrezcan servicios de clase mundial. Así, consideramos que la inclusión digital, la capacidad de absorción de tecnología, la gestión del conocimiento, las vocaciones territoriales y los planes de desarrollo sectoriales son pilares prioritarios. En esta línea, nos gustaría dejarles aquí algunas preguntas que quizás puedan inspirar sus próximos trabajos científicos o debates: ¿cómo conseguir el acceso pleno a internet? ¿Cómo conseguir transacciones menos costosas en términos de cada recurso empleado? ¿Cómo garantizar la constante evaluación de nuevas tecnologías y su adopción y adaptación a nuestro contexto? ¿Cómo usar el único recurso no escaso en nuestro contexto, el conocimiento, para promover innovaciones organizacionales y sociales? ¿Cómo mitigar males endémicos como la corrupción, la discriminación o las noticias falsas? ¿Cómo generar las interacciones entre los diversos actores de la sociedad digital, como camino seguro hacia el intercambio de conocimientos, y consecuentemente la innovación? ¿Cómo adquirir y disponibles las tecnologías y los especialistas que cada región necesita para desarrollar sus sectores económicos prioritarios y optimizar su bienestar? ¿Cómo tecnologías como la computación en la nube, la internet de las cosas, el aprendizaje de máquina, el *big data* o el *blockchain* pueden contribuir a la solución de estos desafíos?

1 Las exposiciones de la doctora Soon Ae Chun y del doctor Xavier Ferré solo están disponibles en el video de evento.

Fue una alegría ver que la enorme contribución de los participantes tuvo una contrapartida también a gran altura. La Universidad de Lima, en especial la Carrera de Ingeniería de Sistemas y los integrantes de los diversos comités anexos al CIIS, mostraron en la práctica y de muy buena forma algunos aspectos relacionados con el rol de la universidad. Nos referimos a la preocupación y eficiencia para fomentar la investigación, para promover espacios de reflexión entre los diversos agentes sociales, y para diseminar trabajos enriquecedores por su excelencia, sus diferentes visiones y su foco en trascender. Nuestro más sincero agradecimiento por todo ello. ¡Nos vemos el 2022!

Comité Organizador

Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas CIIS 2021

**CONFERENCIAS
MAGISTRALES**

Aplicaciones de *blockchain* en IoT y computación en la niebla

María Blanca Caminero

MariaBlanca.Caminero@uclm.es / <https://orcid.org/0000-0003-3312-7393>

Carlos Núñez-Gómez

carlos.nunez@uclm.es / <https://orcid.org/0000-0002-7899-1321>

Carmen Carrión

carmen.carrion@uclm.es

Departamento de Sistemas Informáticos, E. S. de Ingeniería Informática
Instituto de Investigación en Informática de Albacete (I3A)
Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España

Recibido: 30/7/2021 Aceptado: 1/9/2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5548>

RESUMEN. Desde su concepción en el 2008, la tecnología *blockchain* ha causado un gran interés en los últimos años. La aplicación inicial fue en el ámbito de las criptomonedas, dando soporte a Bitcoin. Este hecho ya de por sí supuso una revolución en el ámbito de la economía, pues la tecnología hacía posible prescindir de intermediarios (es decir, bancos y entidades financieras) en las transacciones económicas, ahorrando costes y evitando un control centralizado de la información registrada en la *blockchain*. Más adelante, la tecnología ha evolucionado para incluir sobre ella la posibilidad de registrar lógica de negocio (es decir, código informático) en la propia *blockchain* a través de los contratos inteligentes. Esto, junto con el desarrollo de plataformas que permiten implementar *blockchains* con acceso controlado, ha abierto la puerta a un sinfín de aplicaciones más allá de las criptomonedas. Por otro lado, el concepto de internet de las cosas (IoT, en inglés), donde objetos cotidianos se conectan a internet, generando cantidades ingentes de datos que procesar (usualmente en lo que se conoce como computación en la niebla), es un campo de investigación e innovación que también ha generado gran interés de la industria y la academia en los últimos años. Las tecnologías IoT suponen un complemento perfecto para dotar de conexión con el mundo real a la información almacenada en la *blockchain*. En este trabajo realizaremos una breve introducción a *blockchain* y al internet de las cosas y revisaremos algunas aplicaciones que combinan ambas temáticas. Finalizaremos con una pequeña introducción a la línea de investigación sobre blockchain en entornos IoT

que llevamos a cabo en el Instituto de Investigación en Informática de Albacete (I3A) de la Universidad de Castilla-La Mancha.

PALABRAS CLAVE: *blockchain* / internet de las cosas / contratos inteligentes
/ computación en la niebla

BLOCKCHAIN APPLICATIONS IN IOT AND COMPUTING IN THE FOG

ABSTRACT. Since its inception in 2008, blockchain technology has attracted great interest in various fields in recent years. The initial application was in the field of cryptocurrencies, supporting Bitcoin. This fact in itself was a revolution in economics since technology made it possible to dispense with intermediaries (that is, banks and financial entities) in economic transactions, saving costs and avoiding a centralized control of the information registered in the blockchain. Later, the technology has evolved to include the possibility of registering business logic (that is, computer code) in the blockchain through smart contracts. This, together with the development of platforms that allow the implementation of blockchains with controlled access, has opened the door to a myriad of applications beyond cryptocurrencies.

On the other hand, the concept of the Internet of Things (IoT), where everyday objects are connected to the Internet, generating huge amounts of data to process (usually in what is known as computing in the fog), is a field of research and innovation that has also generated great interest from industry and academia in recent years. IoT technologies are a perfect complement to connect the real world to the information stored on the blockchain. This work will briefly introduce blockchain and the Internet of Things and review some applications that combine both themes. We will end with a short introduction to the line of research on blockchain in IoT environments that we carry out at the Albacete Computer Research Institute (I3A) of the University of Castilla-La Mancha.

KEYWORDS: blockchain / Internet of Things / smart contracts / fog computing

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la tecnología *blockchain* está siendo el foco de atención en diversos y variados ámbitos. *Blockchain* se introdujo en el marco de la criptomoneda Bitcoin en el 2008 (Nakamoto, 2008). Su potencial para llevar a cabo transacciones totalmente descentralizadas, sin intermediarios y sin posibilidad de modificarlas indebidamente, debido a sus propiedades criptográficas, ha supuesto un revulsivo en el campo de la economía. En el 2015, la introducción de la plataforma de *blockchain* Ethereum (Buterin, 2013) incluía el concepto de contratos inteligentes o *smart contracts*. Estos permiten implementar lógica de negocio sobre la infraestructura *blockchain*, emulando así un computador totalmente distribuido. Esta lógica de negocio hereda las características de no inmutabilidad que ofrece *blockchain*, por lo que abre nuevos campos de aplicación en muy diversos ámbitos (trazabilidad alimentaria, identidad digital, etcétera).

Por otro lado, otro concepto que ha experimentado un gran auge es el de internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés). Según la web Statista, en el 2030 se estima que habrá 50 000 millones de dispositivos conectados a internet a nivel mundial. Hoy en día existen multitud de objetos cotidianos conectados a internet (*wearables*, asistentes inteligentes, lavadoras, cafeteras, aspiradores...). Además, dispositivos empleados en diferentes industrias también pueden conectarse a internet (diferentes tipos de sensores y actuadores en agricultura y ganadería, en logística y transporte, en procesos industriales, en vehículos autónomos). Todo esto abre la posibilidad de tratar de manera inteligente la enorme cantidad de datos generados para obtener un valor de estos (Balaji *et al.*, 2019). Este procesamiento suele hacerse llevándolos a recursos ubicados en la nube, debido a su potencialmente infinita disponibilidad de recursos de cómputo y de almacenamiento. Sin embargo, existen aplicaciones donde este enfoque basado en la nube no es viable, debido a diversos factores, como el ancho de banda consumido al llevar datos a la nube, las latencias incurridas en el proceso o la posibilidad de desconexión de internet en entornos móviles. Es por ello que surge el paradigma de computación en la niebla, donde se proveen de recursos más cercanos a las fuentes de datos con el fin de realizar el procesamiento de estos con menores latencias y consumos de ancho de banda. La computación en la niebla hace uso de diversos dispositivos cercanos al borde de la red, como pasarelas IoT, encaminadores inteligentes, ordenadores monoplaca de bajo coste (por ejemplo, Raspberry Pis), ordenadores personales e incluso microcentros de datos para procesar los datos IoT. En este trabajo se pretende dar una visión acerca de cómo se puede integrar *blockchain* en el contexto de las aplicaciones IoT. La naturaleza eminentemente distribuida de la tecnología de computación en la niebla que da soporte a las aplicaciones IoT abre una serie de desafíos en cuanto a seguridad, disponibilidad y tolerancia a fallos que *blockchain* puede ayudar a mitigar.

Este trabajo se organiza como se detalla a continuación. En la sección 1 se introduce el tema objeto del trabajo y se motiva brevemente. En la sección 2 se describirán los conceptos básicos detrás de las tecnologías de *blockchain*, internet de las cosas y computación en la niebla.

La sección 3 detallará algunos ejemplos de casos de uso donde se combinen estas tecnologías. La sección 4 resumirá la investigación sobre la temática de *blockchain* en entornos IoT y computación en la niebla, desarrollada en el I3A de la UCLM. La sección 5 concluye el trabajo.

2. CONCEPTOS BÁSICOS

La tecnología *blockchain* (Nakamoto, 2008) es capaz de almacenar datos de forma distribuida garantizando su integridad y disponibilidad, a través de redes *peer-to-peer* (P2P) subyacentes que se utilizan para conectar los nodos participantes sin necesidad de terceros. Una cadena de bloques consiste en una estructura de datos que encapsula los datos dentro de las transacciones¹. Estas transacciones se envían a toda la red P2P en un proceso de difusión y se agrupan en bloques. Estos bloques se encadenan mediante una función *hash* criptográfica y se ordenan en el tiempo, formando una gran base de datos o libro de contabilidad distribuido (*distributed ledger*, en inglés).

Hay diferentes tipos de cadenas de bloques, como las cadenas de bloques sin permiso (*permissionless*) y con permiso (*permissioned*). Las cadenas de bloques sin permiso permiten la participación de cualquier entidad del mundo, lo que descentraliza el control y el mantenimiento de la cadena de bloques. Además, la información almacenada es pública y puede ser consultada por cualquier entidad, lo que aumenta la transparencia. La *blockchain* de Bitcoin pertenece a esta clase. Por otro lado, las *blockchains* con permiso se centran en casos de uso local y privado en los que se requiere un mayor rendimiento, control y privacidad. Solo las entidades autorizadas pueden participar en una *blockchain* con permiso. Esto significa que el control de la *blockchain* está menos distribuido, pero mejora la escalabilidad y la velocidad de la red (Ali *et al.*, 2019). Como la *blockchain* difunde las transacciones entre todos los participantes, se requiere un algoritmo de consenso para descentralizar el control de esta, asegurando la aplicación de ciertas reglas a todos los nodos participantes. Ejemplos de algoritmos de consenso son *proof-of-work* (PoW) y *proof-of-authority* (PoA), utilizados en *blockchains* sin y con permiso, respectivamente. En PoW, los nodos de la cadena de bloques compiten para generar nuevos bloques y añadirlos a la cadena. La competición se basa en el cálculo de costosas operaciones de *puzzle* criptográfico (generación y búsqueda de *hashes*). Este proceso se conoce como minería y las entidades que lo ejecutan se llaman mineros. Por otro lado, en PoA, un conjunto de nodos de confianza actúa por turnos en un esquema de rotación como validadores de bloques y transacciones, distribuyendo la responsabilidad de la creación de bloques entre todos los nodos de confianza. Se puede encontrar más información sobre estos y otros algoritmos de consenso populares en De Angelis *et al.* (2018) y Ferdous *et al.*, (2020).

1 Una transacción se define como un evento atómico, indivisible. Por ejemplo, reducir en 10 euros la cuenta de A y aumentar en 10 euros la cuenta de B sería una transacción (A paga 10 euros a B).

Ethereum (Buterin, 2013) es una de las plataformas *blockchain* más populares. Las transacciones de la *blockchain* se procesan a través de la máquina virtual de Ethereum (EVM), que es capaz de ejecutar *scripts* personalizados llamados contratos inteligentes. Los contratos inteligentes (Szabo, 1996) se desarrollan con lenguajes de alto nivel, como Solidity (<https://solidity-es.readthedocs.io/es/latest/>) y se almacenan dentro de las transacciones. Por lo tanto, es imposible modificar un contrato inteligente una vez desplegado. Una de las implementaciones más importantes de la plataforma Ethereum es Geth. Está escrito en el lenguaje de programación Go (<https://golang.org/>) y está disponible para la gran mayoría de arquitecturas y sistemas operativos (incluidos Android e iOS). Geth permite participar en *blockchains* sin permisos como la red principal de Ethereum, pero también permite crear *blockchains* con permisos. Actualmente, Geth implementa dos algoritmos de consenso seleccionables para *blockchains* con permiso: un algoritmo PoW llamado Ethash (utilizado por la red principal de Ethereum) y un algoritmo PoA llamado Clique.

Por otro lado, el concepto de internet de las cosas (IoT) (Borgia, 2014) ha surgido recientemente como un paradigma informático que combina diferentes tecnologías, como la computación ubicua, los protocolos específicos de internet, las redes de sensores inalámbricos, las tecnologías de comunicación y los sistemas embebidos, por nombrar algunos. IoT está causando un gran impacto en la sociedad debido a sus innumerables aplicaciones en la industria, la salud, la agricultura, etcétera. Las aplicaciones de IoT suelen aprovechar los recursos de computación en la nube (*cloud computing*) para extraer valor de la enorme cantidad de datos recogidos por las "cosas". Sin embargo, este enfoque no es viable para algunas aplicaciones debido a las latencias desde/hacia la nube o al ancho de banda que se desperdicia al transferir todos los datos a la nube para su procesamiento. Así, el concepto de computación en la niebla (*fog computing*) (Dastjerdi *et al.*, 2016; Yousefpour *et al.*, 2019) surge como un medio para acercar los recursos de almacenamiento y computación al lugar donde se generan los datos.

Por tanto, la idea principal de la computación en la niebla es apoyar la computación en la proximidad de la fuente de los datos. La estructura distribuida de la computación en la niebla soporta la heterogeneidad, proporciona una baja latencia y mejora la calidad del servicio (QoS) de las aplicaciones en tiempo real y sensibles a la latencia. Sin embargo, la necesidad de una gestión eficiente de los recursos, las técnicas de descarga y los problemas de seguridad siguen siendo retos pendientes.

3. **BLOCKCHAIN EN ENTORNOS DE COMPUTACIÓN EN LA NIEBLA PARA IoT**

La estructura distribuida inherente a las tecnologías de computación en la niebla para IoT y *blockchain* ha motivado la propuesta de entornos que integran *blockchain* en dichas arquitecturas para proporcionar propiedades mejoradas al IoT (Baniata y Kertesz, 2020; Yang *et al.*,

2019). La mayoría de estas soluciones utilizan *blockchain* para la gestión de datos y la autenticación con el fin de resolver los problemas de seguridad y privacidad y proporcionar una alta fiabilidad (Singh *et al.*, 2020). Los contratos inteligentes también pueden desplegarse entre los clientes y los proveedores de servicios para validar el cumplimiento de los acuerdos de nivel de servicio (SLA) para el uso de recursos bajo demanda (Kochovski *et al.*, 2020). A continuación, se revisarán algunas propuestas interesantes.

En Wang *et al.* (2019) se propone un modelo de contribución de recursos de computación de niebla basado en *blockchain*. El modelo aplica un mecanismo de incentivos de recompensa y castigo para animar a los nodos de niebla a contribuir activamente con sus recursos. El modelo propuesto considera un grado de satisfacción (grado de finalización de la tarea) como índice de evaluación del servicio prestado por los proveedores de computación en la niebla. En Pan *et al.* (2019) se desarrolla EdgeChain, un entorno que integra una *blockchain* con permisos y un sistema de gestión de recursos basado en créditos. Los contratos inteligentes se utilizan para regular el comportamiento de los dispositivos IoT y hacer cumplir las normas y políticas de gestión predefinidas. Además, todas las actividades del IoT se registran en la cadena de bloques para el registro y la auditoría seguros de los datos. DualFog-IoT (Memon *et al.*, 2019) es una propuesta para integrar el soporte de las aplicaciones IoT que utilizan *blockchain*. Los autores identifican tres tipos de aplicaciones: en tiempo real (RT), en tiempo no real (NRT) y aplicaciones de *blockchain* tolerantes al retraso (DTB). Su propuesta incluye una infraestructura de niebla separada para procesar las solicitudes DTB, de modo que los procesos de minería no interfieran con el rendimiento de las solicitudes RT y NRT, que se procesan en una infraestructura de niebla convencional. En BlockEdge (Kumar *et al.*, 2020) los autores proponen utilizar *blockchain* como medio para auditar los diferentes procesos involucrados en una aplicación industrial de IoT. Evalúan su propuesta sobre el caso de uso del proceso de construcción de una casa inteligente, donde intervienen diferentes agentes (contratistas, fabricantes) y sobre diferentes procesos industriales (recolección de madera, fabricación de troncos y ladrillos, transporte).

4. HIDRA: ORQUESTANDO CONTENEDORES EN LA NIEBLA MEDIANTE *BLOCKCHAIN*

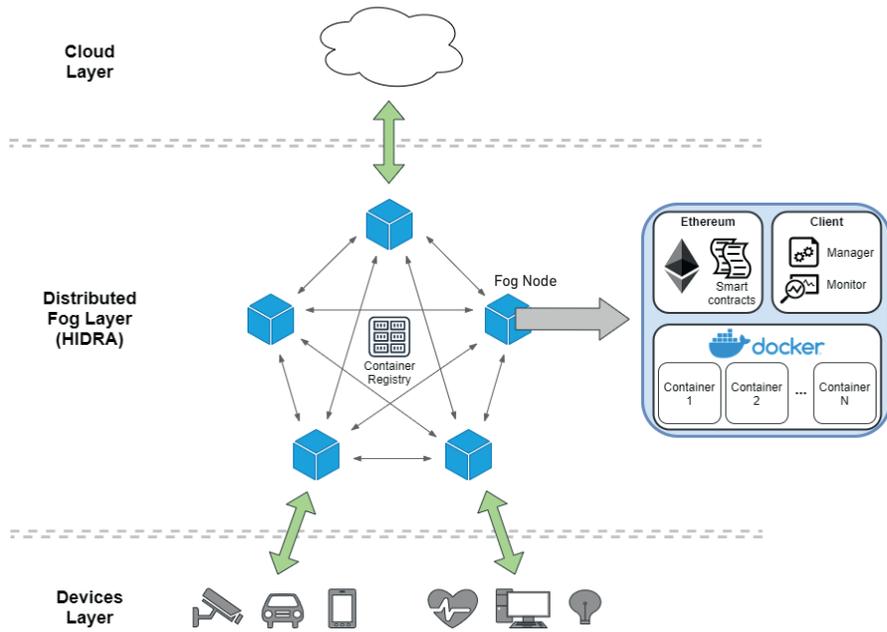
La gestión de recursos de la niebla realiza operaciones administrativas como el despliegue, la virtualización, la supervisión de los nodos que la componen, el equilibrio de la carga, el autoescalado y el aprovisionamiento dinámico de recursos para garantizar la fiabilidad y la disponibilidad del servicio (Hong y Varghese, 2019). En función de cómo se controlan los recursos, las arquitecturas para la gestión de recursos en los sistemas de niebla pueden ser centralizadas o distribuidas. El control centralizado se refiere al uso de un único controlador que toma las decisiones sobre el uso de los recursos del borde. Por el contrario, en una arquitectura distribuida el proceso de toma de decisiones se distribuye entre los nodos de la niebla.

Como se ha comentado anteriormente, los contratos inteligentes sobre *blockchain* pueden verse como un ordenador distribuido que se programa para alcanzar diferentes objetivos dependiendo de la aplicación. Los contratos inteligentes se ejecutan de forma independiente por cada nodo que participa en la cadena de bloques. Este hecho puede ser explotado para implementar un verdadero orquestador distribuido para los nodos de la niebla en entornos IoT, que también proporciona resistencia en caso de fallo o desconexión de los nodos. Esta es la lógica tras HIDRA (Núñez-Gómez *et al.*, 2021), un orquestador de recursos para entornos de computación en la niebla basado en *blockchain*, que se está desarrollando en el grupo de Redes y Arquitecturas de Altas Prestaciones (RAAP) del Instituto de Investigación en Informática de Albacete.

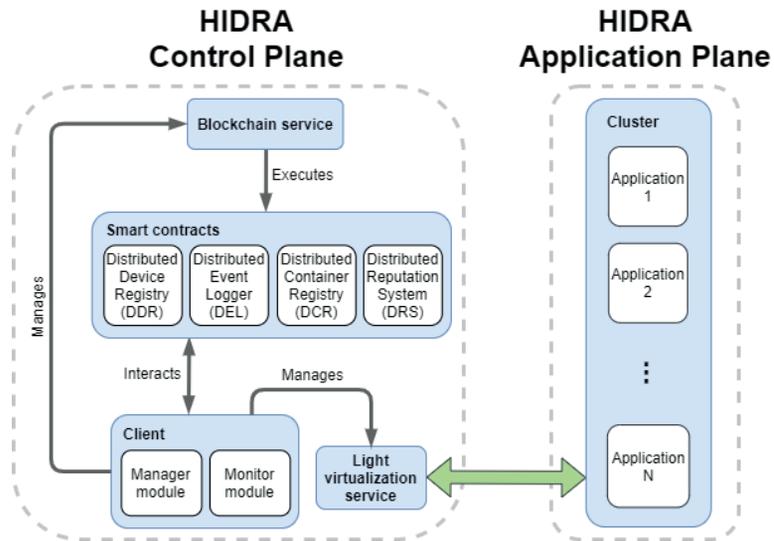
El objetivo de HIDRA (*heterogeneous, interoperable and distributed architecture*) es la orquestación de aplicaciones que se ejecutan en un entorno de computación de niebla, empleando para ello la tecnología *blockchain* y los contratos inteligentes. Las principales características de HIDRA son las siguientes:

- El entorno de niebla considerado es local y privado, es decir, se extiende en un edificio o área similar bajo una única entidad administrativa.
- La arquitectura gestiona de forma autónoma los recursos de los nodos de niebla (CPU, memoria, disco y E/S) y orquesta las aplicaciones en contenedores.
- Todos los nodos de niebla desempeñan la misma función de gestión, especificada por un conjunto de contratos inteligentes, y comparten un estado común del sistema almacenado en la cadena de bloques. Esto significa que no hay un controlador centralizado o un nodo maestro con privilegios especiales.
- El sistema supervisa los valores atípicos en la utilización de los recursos y actualiza la asignación de recursos de acuerdo a reglas preconfiguradas.
- La gestión de recursos incluye la puesta a punto de mecanismos de reputación para identificar los nodos que se comportan mal.

La figura 1(a) muestra una visión general del sistema, incluyendo los componentes que forman parte de la implementación de HIDRA. Más concretamente, HIDRA emplea Docker como gestor de contenedores, la implementación Geth de la *blockchain* de Ethereum y un cliente desarrollado en Go que incluye funciones de monitorización del estado del nodo, así como de gestión y coordinación del resto de componentes (por ejemplo, ejecución de los contratos inteligentes). En la figura 1(b) se muestra la organización interna de HIDRA, con la separación de sus planos de control (donde se encuentran los contratos inteligentes que otorgan a HIDRA su funcionalidad) y de aplicación (que incluye los contenedores donde se ejecutan las aplicaciones IoT).



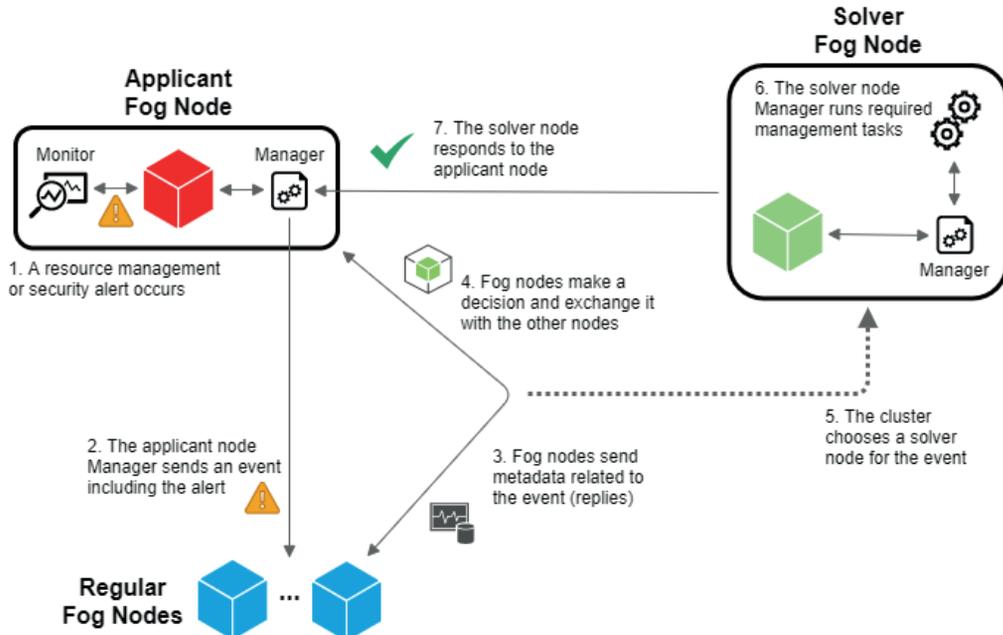
(a) Visión general del sistema



(b) Planos de control y aplicación de HIDRA

Figura 1. Detalles de HIDRA
Fuente: Núñez-Gómez *et al.* (2021)

HIDRA se basa en una *blockchain* privada con permisos donde se implementa el protocolo de consenso PoA. Esto quiere decir que el proceso de validación de transacciones es mucho más ligero que el minado PoW y, por tanto, consume mucha menos energía. Además, se incluye un mecanismo sencillo de reputación en los nodos para poder decidir en todo momento qué nodo(s) se encargan de las tareas de sellado de bloques. El funcionamiento básico de HIDRA se basa en que la *blockchain* almacena el estado global del sistema (estado de cada nodo, contenedores y aplicaciones en ejecución, etcétera). Cada nodo monitoriza su estado continuamente. Cuando detecta una condición anómala (por ejemplo, una sobrecarga de CPU) se generan eventos que provocan la ejecución de los contratos inteligentes. Estos implementan la lógica necesaria para modificar el estado del sistema, de manera que esa condición anómala sea resuelta (por ejemplo, migrando un contenedor desde el nodo sobrecargado a otro nodo con más capacidad disponible). La figura 2(a) esquematiza este proceso.



(a) Flujo de datos de HIDRA



(b) Despliegue de HIDRA en el I3A

Figura 2. Flujo de datos y despliegue de HIDRA

Fuente: Núñez-Gómez *et al.* (2021)

HIDRA se ha implementado sobre placas Raspberry Pi, para emular los nodos de la arquitectura de computación en la niebla a través de dispositivos de bajo coste (ver figura 2[b]). Las pruebas iniciales muestran un bajo consumo de recursos de cálculo y de almacenamiento, incluso en el caso más extremo donde los nodos han de ponerse de acuerdo en la migración de un contenedor a través del intercambio de eventos y transacciones sobre la *blockchain*. Esto demuestra la viabilidad de la propuesta incluso sobre este tipo de dispositivos de coste y prestaciones reducidas.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se han introducido brevemente algunas tecnologías candentes al día de hoy, como son *blockchain*, internet de las cosas y la computación en la niebla. Su naturaleza intrínsecamente distribuida abre un abanico de posibilidades donde estas tecnologías formen parte de ecosistemas complejos, en los que se exploten las funcionalidades que ofrece cada una de manera óptima. Más concretamente, en un contexto de IoT, donde suele generarse una cantidad inmensa de datos a los que sacar partido a través de su procesamiento, se hace necesario acercar los recursos de cálculo y almacenamiento a los objetos. De ahí, surge el paradigma de computación en la niebla. Por otro lado, la tecnología *blockchain* da soporte a la coordinación de recursos de manera completamente distribuida, entre otras aplicaciones útiles en entornos de computación en la niebla, a través de la ejecución de contratos inteligentes. En particular, se ha presentado el entorno HIDRA, que

supone una propuesta de orquestación de aplicaciones verdaderamente descentralizada y autónoma de los nodos que componen la niebla.

REFERENCIAS

- Ali, M. S., Vecchio, M., Pincheira, M., Dolui, K., Antonelli, F., y Rehmani, M. H. (2019). Applications of Blockchains in the Internet of Things: A Comprehensive Survey. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 21(2), 1676-1717. <https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2886932>
- Balaji, S., Nathani, K., y Santhakumar, R. (2019). IoT Technology, Applications and Challenges: A Contemporary Survey. *Wireless Personal Communications*, 108(1), 363-388. <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06407-w>
- Baniata, H., y Kertesz, A. (2020). A Survey on Blockchain-Fog Integration Approaches. *IEEE Access*, 8, 102657-102668. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2999213>
- Borgia, E. (2014). The Internet of Things Vision: Key Features, Applications and Open Issues. *Computer Communications*, 54, 1-31. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>
- Buterin, V. (2013). *A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform*. Cryptorating. https://cryptorating.eu/whitepapers/Ethereum/Ethereum_white_paper.pdf
- Dastjerdi, A. V., Gupta, H., Calheiros, R. N., Ghosh, S. K., y Buyya, R. (2016). Fog Computing: Principles, Architectures, and Applications. En R. Buyya y A. Vahid Dastjerdi (Eds.), *Internet of Things* (pp. 61-75). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805395-9.00004-6>
- De Angelis, S., Aniello, L., Baldoni, R., Lombardi, F., Margheri, A., y Sassone, V. (2018). *PBFT vs Proof-of-Authority: Applying the CAP Theorem to Permissioned Plockchain*. *Italian Conference on Cyber Security (06/02/18)*. University of Southampton Institutional Repository. <https://eprints.soton.ac.uk/415083/>
- Ferdous, M. S., Chowdhury, M. J. M., Hoque, M. A., y Colman, A. (2020). *Blockchain Consensus Algorithms: A Survey*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2001.07091>
- Go Ethereum. (s. f.). *What is Ethereum?* <https://geth.ethereum.org/>
- Hong, C., y Varghese, B. (2019). Resource Management in Fog/Edge Computing: A Survey on Architectures, Infrastructure, and Algorithms. *ACM Comput. Surveys*, 52(5). <https://doi.org/10.1145/3326066>

- Kochovski, P., Stankovski, V., Gec, S., Faticanti, F., Savi, M., Siracusa, D., y Kum, S. (2020). Smart Contracts for Service-Level Agreements in Edge-to-Cloud Computing. *Journal of Grid Computing*, 18(4), 673-690. <https://doi.org/10.1007/s10723-020-09534-y>
- Kumar, T., Harjula, E., Ejaz, M., Manzoor, A., Porambage, P., Ahmad, I., Liyanage, M., Braeken, A., y Ylianttila, M. (2020). BlockEdge: Blockchain-Edge Framework for Industrial IoT Networks. *IEEE Access*, 8, 154166-154185. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3017891>
- Memon, R. A., Li, J. P., Nazeer, M. I., Khan, A. N., y Ahmed, J. (2019). DualFog-IoT: Additional Fog Layer for Solving Blockchain Integration Problem in Internet of Things. *IEEE Access*, 7, 169073-169093. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2952472>
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. Bitcoin. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Núñez-Gómez, C., Caminero, B., y Carrión, C. (2021). HIDRA: A Distributed Blockchain-Based Architecture for Fog/Edge Computing Environments. *IEEE Access*, 9, 75231-75251. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3082197>
- Pan, J., Wang, J., Hester, A., Alqerm, I., Liu, Y., y Zhao, Y. (2019). EdgeChain: An Edge-IoT Framework and Prototype Based on Blockchain and Smart Contracts. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(3), 4719-4732. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2878154>
- Singh, P., Nayyar, A., Kaur, A., y Ghosh, U. (2020). Blockchain and Fog Based Architecture for Internet of Everything in Smart Cities. *Future Internet*, 12(4), 61. <https://doi.org/10.3390/fi12040061>
- Statista (s. f.). *Dispositivos conectados (internet de las cosas) a nivel mundial de 2019 a 2030 (en miles de millones de unidades)*. <https://es.statista.com/estadisticas/517654/prevision-de-la-evolucion-de-los-dispositivos-conectados-para-el-internet-de-las-cosas-en-el-mundo/>
- Szabo, N. (1996). Smart Contracts: Building Blocks for Digital Markets. *EXTROPY: The Journal of Transhumanist Thought*, (16). https://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart_contracts_2.html
- Tuli, S., Mahmud, R., Tuli, S., y Buyya, R. (2019). FogBus: A Blockchain-based Lightweight Framework for Edge and Fog Computing. *Journal of Systems and Software*, 154, 22-36. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.04.050>
- Wang, H., Wang, L., Zhou, Z., Tao, X., Pau, G., y Arena, F. (2019). Blockchain-Based Resource Allocation Model in Fog Computing. *Applied Sciences*, 9(24), 5538. <https://doi.org/10.3390/app9245538>

- Yang, R., Yu, F. R., Si, P., Yang, Z., y Zhang, Y. (2019). Integrated Blockchain and Edge Computing Systems: A Survey, Some Research Issues and Challenges. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 21(2), 1508-1532. <https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2894727>
- Yousefpour, A., Fung, C., Nguyen, T., Kadiyala, K., Jalali, F., Niakanlahiji, A., Kong, J., y Jue, J. P. (2019). All one needs to know about fog computing and related edge computing paradigms: A complete survey. *Journal of Systems Architecture*, 98, 289-330. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2019.02.009>

Applying Mathematics and Engineering Techniques to Cyber Security

Chuck Easttom

chuck@chuckeasttom.com / <https://orcid.org/0000-0002-6744-6731>

Georgetown University

Plano, TX, Estados Unidos de América

Recibido: 19/8/2021 Aceptado: 26/9/2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5575>

ABSTRACT. While there are many approaches to cybersecurity, it is common for those approaches to be somewhat ad hoc or subjective. Cybersecurity needs a rigorous mathematical and engineering approach, which can be applied to address security issues, evaluate security controls, and investigating security breaches. The current paper maps the use of engineering and mathematical tools for cybersecurity purposes.

KEYWORDS: cybersecurity engineering / cyberthreat analysis / cyberthreat modelling / mathematical modelling

APLICACIÓN DE TÉCNICAS MATEMÁTICAS E INGENIERÍA A LA CIBERSEGURIDAD

RESUMEN. Si bien existen muchos enfoques de la ciberseguridad, es común que esos enfoques sean al menos algo *ad hoc* o subjetivos. La ciberseguridad necesita un riguroso enfoque matemático y de ingeniería. Esto se puede aplicar para abordar problemas de seguridad, evaluar controles de seguridad e investigar brechas de seguridad. El documento actual mapea el uso de herramientas de ingeniería y matemáticas con fines de ciberseguridad.

PALABRAS CLAVE: ingeniería en ciberseguridad / análisis de ciberamenazas / modelado de ciberamenazas / modelado matemático

1. INTRODUCTION

Cyber-attacks are a reality of modern life. There has been a wide assortment of techniques proposed to catalog and analyze various attacks. What is conspicuously absent from the literature is the application of engineering practices and mathematical tools to analyze cyber-attacks. The current approach presented in this paper is to apply various engineering techniques to cybersecurity processes. Cybersecurity analysis would be enhanced and improved by integrating these methods into cybersecurity analysis. This paper proposes a general methodology for doing that, along with a specific case study.

This is concurrent with a more general problem of lack of engineering rigor in cybersecurity. While the term engineering is widely used in cybersecurity, there is a noticeable lack of actual engineering techniques in practice, and even in academic programs (Easttom, 2019).

2. REVIEW OF LITERATURE

In order to fully appreciate the currently proposed methodology, it is required that one first examine two different subtopics in this review of the literature. The first is an examination of existing cybersecurity modeling techniques. This provides an understanding of the current state of cybersecurity. The second domain reviews engineering techniques for failure analysis and mathematical tools that will later be applied to cybersecurity. As many cybersecurity professionals will not be familiar with the engineering and mathematical techniques described in this paper, it is necessary to provide a general overview of these methods to describe integrating said techniques into cybersecurity.

Most efforts to quantify data in cybersecurity relate to quantifying the economic impact of breaches (Dongre *et al.*, 2019; Gandal *et al.*, 2020). Studies also quantify risk (van den Hooven, 2020) and ancillary topics such as the trade-off between security and privacy (Suo *et al.*, 2021). Despite these narrowly focused efforts cybersecurity is generally approached without the benefit of quantifiable techniques and engineering rigor.

There have been attempts to apply mathematics to cybersecurity issues. As one example, Ahmadian *et al.* (2019) applied non-Bayesian methods to evaluating cyber-attacks on power systems. Their study, while applicable, was very narrowly focused on specific attacks executed against specific targets. Their study did not provide a generalized method for analyzing cyber-attacks, nor was it intended to. Furthermore, their modeling method focused on a very narrow use of mathematics. Among the techniques they did not explore were predator-prey dynamics. Their method did, however, illustrate the need for mathematical modeling in cyber-attack analysis.

The current method that provides the most quantifiable data regarding cyber vulnerabilities is the CVSS. The typical vulnerability scoring system (CVSS) is commonly utilized to

categorize vulnerabilities. CVSS is an open industry standard that allows for scoring vulnerabilities based on severity (Allodi & Massacci, 2014). When using CVSS, there are three groups of metrics: base, temporal, and environmental. The base group describes the basic characteristics of the vulnerability that are not determined by time (temporal) or environment. The metrics in this group are Attack Vector, Attack Complexity, Privileges Required, User Interaction, Scope, Confidentiality Impact, Integrity Impact, and Availability Impact (Feutrill *et al.*, 2018).

The Attack Vector Metric can be in the following categories: Network (N), Adjacent (A), Local (L), Physical (P). Attack Complexity can be: None (N), Low (L), and High (H). User Interaction can be: None (N) or Required (R). The Scope metric captures whether a vulnerability in one vulnerable component impacts resources in components beyond its security scope. Its values can be: Unchanged (U) or Changed (C). The Impact Metrics (Confidentiality, Availability, or Integrity) are all rated: High (H), Low (L), or None (N) (Holm & Afridi, 2015). This method is effective, but it is incomplete.

Ultimately CVSS will produce a cumulative score, a number. The first issue with CVSS is that the scoring is still based on subjective assessments. It is up to the analyst to assign a numerical value for items like confidentiality. This introduces a substantially subjective aspect to this quantitative methodology. There have been efforts to revise CVSS (Singh & Joshi, 2016) to integrate Bayesian statistics with CVSS (Frigault *et al.*, 2017). However, these attempts still leave the basic CVSS process as being at least partially arbitrary.

CVSS is also narrowly applied to quantifying vulnerabilities. It does not provide a mechanism for quantifying cybersecurity failures. Nor does it provide a means to analyze attacks objectively. CVSS is a valuable tool, but it has a narrow application, which shows the need for a more broad-based, engineering approach to cybersecurity.

Another approach to modeling network attacks is STRIDE: Spoofing, Tampering, Repudiation, Information Disclosure, Denial of Service, and Elevation of Privilege (Khan *et al.*, 2017). Microsoft developed STRIDE for describing security threats in six separate categories. The threats are the letters in the acronym. The concept of using this tool is to ensure that all of the enumerated threats are modeled.

STRIDE was designed as a means of analyzing potential threats to the network. However, it can be used to categorize a network incident (Sanfilippo *et al.*, 2018). Much like CVSS, STRIDE provides ancillary benefits to network forensics. It can aid in describing the initial breach, but that is the limit of STRIDE's efficacy in facilitating network forensic analysis.

A model used to describe the impact of threats is the DREAD (Damage Potential, Reproducibility, Exploitability, Affected Users, Discoverability) model. DREAD is a mnemonic for risk rating using five categories (Naagas & Palaoag, 2018). This modeling technique assesses the likelihood of an attack and the damage it would cause. DREAD is an

effective model for considering where to allocate resources for network defense. DREAD can apply to a network forensics investigation to aid in evaluating the damage of a given incident (Yaqoob *et al.*, 2019). Much like STRIDE and CVSS, DREAD provides a narrowly focused ancillary tool for network forensics.

There have also been studies analyzing cybersecurity as an ecology. Dupont (2019) viewed cybercrime from the perspective of the ecological system, both technology and human, within which the cybercrime occurred. Mazurczyk *et al.* (2016) defined several related terms such as attacker-defender ecology (ADE), cybersecurity ecology (CSE), and defenders' ecology (DE). Their work did provide a broad view of cyber-attacks and even incorporated Lotka-Volterra equations, something the current study also does.

While each of the threat analysis techniques examined in this section does provide valuable tools for cybersecurity, they all have a substantial gap. There are numerous engineering and mathematical tools that can and should be brought to bear on cybersecurity problems. There are numerous engineering and mathematical tools that can and should be brought to bear on cybersecurity problems.

3. CURRENT METHODOLOGY

3.1 Engineering Failure Analysis

One possibility for improving the quantitative analysis in cybersecurity is to utilize existing metrics from other engineering disciplines. There are specific metrics utilized in engineering for failure analysis and reliability engineering. This failure analysis is typical in mechanical, aerospace, and electrical engineering. For cybersecurity to indeed be an engineering discipline, it should also incorporate such failure analysis. Any breach should be considered a failure of the security controls. Whether those are technical controls or procedural/policy controls, it is still a failure of controls. If a virus outbreak in a network, there was a failure of one or more anti-virus controls. By quantifying the level of failure, one can quantify the efficacy of controls and track improvement in such controls. A nascent treatment of failure analysis for cyber security was outlined in a previous paper (Easttom, 2020) and is expanded upon here.

One of the first issues in failure mode analysis is to determine the severity of the incident. US Army MIL-STD-882 provides some guidance in classifying the severity of incidents (Fernald, 2020). There are four categories of severity that are listed and described in Table 1.

Table 1
MIL-STD-882 Severity Categories

Category	Description	Criteria
I	Catastrophic	Possible death, permanent total disability, financial loss exceeding \$1M, or irreversible severe environmental damage.
II	Critical	Possible permanent partial disability, injuries, or occupational illness that may result in hospitalization of at least three personnel, financial loss between \$200K and \$1M, or reversible environmental damage.
III	Marginal	Possible injury or occupational illness resulting in one or more lost workday(s), financial loss between \$10K and \$200K, or mitigatable environmental damage.
IV	Negligible	Possible injury or illness not resulting in a lost workday, financial loss between \$2K and \$10K, or minimal environmental.

Own elaboration

These may not apply to all cyber incidents; however, they provide a guideline for quantifying the severity of an incident. One aspect of bringing engineering rigor to the field of cybersecurity is quantifiable data. Incidents must be ranked in a quantifiable manner.

A standard method of identifying reliability in systems engineering is the Mean Squared Deviation. The Mean Squared Deviation formula is relatively simple and provides insight into how any system deviates from expectations (Engel, 2010). It essentially takes the square of the errors, or deviations from the expected/desired outcomes. This is sometimes referred to as the mean squared error (Engel, 2010; Wasson, 2015). The MSD formula is shown in equation 1.

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=2}^n (y_i - T)^2 \quad (1)$$

In equation 1

y_i is the actual value

T is the target value

The MSD provides a positive integer value that demonstrates how far the system has deviated from its expected performance. This is commonly used in many engineering disciplines (Modarres *et al.*, 2016). The MSD can readily be applied to any cybersecurity control. The smaller the MSD, the closer the systems function is to its intended purpose. This is

commonly used in many engineering disciplines. This provides the cybersecurity team with quantifiable objectives: reducing the MSD for cybersecurity controls.

Related to the MPD is the Mean Percentage Error (MPE) formula. The MPE is the arithmetic mean of modeling, testing, or actual usage (Beynon-Davies, 2016). This metric compares expected values to actual values and calculates mean error. An error is defined as any deviation from the planned or expected value. This is critical in modeling as it can be used to evaluate the efficacy of the model itself. The MPE formula is shown in equation 2.

$$MPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \frac{a_t - f_t}{a_t} \quad (2)$$

Where:

n = is the number of different times for which the variable is forecast.

a_t is the actual value of the quantity being forecast

f_t is the forecast.

Essentially this metric describes the difference between expected values and the actual value. This is an excellent metric for evaluating the efficacy of any security control. It can be applied to IDS/IPS, anti-virus, and even computer security policies.

Other failure metrics can be utilized to test the efficacy of any cyber defense technology. Statistical tools can be handy in this regard. On such test is the Kruskal-Wallis test. The Kruskal-Wallis test is a non-parametric test that compares two or more independent samples. The Kruskal-Wallis test is essentially a non-parametric version of the ANOVA test. Unlike the ANOVA, the Kruskal-Wallis test does not assume a normal distribution of the data set. This test is often used to test the correlation between two or more data sets that may not even have the same number of elements. The formula is shown in equation 3.

$$H = (N - 1) \frac{\sum_{i=1}^g n_i (\bar{r}_i - \bar{r})^2}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (r_{ij} - \bar{r})^2} \quad (3)$$

N is the total number of observations across all groups

g is the number of groups

n_i is the number of observations in group i .

r_{ij} is the rank (among all observations) of observation j from group i .

$$\bar{r}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} r_{ij}}{n_i} \text{ is the average rank of all observations in group } i$$

$$\bar{r} = \frac{1}{2}(N + 1) \text{ is the average of all the } r_{ij}.$$

Each of the three preceding mathematical tools (i.e., MSD, MPE, and Kruskal-Wallis) provides a means of quantifying the efficacy of cybersecurity measures. These tools provide a means of evaluating defensive modalities that has a mathematical rigor currently not frequently seen in cybersecurity.

Failure mode analysis is another tool from engineering that can be applied to cybersecurity. Any given breach either is a failure or causes failures. For example, a virus outbreak might cause network failure or operating system failure. The concept in traditional failure analysis is to examine as many components and subsystems as are practical in order to identify failure modes (Franklin, et al., 2012). Then the causes and effects of these failure modes can be analyzed. There are subtypes of Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), such as functional failure mode and effects analysis or process failure mode and effects analysis. Failure Mode and Effects Analysis has several critical terms (Modarres et al., 2016):

- Failure Cause: This is what you are seeking, the ultimate cause of the failure. Why did the system fail? This may not always be the proximate cause or the apparent cause.
- Failure Mode: This is a description of what failed. In every engineering discipline, a complete description of the failure is critical to understanding why it failed.
- Failure Effect: This is the most apparent part of FMEA; what is the effect of the failure. For example, failure of coolant in a Nuclear Reactor could lead to more severe effects.
- Failure Severity: This is tightly coordinated with the failure effect. What is the severity of the failure, or put more simply, how bad was the failure?

Irrespective of the particular FMEA approach taken, the preceding four terms/concepts will substantially be important. Ishikawa diagrams (Chokkalingam, et al., 2016) are a commonly used engineering tool in FMEA. These are sometimes called fish diagrams because the defect is the fish's head, and the issues leading to the defect are branches or fish bones (Liliana, 2016). A generic example of how to create an Ishikawa diagram is shown in figure 1.

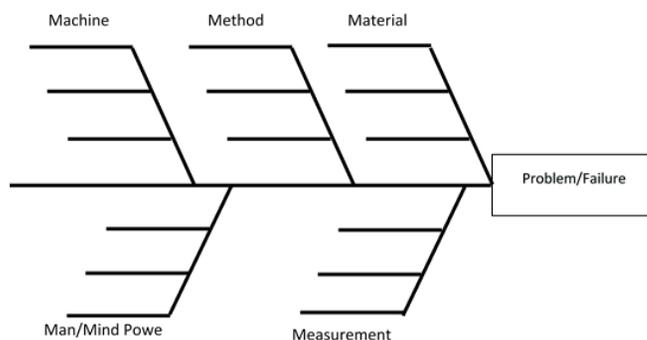


Figure 1. Ishikawa Diagram

Own elaboration

The Ishikawa diagram is a standard tool in root cause analysis. The major problem is traced back through a series of contributing factors that facilitated the problem. Some of these may be necessary components of the system or processes. However, the key is to identify those issues that can be eliminated or remediated. This can only be accomplished with root cause analysis.

FMEA is closely related to Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA). FMECA extends FMEA by including criticality analysis. How severe are the effects of failure modes? Types of failures include complete systems failures, degraded operation, and no immediate effect. Severity is divided into categories such as I Catastrophic; II Critical; III Marginal; IV Negligible. Failures are also ranked by probability. They can be A Frequent; B Probable; C Occasional; D Remote; E Improbable.

Related to root cause analysis with Ishikawa diagrams is the use of the issues tree. This is a breakdown of questions that are used to dissect the failure. The questions should follow four rules:

1. Each question will answer a “how” or a ‘why” question.
2. The process begins with a critical question and progresses left to right.
3. Any branches should be mutually exclusive and collectively exhaustive (MECE)
4. The breakdown should be insightful.

Consider applying this process to a virus outbreak. One would have a series of questions starting with what is shown in Table 2:

Table 2
Failure Analysis and Virus Outbreaks

How did the virus get into the network	Answer downloaded	Was this in violation of policy	Answer Yes	Is there a lack of policy education?
			Answer No	Why is there no policy against this?
	Answer email attachment	Was this in violation of policy	Answer Yes	Is there a lack of policy education?
			Answer No	Why is there no policy against this?
	Answer USB drive	Was this in violation of policy	Answer Yes	Is there a lack of policy education?
			Answer No	Why is there no policy against this?

Own elaboration

As can be seen, each question provides an answer which leads to the next question. This provides a rigorous process of proceeding from one question to the next to determine the root cause of a specific issue. Root cause analysis facilitates more effective remediation of cybersecurity issues.

3.2 Lotka-Volterra Equations

In addition to applying engineering failure methods, mathematical techniques from biology can be applied to cybersecurity. Biologists frequently analyze predator-prey relationships, population changes, and similar issues. It is quite natural to consider applying these robust mathematical tools to cybersecurity. The Lotka–Volterra equations describe predator-prey dynamics in biological systems (Momeni et al., 2017). Cybercrime is also a predator-prey relationship. Whether the issue is phishing scams, malware distribution, or online child predators, the situation is similar to what is found in biology. A particular predatory is seeking a specific prey. Mazurczyk et al. (2016) applied Lotka-Volterra equations to understanding cyber criminals’ operations within the cyber ecosystem. The application of Lotka-Volterra to online predators was briefly introduced in a previous paper and is expanded upon here (Easttom, 2021). The Lotka-Volterra equations are first-order, nonlinear differential equations. Thus, they should be understandable to most engineering students, even at the undergraduate level. The basic formula is shown in equation 4.

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \alpha x - \beta xy, \\ \frac{dy}{dt} &= \delta xy - \gamma y,\end{aligned}\tag{4}$$

In equation 4, the x is the number of prey, the I is the number of a particular predator, t represents time, and α , β , γ , δ are positive real parameters describing the interaction of the two species (Elsadany & Matouk, 2015). The differentials represent the instantaneous growth rates of the two populations. The Lotka-Volterra equations have been expounded upon leading to competitive Lotka-Volterra equations and Generalized Lotka-Volterra equations (Vaidyanathan, 2015). Competitive Lotka–Volterra equations are used to study two or more species competing for a shared resource (Nguyen & Yin, 2017). This model begins with the logical population model often used in ecology. This model is shown in equation 5.

$$\frac{dx}{dt} = rx \left(1 - \frac{x}{K}\right)\tag{5}$$

In equation 5, x is the size of the population at a particular time, r is inherent per-capita growth rate, and K is the carrying capacity. Given two populations labelled x_1 and x_2 , the competitive Lotka Volterra model is depicted in equation 6.

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= r_1 x_1 \left(1 - \left(\frac{x_1 + \alpha_{12} x_2}{K_1} \right) \right) \\ \frac{dx_2}{dt} &= r_2 x_2 \left(1 - \left(\frac{x_2 + \alpha_{21} x_1}{K_2} \right) \right) \end{aligned} \tag{6}$$

In equation 6, α_{12} represents the effect species two has on the population of species one and α_{21} represents the effect species one has on the population of species two.

The Lotka-Volterra equations, and their variations, lead naturally to the concept of mutualism (Tang, 2021). In biology, Holland *et al.* (2015) explain that mutualism describes the interaction between two or more species wherein each species derives some benefit. An obvious example is a relationship between bees and the flowers they pollinate. However, mutualism must not be conflated with cooperation (Epstein, 2018). Mutualism need not be intentional, nor something both species engage in voluntarily (Klipp *et al.*, 2016). In a predatory-prey dynamic, the prey certainly does not willingly engage in the relationship. However, while the prey species provides sustenance for the predator, the predator provides population control for the prey species (Holland *et al.*, 2002).

3.3 Lanchester’s Laws

Lanchester’s laws are related to the previously described Lotka-Volterra equations. However, rather than describing predator-prey relationships, these equations describe calculating the relative strengths of military forces (Kress, 2020). In addition to human military combat, it has been shown that these laws are applicable to animal combat (Clifton, 2020).

The basic mathematics is not particularly difficult. Lanchester’s square law is shown in equation 7.

$$\begin{aligned} \frac{dA}{dt} &= -\beta B \\ \frac{dB}{dt} &= -\alpha A \end{aligned} \tag{7}$$

If $\alpha=\beta$, meaning the two sides have equal firepower, the side with more soldiers at the beginning of the battle will win.

If $A=B$, meaning the two sides have equal numbers of soldiers, the side with greater fire-power will win.

If $A>B$ and $\alpha>\beta$, then Red will win, while if $A<B$ and $\alpha<\beta$, Blue will win.

If $A > B$ but $\alpha < \beta$, or $A < B$ but $\alpha > \beta$, the winning side will depend on whether the ratio of β/α is greater or less than the square of the ratio of A/B .

These laws have been validated by applying them to historical battles. Hyeon & Aurelia (2020) applied these laws to the use of cloud computing by militaries. It should be a relatively obvious application to use these equations to describe the ‘battle’ between cyber attackers and cyber defenders. This is particularly applicable to nation state cyber conflicts. More importantly, the Lanchester’s laws illustrate another modality of the application of mathematics to cybersecurity.

3.4 Nicholson–Bailey model

The Nicholson–Bailey model was developed for studying population dynamics in parasite-host systems (Sarif Hassan et al., 2018). This model utilizes differential equations to understand the population growth in a host-parasite population (Jamieson & Reis, 2018). This is particularly applicable to cybercrime, as the cybercriminal can accurately be viewed as a parasite on the host population of legitimate internet users. The model is often expressed concerning discrete-time as follows in equation 8.

$$\begin{aligned} H_{t+1} &= kH_t e^{-aP_t} \\ P_{t+1} &= cH_t (1 - e^{-aP_t}) \end{aligned} \quad (8)$$

The value H represents the host population, and P represents the parasite population. The k value is the rate of reproduction for the host, and a is the efficiency of searching by the parasite. Finally, c is the average number of viable eggs the parasite lays in a given host. The value is the probability that the host will survive Pt predators. Conversely, $1 - e^{-aP_t}$ is the probability the host will not survive. Clearly, this model requires some modification to be applicable to cybercrimes. The parasite in a cybercrime does not ‘lay eggs’ in the host. However with some minor modifications, the concept is still applicable to at least some cybercrimes.

4. CONCLUSIONS

This paper introduces engineering failure analysis along with population biology dynamics to cybersecurity. While other engineering and mathematical tools that could be ported to cybersecurity, the tools presented in this paper are relatively easy to implement and derive immediate use from them. As the profession of cybersecurity matures, it will be imperative to incorporate rigorous engineering techniques and mathematical tools. This will allow the field of cybersecurity to progress from a subjective art to an objective engineering discipline.

REFERENCIAS

- Ahmadian, S., Tang, X., Malki, H. A., & Han, Z. (2019). Modelling cyber attacks on electricity market using mathematical programming with equilibrium constraints. *IEEE Access*, 7, 27376-27388. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2899293>
- Allodi, L., & Massacci, F. (2013). How CVSS is DOSSing your patching policy (and wasting your money). *BlackHat USA*.
- Beynon-Davies, P. (2016). *Information Systems Development: an introduction to information systems engineering*. Macmillan International Higher Education.
- Bollobás, B. (2013). *Graduate Texts in Mathematics: Modern graph theory*. Springer Science & Business Media.
- Chokkalingam, B., Raja, V., Anburaj, J., Immanuel, R., & Dhineshkumar, M. (2017). Investigation of Shrinkage Defect in Castings by Quantitative Ishikawa Diagram. *Archives of Foundry Engineering*, 17(1), 174-178. <https://doi.org/10.1515/afe-2017-0032>
- Clifton, E. (2020). A Brief Review on the Application of Lanchester's Models of Combat in Nonhuman Animals. *Ecological Psychology*, 32(4), 181-191. <https://doi.org/10.1080/10407413.2020.1846456>
- Dongre, S., Mishra, S., Romanowski, C., & Buddhadev, M. (2019). Quantifying the Costs of Data Breaches. In J. Staggs & S. Sheno (Eds.), *Critical Infrastructure Protection XIII* (pp. 3-16). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34647-8_1
- Dupont, B. (2019). The ecology of cybercrime. In R. Leukfeldt & T. J. Holt (Eds.), *The human factor of cybercrime* (pp. 389-407). Routledge.
- Easttom, C. (2018). A Systems Approach to Indicators of Compromise Utilizing Graph Theory. *2018 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security*, 1-6. doi.org/10.1109/THS.2018.8574187
- Easttom, C. (2019). *Incorporating Cybersecurity Engineering within the Discipline of Systems Engineering* [Master's thesis, University of Texas at El Paso]. Open Access Theses & Dissertations. Retrieved from https://scholarworks.utep.edu/open_etd/62/
- Easttom, C. (2020). Mathematically Modeling Cyber-Attacks Utilizing Engineering Techniques. *15th International Conference on Cyber Warfare and Security (ICCWS)*.
- Easttom, C. (2021). Mathematically Modeling Victim Selection in Cybercrimes. *16th International Conference on Cyber Warfare and Security (ICCW)*.
- Elsadany, A.A., Matouk, A.E. Dynamical Behaviors of Fractional-Order Lotka-Volterra Predator-Prey Model and its Discretization. *J. Appl. Math. Comput.* 49, 269-283 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12190-014-0838-6>

- Engel, A. (2010). *Verification, validation and testing of engineered systems*. John Wiley & Sons.
- Fernald, D. G. (2020, January). US Army Software System Safety Process, Case-Study, and Success Stories. *2020 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/RAMS48030.2020.9153623>
- Feutrill, A., Ranathunga, D., Yarom, Y., & Roughan, M. (2018). The Effect of Common Vulnerability Scoring System Metrics on Vulnerability Exploit Delay. *2018 Sixth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR)*, 1-10. <https://doi.org/10.1109/CANDAR.2018.00009>
- Franklin, B. D., Shebl, N. A., & Barber, N. (2012). Failure Mode and Effects Analysis: too Little for too Much? *BMJ Quality Safety*, *21*(7), 607-611. <https://doi.org/10.1136/bmjqs-2011-000723>
- Frigault, M., Wang, L., Jajodia, S., & Singhal, A. (2017). Measuring the Overall Network Security by Combining CVSS Scores Based on Attack Graphs and Bayesian Networks. In L. Wang, S. Jajodia & A. Singhal (Eds.), *Network Security Metrics* (pp. 1-23). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66505-4_1
- Gandal, N., Riordan, M. H., & Bublil, S. (2020). A New Approach to Quantifying, Reducing and Insuring Cyber Risk: Preliminary Analysis and Proposal for Further Research. *Centre for Economic Policy Research*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3548380>
- Jamieson, W. T., & Reis, J. (2018). Global Behaviour for the Classical Nicholson–Bailey Model. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, *461*(1), 492-499. <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2017.12.071>
- Sarif Hassan, Sk., Ahluwalia, D., Maddali, R. K., & Manglik, M. (2018). Computational Dynamics of the Nicholson-Bailey models. *The European Physical Journal Plus*, *133*(9), 349. <https://doi.org/10.1140/epjp/i2018-12164-1>
- Holland, J. N., DeAngelis, D. L., & Bronstein, J. L. (2002). Population Dynamics and Mutualism: Functional Responses of Benefits and Costs. *The American Naturalist*, *159*(3), 231-244. <https://doi.org/10.1086/338510>
- Holm, H., & Afridi, K. K. (2015). An Expert-Based Investigation of the Common Vulnerability Scoring System. *Computers & Security*, *53*, 18-30. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2015.04.012>
- Hyeon, C., & Aurelia, S. (2020, October). Enhancement of Efficiency of Military Cloud Computing using Lanchester Model. *2020 Fourth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, 960-964. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC49090.2020.9243515>

- Khan, R., McLaughlin, K., Lavery, D., & Sezer, S. (2017). STRIDE-Based Threat Modeling for CyberPhysical Systems. *2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ISGTEurope.2017.8260283>
- Klipp, E., Liebermeister, W., Wierling, C., & Kowald, A. (2016). *Systems Biology: a Textbook* (2nd ed.). Wiley.
- Kress, M. (2020). *Lanchester Models for Irregular Warfare. Mathematics*, 8(5), 737. <https://doi.org/10.3390/math8050737>
- Liliana, L. (2016). A New Model of Ishikawa Diagram for Quality Assessment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 161. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/161/1/012099>
- Mazurczyk, W., Drobniak, S., & Moore, S. (2016). Towards a Systematic View on Cybersecurity Ecology. In B. Akhgar & B. Brewster (Eds.), *Combatting Cybercrime and Cyberterrorism* (pp. 17-37). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38930-1_2
- Naagas, M. A., & Palaoag, T. D. (2018). A Threat-Driven Approach to Modeling a Campus Network Security. *Proceedings of the 6th International Conference on Communications and Broadband Networking*, 6-12. <https://doi.org/10.1145/3193092.3193096>
- Modarres, M., Kaminskiy, M. P., & Krivtsov, V. (2016). *Reliability Engineering and Risk Analysis: a Practical Guide* (3rd ed.). CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781315382425>
- Momeni, B., Xie, L., & Shou, W. (2017). Lotka-Volterra Pairwise Modeling Fails to Capture Diverse Pairwise Microbial Interactions. *ELife*, 6. <https://doi.org/10.7554/elife.25051>
- Nguyen, D. H., & Yin, G. (2017). Coexistence and Exclusion of Stochastic Competitive Lotka–Volterra Models. *Journal of Differential Equations*, 262(3), 1192-1225. <https://doi.org/10.1016/j.jde.2016.10.005>
- Sanfilippo, J., Abegaz, T., Payne, B., & Salimi, A. (2019). STRIDE-Based Threat Modeling for MySQL Databases. *Proceedings of the Future Technologies Conference*, 368-378. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32523-7_25
- Singh, U. K., & Joshi, C. (2016). Quantitative Security Risk Evaluation Using CVSS Metrics by Estimation of Frequency and Maturity of Exploit. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, 1, 170-175.
- Suo, D., Renda, M. E., & Zhao, J. (2021). *Quantifying the Tradeoff Between Cybersecurity and Location Privacy*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2105.01262>
- Vaidyanathan, S. (2015). Adaptive Biological Control of Generalized Lotka-Volterra Three-Species Biological System. *International Journal of PharmTech Research*, 8(4), 622-631.

- van den Hooven, C. (2020). Quantitative Risk Calculation in Cybersecurity: The Value of Quantifying Risk. *ISSA Journal*, 18(10).
- Wang, W., Yang, D., & Luo, Y. (2013). The Laplacian Polynomial and Kirchhoff Index of Graphs Derived from Regular Graphs. *Discrete Applied Mathematics*, 161(18), 3063-3071. <https://doi.org/10.1016/j.dam.2013.06.010>
- Yaqoob, I., Hashem, I. A. T., Ahmed, A., Kazmi, S. A., & Hong, C. S. (2019). Internet of Things Forensics: Recent Advances, Taxonomy, Requirements, and Open Challenges. *Future Generation Computer Systems*, 92, 265-275. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.09.058>
- Wasson, C. S. (2015). *System Engineering Analysis, Design, and Development: Concepts, Principles, and Practices* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

BIBLIOGRAPHY

- Babarinsa, O., & Kamarulhaili, H. (2017). On Determinant of Laplacian Matrix and Signless Laplacian Matrix of a Simple Graph. In S. Arumugam, J. Bagga, L. Beineke, B. Panda (Eds.), *Theoretical Computer Science and Discrete Mathematics* (pp. 212-217). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64419-6_28
- Birolini, A. (2017). *Reliability engineering: Theory and Practice* (8th ed.). Springer.
- Deo, N. (2017). *Graph Theory with Applications to Engineering and Computer Science*. Dover Publications.
- Fu, L., Song, W., Lv, W., & Lo, S. (2014). Simulation of Emotional Contagion Using Modified SIR Model: A Cellular Automaton Approach. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 405, 380-391. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.03.043>
- Godsil, C., & Royle, G. F. (2013). *Graduate Texts in Mathematics: Algebraic Graph Theory*. Springer Science & Business Media.
- Gross, J. L., & Yellen, J. (2005). *Graph Theory and its Applications* (2nd ed.). CRC press.
- Harko, T., Lobo, F. S., & Mak, M. K. (2014). Exact Analytical Solutions of the Susceptible-Infected-Recovered (SIR) Epidemic Model and of the SIR Model with Equal Death and Birth Rates. *Applied Mathematics and Computation*, 236, 184-194. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2014.03.030>
- Kuddus, A., Rahman, A., Talukder, M. R., & Hoque, A. (2014). A Modified SIR Model to Study on Physical Behaviour among Smallpox Infective Population in Bangladesh. *American Journal of Mathematics and Statistics*, 4(5), 231-239.

- Latino, M. A., Latino, R. J., & Latino, K. (2016). *Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom-Line Results* (4th ed.). CRC Press
- Motzek, A., Möller, R., Lange, M., & Dubus, S. (2015). Probabilistic Mission Impact Assessment Based on Widespread Local Events. *Proceedings of the NATO IST-128 Workshop: Assessing Mission Impact of Cyberattacks*, 16-22.
- Noel, S., Harley, E., Tam, K. H., Limiero, M., & Share, M. (2016). CyGraph: Graph-Based Analytics and Visualization for Cybersecurity. In V. N. Gudivada, V. V. Raghavan, V. Govindaraju & C.R. Rao (Eds.), *Handbook of Statistics* (Vol. 35, pp. 117-167). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.host.2016.07.001>
- Sahu, M. K., Ahirwar, M., & Shukla, P. K. (2015). Improved Malware Detection Technique Using Ensemble-Based Classifier and Graph Theory. *2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology*, 150-154. <https://doi.org/10.1109/CICT.2015.147>

Augmented Reality Educational Applications: Let's Find out What Students and Teachers Need!

Effie Lai-Chong Law

lai-chong.law@durham.ac.uk / <https://orcid.org/0000-0002-0873-0150>

Department of Computer Science, Durham University, UK

Recibido: 3/10/2021 Aceptado: 25/10/2021

<https://doi.org/10.26439/ciis2021.5576>

ABSTRACT. While the number of augmented reality educational applications (AREAs) has increased in the recent decade, the actual uptake of AREAs in real-life contexts has been low. Our systematic review showed that little attention was paid to the teacher's perspective of AREAs. A handful of studies with teachers showed that the lack of equipment and inadequate support hindered the AREA uptake. However, these studies had a severe limitation: many of the participating teachers did not have any interaction experience with AR. Hence, we conducted a survey targeting teachers with actual experience of deploying AR in teaching. Results showed that teachers held positive views about the educational values of AR and wanted to use it more for teaching. To meet this goal, certain factors need to be improved: quality devices, teacher training, user experience of AREAs, and coverage of AR content. We derived teacher requirements to address the identified needs.

KEYWORDS: augmented reality / education / teacher / survey / user experience / requirement

APLICACIONES EDUCATIVAS DE REALIDAD AUMENTADA: DESCUBRAMOS LO QUE NECESITAN ESTUDIANTES Y PROFESORES

RESUMEN. Si bien el número de aplicaciones educativas de realidad aumentada (AERA) ha crecido en la última década, la aceptación real de AERA en contextos de la vida real ha sido baja. Nuestra revisión sistemática expuso que se prestó poca atención a la perspectiva docente de las AERA. Una serie de estudios con docentes mostró que la falta de equipo y el apoyo inadecuado fueron los principales factores que obstaculizaron la aceptación de AERA. Pero, estos estudios tienen una serie de limitaciones, como, por ejemplo, que muchos de los docentes participantes no tienen ninguna experiencia de interacción con la realidad aumentada (RA). Por lo tanto, se realizó una encuesta dirigida a docentes con experiencia real de despliegue de RA en la enseñanza. Los resultados mostraron que los profesores tenían opiniones positivas sobre los valores educativos de la RA y querían utilizarla más para la enseñanza. Para cumplir con este objetivo, es necesario mejorar ciertos factores: dispositivos de calidad, formación del profesorado, experiencia de usuario de las AERA y cobertura de los contenidos de RA. Finalmente, identificamos los requisitos de los docentes para abordar las necesidades identificadas.

PALABRAS CLAVE: realidad aumentada / educación / profesor / encuesta / experiencia de usuario / requisito

1. INTRODUCTION

Augmented Reality (AR) has three defining characteristics: it combines real and virtual content; it is interactive in real-time; it is registered in 3D (Azuma, 1997). These characteristics render AR technology particularly attractive and valuable for educational uses. For instance, AR can visualize concepts in 3D that are difficult to be explained in 2D (e.g., molecular structures), and it can also enrich the learning experience with an immersive mixed reality setting (e.g., roaming animals in the wilderness). In the recent decade, the number of AR educational applications (AREAs) has visibly increased, thanks to advances in mobile technology (Ibáñez *et al.*, 2018), making it easier to deploy AREAs in various contexts - within as well as outside school premises (e.g., Hsiao *et al.*, 2016; Fujitsu & Intel, 2021).

Nevertheless, only a few studies exploring teachers' views exclusively on deploying AREAs can be located (Tzima *et al.*, 2019; Alkhatabi, 2017; Putiorn *et al.*, 2018; Alalwan *et al.*, 2020). All four studies had two common concerns: the teacher participants involved had no, or little experience in using AR applications, and the scale of the individual study was limited to a particular region of a single country that is Greece (Tzima *et al.*, 2019), Saudi Arabia (Alkhatabi, 2017; Putiorn *et al.*, 2018; Alalwan *et al.*, 2020), and Thailand (Putiorn *et al.*, 2018). Specifically, in (Tzima *et al.*, 2019) and (Alkhatabi, 2017) none of the 20 and 200 participants, respectively, have ever used AREAs in teaching. In (Tzima *et al.*, 2019), given that only 50% of the participants have heard about AR apps and 15% used one, the validity of their responses to questions on the challenges of implementing AREAs is questionable. In (Alkhatabi, 2017) a set of generic Likert-scale questions were posed to participants, such as whether they would accept using AR applications in an e-learning environment without specifying the context of use (e.g., subject). The soundness of their findings was also debatable. In (Putiorn *et al.*, 2018), 38 pre-service teachers of different training (e.g., languages) were asked to evaluate an AREA on astronomy for secondary school students; the mismatch between the background knowledge of the teachers and the AR content could have confounded the outcomes. Using semi-structured interviews and systematic qualitative data analysis, (Alalwan *et al.*, 2020) was methodologically sounder than (Tzima *et al.*, 2019; Alkhatabi, 2017; Putiorn *et al.*, 2018). However, its narrow focus on science teachers only (29 from different schools) is a limitation.

Given the observations identified in the above reviews, we were motivated to design and conduct a survey to analyse the usage of AREAs from the teacher's perspective. The survey was designed with the following characteristics to address the aforementioned drawbacks: (a) Only teachers with actual AR experience in teaching were invited to take part; (b) Teachers with various disciplines were eligible to take part as long as they met the criterion (a); (c) The geographical spread was expanded well beyond one country; (d) both close- and open-ended questions were included in the survey.

Overall, the main research goal of our survey is to understand teachers' perceptions and UX with AREAs in a range of educational contexts. Our main contribution is identifying

teachers' experience-based needs and requirements for enhancing AREAs and thus their uptake, thereby unleashing the potential of this emerging technology. Note that a high-level summary of our survey's findings is presented as a poster in a conference (Heintz *et al.*, 2021), and the details, which are not included in the poster, are reported in this paper.

2. BACKGROUND

Several systematic literature reviews (SLRs) on AREAs have been conducted (e.g., Ibáñez *et al.*, 2018; Garzón *et al.*, 2020; Pellas *et al.*, 2019) since 2000 when the work on AREA emerged. Overall, three consistent findings on the educational effectiveness of AREAs can be identified from these SLRs: (i) the use of AR can result in learning gain to a moderate extent; (ii) increased motivation is the salient mediating variable contributing to the positive learning effect of AR; (iii) STEM is the most common domain for AREAs.

However, most of these reviews address primarily their educational impacts rather than their usability and user experience (UX), which are critical qualities for determining the acceptance and adoption of AR as an educational tool. Usability is defined as "The extent to which a product can be used by specified users to achieve specified goals with effectiveness, efficiency, and satisfaction in a specified context of use" (ISO 9241-210, 2019). Going beyond usability, UX emphasizes on user effect and sensation and the meaningfulness of interaction with technology (Law *et al.*, 2009). We were then motivated to perform an SLR on AREAs designed for K-12 education by following the related guidelines and principles (Moher *et al.*, 2009), focusing on the usability and UX aspects of AREAs.

While the complete results on the interaction quality of AREAs from the student perspective are documented in (Law *et al.*, 2021), the results from the teacher perspective are yet to be reported. The related data on teachers are so meager that there is little to present. There are two teacher-specific aspects. First, concerning the perceived quality of the AREAs, 36 out of the 48 papers did not take any measure with teachers. The other papers had the following observations: Teachers can engage students better with AR (n=3) (e.g., Squire, 2007); Teachers can present better learning content in AR (n=5) (e.g., Wojciechowski & Cellary, 2013); Teachers have a positive experience with the AR app (n=4) (e.g., Joo-Nagata, 2017), and the AR app supports teaching tasks (n=1) (Lu & Liu, 2015). Second, concerning AREA's effectiveness on teaching, 46 out of the 49 reviewed in our SLR did not specify it at all. The two papers addressing this aspect reported the effects of monitoring individual students' progress (Hsu, 2019) and having a variety of tools for different learning situations (Alakärppä *et al.*, 2017). It is surprising to note the limited attention ascribed to teachers' perception of AREA and the impact of these educational tools on them. This observation stimulated us to conduct the teacher survey, of which the process and results are delineated in the following.

3. METHOD

Survey structure. Our empirical study aimed to know the current AR usage patterns of teachers and elicit their user requirements for AREAs. We created a homegrown survey to address the shortcomings we identified in the current work (see Introduction). The survey design was inspired by related work and similar surveys (Sáez-López *et al.*, 2020; Ghavifekr *et al.*, 2016). It was also based on our expertise in AR and HCI. Its details are given below.

Introduction and Section 1: Demographics. Having used AR for teaching is a prerequisite to participating in the survey. This screening criterion is outlined on the start page to ensure the participating teachers are aware of this fact. The introduction page asks for the teachers' consent to have their anonymous responses being used for research. The six demographic questions are the type of school they teach at, gender, age, country of residence, main teaching subject, and years of teaching experience.

Section 2: General AR Usage for Teaching. A statement on AR with pictorial examples is first presented. This is to ensure that participants have a similar understanding of AR. Then they are asked to describe their reason for using AREAs, frequency and duration of usage, conditions of usage (i.e., class size, hardware), confidence in using them, and how the usage can be increased.

Section 3: Most Recent AR Usage for Teaching. Participants are asked to name the AR app that they have recently used and describe the app usage, and the app itself comment on the perceived usefulness and user experience of students and teachers with the app, the domain and topic of the app covered, and the age group of the students using it.

Survey distribution. The research work underpinning the survey was run under the auspices of the project ARETE (<https://www.aretproject.eu/>). The survey was implemented with the open-source survey tool LimeSurvey. Initially developed in English, the survey was translated into Dutch, German, Greek, Italian, and Spanish. The survey was publicized in the news section of a project's website and social media channels. The project partners distributed the survey to their networks of teacher and school contacts. Nonetheless, the low response rate was low; we re-advertised our call for participation through these channels several times.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Like most user-based studies, our survey was severely affected by the pandemic. The number of responses was relatively low, despite repeated attempts to promote it. Altogether there were 1746 visits to the survey website, but only 65 responses were complete. While we cannot identify actual reasons for the high incompleteness rate, we speculate that many of the visitors considered themselves ineligible when they read the following statement at the beginning of the survey: “*This survey targets educators who have used AR in their teaching. If you have*

never used AR before for educational purposes, your input will not be required.” If our speculation were true, it would imply that only 3,7% of the teachers whom we sampled had experience in deploying AR for educational purposes. One may argue that this could be an artifact of our sampling strategy. Nonetheless, the low percentage is not surprising because the actual usage of AREAs in everyday teaching is still a nascent phenomenon.

4.1 Demographic Data

The 65 complete responses came from 17 countries and two unspecified ones, with seven countries having only one respondent (Figure 1). This unusual distribution might be related to the low adoption of AREA in real-life teaching. In the sample, 35 teachers were in secondary schools, 27 in primary schools, one in an infant school, and two in further education colleges.

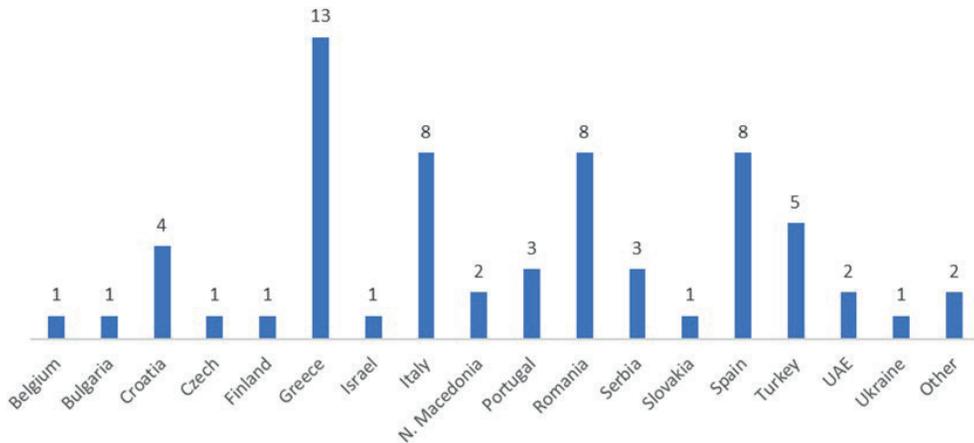


Figure 1. Distribution of the country of residence of the teacher respondents

Own elaboration

The gender distribution with 44 females and 21 males is higher than a typical ratio of 3:1 in the teaching profession. In terms of age-group, the distribution is as follows: 31-40 (n=20), 41-50 (n=26), 51-60 (n=16), >60 (n=3). Regard to teaching subjects, most of respondents reported teaching mostly STEM subjects, and most of the primary school teachers said to teach more than one main subject. The average teaching experience in years was 17.2 (SD =7.02, Range= 4-45).

4.2 General AR Usage for Teaching

Rationale. In response to why they had used AR as part of their teaching (Note: they could choose more than one reason), the majority of the respondents (n=52) chose the option *out*

of curiosity. The two other frequent options were *following the recommendation of colleagues* (n=12) and *being drawn attention to it by students* (n=8). A handful chose the option *following the guidelines of the ministry of education* (n=3) or *school board* (n=3). The rest chose a different reason (n=8). Some elaborated their rationales such as “*I wanted to try something new*” (T271), “*I believe it may have the potential to stimulate learning*” (T254, translated from Italian), “*To teach my students to create augmented reality applications.*” (T366).

Usage. Teachers were asked about their years of AR experience (Table 1). Concerning the usage frequency, ten teachers used AREAs for teaching weekly or fortnightly (i.e., active), 26 teachers between monthly and every three months (i.e., moderately active); 22 teachers used only every six months or less (i.e., less active).

Table 1
Distribution of teachers' AR experience

Duration	< 1 year	1-2 years	3-4 years	> 4 years	Not specified
Number	15	20	14	7	9

Own elaboration

As a follow-up question, the teachers were asked whether they wanted to use more AR for teaching; 57 indicated “yes”, 4 selected “no” and 4 teachers were unsure. Example reasons why teachers were unsure about using AR more often for teaching were because “*It is not easy for my students to keep attention alive*” (T492), “*...not sure if it is a pedagogical advance*” (T305), and “*...there are a lot of AR apps out there that are not so good*” (T1290).

Needs. Several significant needs for increasing the usage were identified, including (a) *Financial constraints and lack of training.* T1444 remarked that “*in my school, there are no tablets for students, they use their mobile phones. Moreover, my colleagues are not keen on using ICT and do not encourage students. I am the only one that pushes for this*” (T1486); “*Regular training on what is new would also be very useful.*”; (b) *Restrictions (e.g., time, legal);* T1476 commented that “*actually more than the lack of apps, there is a lack of readymade materials, which would considerably reduce time spent in creating AR activities suitable to foreign language teaching.*”; (c) *Limited availability of quality materials;* T1292 remarked that “*There has only been two really good apps for AR and now are no longer supported so I find the current AR apps on the market quite limited to exchange learning.*”

Experience in the classroom. In the sample, most teachers used smartphones for teaching with AR (n=51), followed by tablets (n=33), desktop or laptops (n=23), and in very few cases, game consoles (n=3) and VR glasses (n=1). In four cases, teachers mentioned they needed to bring their own devices to the classroom to teach with AR, and six teachers had to ask their students to bring their own smartphones or tablets to learn with AR. The average number of students per class in this sample was 23 (SD= 5.64, range= 12 - 40). Most teachers rated their

confidence in using AR for teaching as high ($n = 24$) or very high ($n = 7$), with only a few teachers still struggling (with their confidence being very low, $n = 3$; low, $n = 7$).

In responding to the question of how AR apps could be changed to further improve their confidence in using AR for teaching, teachers provided various responses, which can be categorized into four aspects: Access ($n = 6$), Training ($n = 11$), Content ($n = 23$) and Technical.

Enhancement ($n = 14$). Responses about Access include “*By creating repositories with easy access*” (T247); “*Applications that can be installed on PC Desktop for use in the classroom because not all students have modern personal devices to work with them*” (T337). In this sample, most teachers explained that they need more suitable contents to use AR for teaching because the contents often do not align well with the curricula or with the cognitive level of their students. “*Including pre-made activities and templates*” (T299); “*By knowing exactly what they include, how they work, how they relate to the curriculum and in which classes it is best to apply*” (T1387). Another topic frequently mentioned by teachers was the need for applications to be fast, reliable, and compatible with more than one operating system. For instance, “*Devices that can handle AR as the students get frustrated or give up waiting for the graphics to load, being able to manipulate objects on a small screen, etc. The answer would be to have an app that would work with tablet devices.*” (T1292). With less emphasis, teachers also claimed to need more training and guidance to be more confident while using AR apps for teaching and better access to equipment and free AR apps.

4.3 More Recent AR Usage for Teaching

Software. In response to which AR applications teachers had used most recently, various names were mentioned, with the most popular ones being Quiver ($n=11$), GeoGebra ($n=7$), and HP Reveal ($n=5$). The other applications mentioned twice are: *Architect by Twinkle*, *Aurasma*, *Curioscope*, *iSolarSystemAR*, *Merge Cube*, *Metaverse*, *SchoolAR*. The most common domains covered by the AR apps were Mathematics ($n=19$), Biology ($n=18$), Physics ($n=16$), and Informatics ($n = 16$); some less common ones were PBIS = positive behavior intervention and support; ($n=4$), history ($n=4$) and physical education ($n=3$). In total, 53 out of the 65 teachers said to have used an AR application to teach at least once in the last year.

Experience. The respondents reported that they had used the AR apps with students of different age groups, ranging from 11-13 years old ($n=28$, 43%), followed by two age groups: 8-10 years old ($n=13$, 20%) and 14-16 years old ($n=14$, 21.5%). A small number of classes had students between 5-7 years old ($n=3$, 4.6%) or students older than 17 years old ($n=6$, 9.2%). On average, students spent 43 minutes using the AR apps the last time they had an opportunity to do so. Students used the AR software mostly in the classroom ($n=53$, 82%), but some used it somewhere else in their schools ($n=7$, 11%), at home ($n=11$, 17%), in a museum ($n=5$, 8%), outdoors ($n=5$, 8%) or elsewhere ($n=2$, 3%). About the usage method, the more

common ones are students working in groups while sharing a device (n = 35) and the teacher presenting the AR app in front of the class (n = 35). Less common methods are students working in groups with each having a device (n=13) and students working individually with a device (n=9). These results confirmed the observation about the inadequate infrastructural support provided by schools.

Most teachers perceived the AR software as fairly useful (n=20), very useful (n=29), or extremely useful (n=13) to support students to learn a topic. Examples of positive comments are:

- *“Students were active, moving around, searching for answers. They were highly motivated to finish the hunt. All the students worked on math problems trying to solve them in order to proceed. Only 1-2% students did not solve the problems. Comparing to 20-25% when they didn't use the app it is a great success” (T77);*
- *“this is motivating and a very practical educational way of learning” (T234);*
- *“It is a learning experience that is hard to replicate and it is easy to resource” (T1290);*
- *“Through the use of AR, I was able to visualize knowledge. The children learned through playful learning, which piqued their interest, made them look forward to the next application and be happy. In addition, they showed that they better understand and assimilate the concepts of the lesson.” (T1444).*

Two teachers rated the AR software as “slightly” and one as “not at all useful”. Examples of negative comments are:

- *“Beyond the initial surprise, then they lost interest as soon as they saw that it was to explain part of the functioning of the body” (T211);*
- *“A little difficult to use” (T260);*
- *“There is always the risk that students could be interested in other things” (T492).*

Moreover, teachers also considered that the overall student experience while using the app was positive (n=38, 58%) or very positive (n=24, 37%); only a few teachers were neutral on their response (n=3, 5%). When asked to elaborate on this answer, some responses of teachers were:

- *“They liked it very much. They learned several things that were not in the textbook. Many children bought similar books for their own home.” (T240);*
- *“It was a pleasant and at the same time constructive teaching and learning experience” (T339);*
- *“Students had fun and the overall experience was positive” (T305);*
- *“Also weaker students were engaged and contributed learning about their town ... It was for them “strange” to actually see some important people who lived in our town” (T1476).*

Teachers also rated their own overall use experience as positive (n=40, 61%) and very positive (n=22, 34%) for the most part; with only a handful of teachers being neutral about their experience (n=3, 5%). Teachers selecting “neutral” explained that they were:

- “...not familiar using AR during teaching and would like to learn more” (T348);
- “...not sure that it really contributes much” (T305).

5. TEACHER REQUIREMENTS

Based on the above survey results, user (teacher) requirements have been derived and grouped into three types, namely, functional requirements (i.e., what the system should do), non-functional requirements (i.e., quality in use that the system should satisfy), and organisational and pedagogical requirements (i.e., enabling teachers to deploy AR as educational tool). In the following, the three lists of requirements are presented with each being illustrated by a quote from a teacher participant as an example.

Functional Requirements (FR)

- **FR1:** AR apps should support different styles of presentation (e.g. teacher to class, students in groups, or students individually).
 - “I only have my own tablet to show groups of AR children on various topics”
- **FR2:** AR apps should be available in different languages.
 - “... have support in multiple languages”
- **FR3:** AR apps should offer user-specific instructions and help options.
 - “More instruction how to use, and learning scenarios for teaching”
- **FR4:** AR apps should be flexible and allow customization.
 - “I would like to develop my own content and add it to the application”
- **FR5:** AR apps can work offline.
 - “I expect an offline version but I think it's impossible”

Non-Functional Requirements (NFR)

- **NFR1:** All functionalities in AR apps should be and stay free of charge.
 - “The app would be improved if it became free for content creation”
- **NFR2:** AR apps should be fast and always available.

- *“Be faster and require less memory to run”*
- **NFR3:** AR apps should recover from errors immediately.
 - *“Devices that can handle AR as the students get frustrated or give up waiting for the graphics to load, being able to manipulate objects on a small screen, etc.”*
- **NFR4:** AR apps should be usable and learnable.
 - *“Create easy-to-use, intuitive tools; select item, overlay content, and run”*
- **NFR5:** AR apps should support teachers to develop AR-based learning content and design learning activities with AR.
 - *“To prepare a lesson plan using AR it takes me 2-3 weeks to find suitable apps and 2-3 weeks more to ‘build’ a lesson...”*
- **NFR6:** AR apps should offer up-to-date, clear and clean sequences and user interfaces.
 - *“More elements could be incorporated to enhance student engagement and apply exploratory approaches”*
- **NFR7:** AR applications should be portable and need to run in any major mobile or desktop operating system.
 - *“I would make some apps usable on all systems in the same way in order to guarantee their use on students’ personal devices in the BYOD logic”*

Pedagogical and Organisational Requirements (POR)

- **POR1:** School management should care about providing the appropriate infrastructure and hardware/equipment, including the Internet and mobile devices to run AR apps (tablets, smartphones), and ease regulatory constraints.
 - *“I know AR is really good for teaching different subjects, but I do not have the hardware I need”*
- **POR2:** AR activities should be short enough to fit in a lesson (~45 minutes).
 - *“Lack of time in classroom programming to work with AR hardware available in primary school”*
- **POR3:** AR apps should be gathered, categorized, and published in highly accessible and searchable online repositories.
 - *“It would help a lot if all the applications were gathered somewhere with short instructions and per lesson”*

- **POR4:** A broader coverage of up-to-date and ready-to-use AR educational resources, which should be creative and have high educational utility.
 - “There could be more resources that would help teachers to save the time and give them idea to apply in the classroom”
- **POR5:** Projects should offer more training and support.
 - “I think there is a need for new educational seminars for improving AR skills, new workshops and webinars”
- **POR6:** Building a community of practice for teachers using AR educational tools to discuss the related pedagogical issues.
 - “Also a teachers blog or resource pages where teachers could share tips, ideas, worksheets, lesson plans with AR would be appreciated”

6. CONCLUDING REMARKS

Overall, we conclude that the teachers have had a positive experience of AR and have been motivated to deploy them to a great extent. The functional and non-functional requirements identified (Section 5) can be relevant factors for designers and developers to consider when creating AREAs. To address the pedagogical and organisational requirements, it is necessary to mobilize professional bodies. It is also important to negotiate with the policymakers to invest sufficient resources in requisite infrastructure and equipment.

Regarding the future development of AREA, one promising direction is holographic AR, which can create a strong immersive experience by generating 3D stereoscopic images with head-mounted devices (HMD) and supporting natural user interface interaction through gesture recognition. Nonetheless, an intriguing observation is that none of the teacher participants mentioned using holographic AR with HMD in the description about their most recent experience of using AR for teaching. There are several possible explanations for the observation: One is that the samples of the surveys are too small to cover a broad coverage of usage. Another one is that respondents may consider the use of HMD is more for virtual reality than AR applications. Yet another plausible reason is that HMD and holographic equipment such as Hololens or Google Glass is too expensive for regular schools to purchase. Presumably, many teachers have not had holographic interaction experience. It would be challenging for them to envision innovative uses of emerging AR technology for educational purposes. We plan to organise workshops where teachers will be given opportunities to have first-hand holographic AR experience and explore its potential educational usage for our future work. It is critical that visionary use scenarios with the new AR tech are envisaged by the critical stakeholder – teachers – to ensure the real-life relevance of the scenarios and their actual implementation and uptake.

REFERENCES

- Alakärppä, I., Jaakkola, E., Väyrynen, J., & Häkkinen, J. (2017, September). Using Nature Elements in Mobile AR for Education with Children. *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '17)*, 1-13. <https://doi.org/10.1145/3098279.3098547>
- Alalwan, N., Cheng, L., Al-Samarraie, H., Yousef, R., Alzahrani, A. I., & Sarsam, S. M. (2020). Challenges and Prospects of Virtual Reality and Augmented Reality Utilization Among Primary School Teachers: a Developing Country Perspective. *Studies in Educational Evaluation*, 66, 100876. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2020.100876>
- Alkhattabi, M. (2017). Augmented Reality as E-Learning Tool in Primary Schools' Education: Barriers to Teachers' Adoption. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 12(02), 91-100. <https://doi.org/10.3991/ijet.v12i02.6158>
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355-385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Fujitsu & Intel. (2018). *Research report: UK, The Road to Digital Learning*. Fujitsu. <https://www.birmingham.ac.uk/Documents/HEFI/FUJ-Education-Report-UK.pdf>
- Garzón, J., Kinshuk, Baldiris, S., Gutiérrez, J., & Pavón, J. (2020). How Do Pedagogical Approaches Affect the Impact of Augmented Reality on Education? A Meta-Analysis and Research Synthesis. *Educational Research Review*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100334>
- Ghavifekr, S., Kunjappan, T., Ramasamy, L., & Anthony, A. (2016). Teaching and Learning with ICT Tools: Issues and Challenges from Teachers' Perceptions. *Malaysian Online Journal of Educational Technology*, 4(2), 38-57.
- Heintz, M., Law, E. L. C., & Andrade, P. (2021). Augmented Reality as Educational Tool: Perceptions, Challenges, and Requirements from Teachers. In T. De Laet, R. Klemke, C. Alario-Hoyos, I. Hilliger & A. Ortega-Arranz (Eds.), *Technology-Enhanced Learning for a Free, Safe, and Sustainable World* (pp. 315-319). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86436-1_27
- Hsiao H.-S., Chang C.-S., Lin C.-Y., & Wang, Y.-Z. (2016). Weather Observers: a Manipulative Augmented Reality System for Weather Simulations at Home, in the Classroom, and at a Museum. *Interactive Learning Environments*, 24(1), 205-223. <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.834829>
- Hsu, T. C. (2019). Effects of Gender and Different Augmented Reality Learning Systems on English Vocabulary Learning of Elementary School Students. *Universal Access in the Information Society*, 18(2), 315-325. <https://doi.org/10.1007/s10209-017-0593-1>

- Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented Reality for STEM Learning: A Systematic Review. *Computers & Education*, 123, 109-123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- ISO. (2019). *ISO 9241-210: 2019 Ergonomics of Human-System Interaction - Part 210: Human-Centred Design for Interactive Systems*.
- Joo-Nagata, J., Martínez Abad, F., García-Bermejo, J. G., & García-Peñalvo, F. J. (2017). Augmented Reality and Pedestrian Navigation Through its Implementation in M-Learning and E-Learning: Evaluation of an Educational Program in Chile. *Computers & Education*, 111, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.04.003>
- Law, E. L. C., Roto, V., Hassenzahl, M., Vermeeren, A. P., & Kort, J. (2009, April). Understanding, Scoping and Defining User Experience: a Survey Approach. *Proceedings Of the ACM Conference On Human Factors In Computing Systems (CHI'09)*, 719-728. <https://doi.org/10.1145/1518701.1518813>
- Law, E. L. C., & Heintz, M. (2021). Augmented Reality Applications for K-12 Education: A Systematic Review from the Usability and User Experience Perspective. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100321>
- Lu, S. J., & Liu, Y. C. (2015). Integrating Augmented Reality Ttechnology to Enhance Children's Learning in Marine Education. *Environmental Education Research*, 21(4), 525-541. <https://doi.org/10.1080/13504622.2014.911247>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Prisma Group. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med*, 6(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Pellas, N., Fotaris, P., Kazanidis, I., & Wells, D. (2019). Augmenting the Learning Experience in Primary and Secondary School Education: A Systematic Review of Recent Trends in Augmented Reality Game-Based Learning. *Virtual Reality*, 23(4), 329-346. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0347-2>
- Putiorn, P., Nobnop, R., Buathong, P., & Soponronnarit, K. (2018). Understanding Teachers' Perception toward the Use of an Augmented Reality-Based Application for Astronomy Learning in Secondary Schools in Northern Thailand. *2018 Global Wireless Summit (GWS)*, 77-81. <https://doi.org/10.1109/GWS.2018.8686716>
- Sáez-López, J. M., Cózar-Gutiérrez, R., González-Calero, J. A., & Gómez Carrasco, C. J. (2020). Augmented Reality in Higher Education: An Evaluation Program in Initial Teacher Training. *Education Sciences*, 10(2), 26. <https://doi.org/10.3390/educsci10020026>
- Squire, K. D., & Jan, M. (2007). Mad City Mystery: Developing Scientific Argumentation Skills with a Placebased Augmented Reality Game on Handheld Computers. *Journal of Science Education and Technology*, 16, 5-29. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9037-z>

- Tzima, S., Styliaras, G., & Bassounas, A. (2019). Augmented Reality Applications in Education: Teachers' Point of View. *Education Sciences*, 9(2), 99. <https://doi.org/10.3390/educsci9020099>
- Wojciechowski, R., & Cellary, W. (2013). Evaluation of Learners' Attitude Toward Learning in ARIES Augmented Reality Environments. *Computers & Education*, 68, 570-585. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.014>

PONENCIAS

Análisis comparativo de métodos de *machine learning* para clasificar opiniones sobre el servicio de restaurantes peruanos en Facebook

Martín Jesús Adrianzén Torres
20160017@aloe.ulima.edu.pe

Edwin Jhonatan Escobedo Cárdenas
eescobed@ulima.edu.pe

Universidad de Lima, Perú

Recibido: 31/7/2021 Aceptado: 27/9/2021
doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5578>

RESUMEN. Las opiniones de los clientes sobre servicios en redes sociales son vitales para las empresas debido a que se pueden utilizar para mejorar y potenciar las oportunidades de negocio si los comentarios pueden analizarse a tiempo. El propósito de este trabajo es determinar los métodos de *machine learning* con mejor rendimiento para aplicar análisis de sentimientos y clasificar comentarios positivos y negativos sobre el servicio de restaurantes peruanos en Facebook. Como primera contribución en este proyecto, se crearon dos *datasets* de comentarios de publicaciones de cadenas de restaurantes peruanos en Facebook. La segunda contribución es la metodología propuesta dividida en dos etapas: en la primera etapa se aplicaron técnicas de lenguaje natural para el preprocesamiento de los comentarios; en la segunda etapa se analizó el desempeño de los algoritmos de Naïve Bayes, Random Forest y SVM con núcleos RBF y lineal para clasificar las opiniones en los *datasets*. Los resultados experimentales demostraron que el clasificador SVM obtuvo el mejor desempeño tanto en la etapa de entrenamiento como en la de pruebas con un 91,44 % y 94 % de exactitud para los *datasets* primario y secundario respectivamente, probando la viabilidad de la metodología propuesta.

PALABRAS CLAVE: análisis de sentimientos / procesamiento de lenguaje natural / *machine learning* / máquinas de soporte vectorial / Naïve Bayes / Random Forest / servicio de restaurantes

COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING METHODS TO CLASSIFY OPINIONS ABOUT THE PERUVIAN RESTAURANT SERVICE ON FACEBOOK

Abstract. Customer opinions on social media services are vital for companies because they can improve and enhance business opportunities if the comments can be analyzed in time. The purpose of this work is to determine the best performing machine learning methods to apply sentiment analysis and classify positive and negative comments about the Peruvian restaurant service on Facebook. As the first contribution to this project, two datasets of comments from Peruvian restaurant chain posts on Facebook were created. The second contribution is the proposed methodology divided into two stages: in the first stage, natural language techniques were applied for the pre-processing of comments; In the second stage, the performance of the Naïve Bayes, Random Forest, and SVM algorithms with RBF and Linear cores was analyzed to classify the opinions in the datasets. The experimental results demonstrated that the SVM classifier obtained the best performance in both the training and testing stages with 91.44% and 94% accuracy for the primary and secondary datasets, respectively, proving the viability of the proposed methodology.

KEYWORDS: sentiment analysis / natural language processin / machine learning / vector support machine / Naïve Bayes / Random Forest / restaurant service

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de sentimientos es el estudio computacional de las opiniones de las personas, actitudes y emociones de una entidad. Autores como Ibrahim y Wang (2019) lo definen como un análisis que extrae opiniones, sentimientos y subjetividad de texto no estructurado para identificar las expresiones que indican opiniones positivas o negativas hacia un sujeto. El estudio es muy amplio y se pueden realizar diversos tipos de aplicaciones. Poornima y Priya (2020) afirman que, a través del análisis de sentimientos, se puede realizar un modelado de tópicos, que consiste en identificar palabras clave para resumir una gran cantidad de información textual; por ejemplo, He *et al.* (2016) analizaron opiniones en Facebook sobre una tienda de electrodomésticos identificando diferentes puntos de mejora en la empresa, entre ellos, el detalle de las descripciones de los productos en venta, lo que llevó a un progreso en la demanda. Por otro lado, Ibrahim y Wang (2019) recomendaron a empresas de *retail* mejorar puntos críticos en su servicio, como el tiempo de entrega y de atención, luego de analizar las opiniones de sus clientes en Twitter.

Otra modalidad en el análisis de sentimientos es usar técnicas de *machine learning* para predecir la polaridad de las oraciones o clasificarlas por aspectos o características en común; por ejemplo, en el rubro de restaurantes, el trabajo de Hossain *et al.* (2017) concluyó que el desempeño de un modelo basado en regresión logística rinde mejor con una exactitud del 79 % con comentarios colectados de una página de reseñas sobre la atención de restaurantes de Bangladés, India; en otro estudio, Krishna *et al.* (2019) demostraron que el clasificador de Máquinas de Soporte Vectorial obtuvo el mejor rendimiento con un 94,64 % de exactitud al momento de clasificar reseñas sobre la atención de restaurantes de Estados Unidos por polaridad (positiva o negativa). No obstante, Zahoor *et al.* (2020) determinaron que Random Forest es el mejor clasificador con una exactitud del 94 % para opiniones de clientes sobre el servicio de restaurantes de Karachi, Pakistán. De esta forma, se evidencia que no existe una técnica de *machine learning* general para el análisis de sentimientos aplicado en el rubro de restaurantes. Diversos factores, como la cantidad de comentarios analizados, las técnicas de procesamiento de lenguaje natural empleadas e incluso el idioma del país, son determinantes para la clasificación de los comentarios. Adicionalmente, son pocas las investigaciones enfocadas en el contexto peruano para detectar opiniones positivas o negativas sobre el servicio de venta de comida de restaurantes, sobre todo a través del análisis de comentarios en Facebook. En consecuencia, al no haber muchos trabajos en la literatura enfocados en este tema, no se pueden determinar los métodos de *machine learning* más adecuados para clasificar opiniones positivas o negativas en este contexto.

No obstante, el análisis de sentimientos aplicado en otras áreas ha demostrado ser un método viable para la identificación de aspectos relevantes en opiniones que ayuden a clasificarlas como positivas o negativas. Tradicionalmente, los diversos trabajos propuestos en la literatura comienzan con la preparación de los datos, conformados por comentarios

recolectados en redes sociales u otros medios; sobre estos se aplican técnicas de minería de texto para descubrir conocimiento que no existe explícitamente en el contenido de los datos (He *et al.*, 2016). Actualmente, existe una variedad de trabajos que abordan el análisis de sentimientos de una manera más detallada para obtener mejores resultados. Se trabaja en un preprocesamiento de texto, donde se filtran, tokenizan y derivan los comentarios. (Yulianto *et al.*, 2018). Después, se aplica un extractor de características y se usan algoritmos de *machine learning* como Naïve Bayes, Máquinas de Soporte Vectorial, Random Forest, etcétera, para clasificar las opiniones según la polaridad que se esté trabajando como, a su vez, evaluar el mejor algoritmo (Khan y Zubair, 2020).

Con base en lo mencionado, el objetivo de esta investigación es determinar los métodos de *machine learning* con mejor rendimiento para aplicar análisis de sentimientos y clasificar comentarios positivos y negativos sobre el servicio de restaurantes peruanos en Facebook. Para esto, se crearon dos *datasets* con comentarios que fueron preprocesados con técnicas de procesamiento de lenguaje natural. Posteriormente, se realizaron análisis experimentales con los clasificadores Máquinas de Soporte Vectorial con núcleos RBF y lineal, Naïve Bayes y Random Forest para determinar que técnica de *machine learning* posee un mejor desempeño en el contexto de estudio al momento de clasificar cada comentario como positivo o negativo.

Este trabajo está estructurado de la siguiente manera: en el capítulo 2 se detallará la metodología propuesta, en el capítulo 3 se presentarán los resultados obtenidos de los clasificadores y en el capítulo 4 se compartirán las conclusiones.

2. METODOLOGÍA

En la figura 1, se presenta la metodología propuesta. En primer lugar, se crearon dos *datasets* (primario y secundario) con comentarios de publicaciones de restaurantes con un extractor web. El *dataset* primario es utilizado en las etapas de entrenamiento y de pruebas, mientras que el *dataset* secundario es solo utilizado en la etapa de pruebas para verificar que el clasificador seleccionado generalice de forma adecuada. Para clasificar las opiniones de los clientes, los comentarios colectados pasaron por una etapa de preprocesamiento donde se aplican técnicas de PLN (procesamiento de lenguaje natural) y, posteriormente, se compararon tres de los clasificadores más utilizados en la literatura revisada, los cuales son: Naïve Bayes, Máquinas de Soporte Vectorial y Random Forest. A continuación, se explicará con mayor detalle la metodología propuesta.

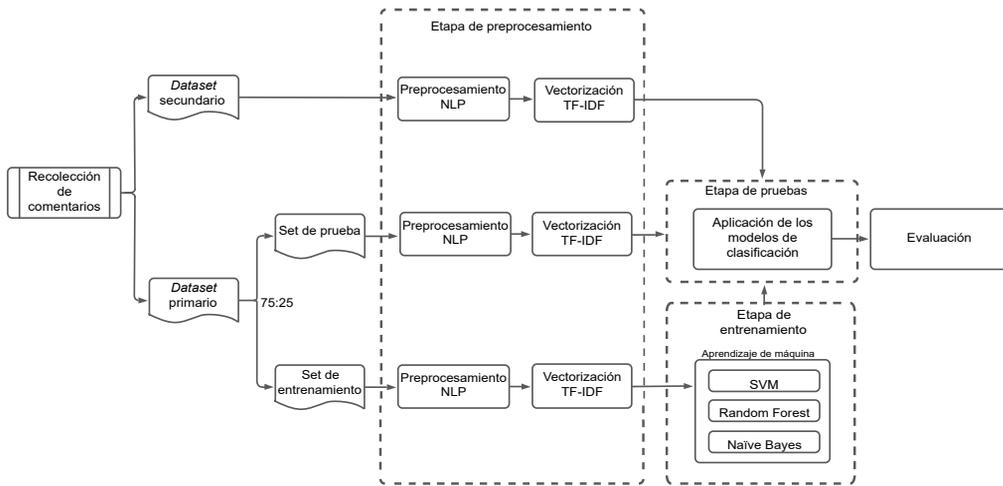


Figura 1. Flujo de metodología
Elaboración propia

2.1 Generación de dataset

Para probar la viabilidad de la metodología propuesta, se crearon dos *datasets* colectados de opiniones en páginas de Facebook pertenecientes a tres cadenas de restaurantes de Lima, Perú, con fechas de publicación desde mayo del 2020 hasta abril del 2021. Se seleccionaron publicaciones en fechas festivas como Día de la Madre, Fiestas Patrias, Navidad, Año Nuevo y otros, donde se puede encontrar una gran cantidad de comentarios con mayor facilidad. Los comentarios hacen referencia a todo el proceso de atención de los restaurantes, desde la recepción del pedido hasta su entrega, sea por medio del restaurante o de terceros (aplicaciones de *delivery*). Para la colecta de comentarios se utilizó un extractor web de la página Exportcomments, donde se coloca el enlace de la publicación y nos devuelve un archivo de extensión “*.xls” con los comentarios.

En el *dataset* primario, los comentarios pertenecen a publicaciones de acceso abierto sobre tres cadenas de restaurantes: Roky’s (280 comentarios), Pardos (717 comentarios) y Don Tito (500 comentarios). A continuación, los comentarios se agruparon en un único *dataset* con 1494 comentarios en total. Después, se etiquetó de forma manual el sentimiento de cada comentario como positivo o negativo dependiendo de la expresión que representa la opinión de los clientes; por ejemplo, si el comentario expresa algún reclamo del servicio o parecido, se etiquetó como negativo; en cambio, si el comentario expresa satisfacción del servicio o parecido, se etiquetó como positivo. En total se etiquetaron 769 comentarios como negativos y 725 comentarios como positivos, formando un *dataset* con datos balanceados que ayudará a evitar problemas de sesgo en la etapa de clasificación. En los comentarios se consideraron

emoticones, jergas, palabras soeces, etcétera. En la tabla 1 se puede observar un fragmento del *dataset*.

De la misma manera, se decidió crear un *dataset* secundario con comentarios que pertenecen a publicaciones de la cadena de restaurantes Norky's, obteniéndose en total 100 comentarios, de los cuales 38 son positivos y 62 negativos. Este *dataset* fue utilizado para analizar el comportamiento del modelo seleccionado en la etapa de pruebas al clasificar un nuevo tipo de comentarios sobre el servicio de un restaurante diferente a los que se usaron para entrenar los modelos propuestos. En la tabla 2 se presenta un fragmento del *dataset*.

Tabla 1
Fragmento del dataset primario

Comentario	Sentimiento
Excelente pollería muy deliciosos y buena atención	1
Muy rico y sabroso	1
Son deliciosos pollos roky mejor comer en familia	1
Siguen dando su aji tradicional? Porque la última vez nos dieron un ají horrible	0
No responden ningún canal de atención	0

Elaboración propia

Tabla 2
Fragmento del dataset secundario

Comentario	Sentimiento
Mejor busco a la tía veneno	0
porque dicen que hay delivery hasta las 9 y el de la avenida mexico ni contesta el telefono... en realidad casi nunca contestan asi sea dia de semana	0
Quiero!!	1
Mejor el pollo es villa chicken	0
que buena promooo	1

Elaboración propia

2.2 Etapa de preprocesamiento aplicando PLN

En esta etapa, los comentarios son convertidos en un formato numérico (vector de características) para que puedan trabajar con las técnicas de *machine learning* y entrenar los modelos

predictivos. Para comenzar, se creó una función llamada *Tokenize* que recibe como parámetro un comentario y realiza las siguientes funciones:

- Permite hacer *stemming* para eliminar los sufijos de las palabras de cada comentario.
- Elimina los signos de puntuación.
- Tokeniza cada oración en unigramas, es decir, divide cada comentario palabra por palabra.

En la figura 2 podemos ver un ejemplo de su implementación paso a paso:

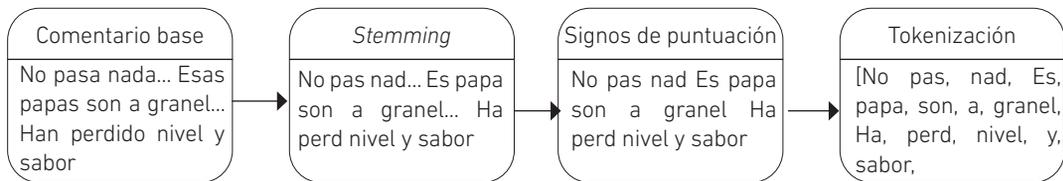


Figura 2. Implementación de *Tokenize* en un comentario
Elaboración propia

Luego, se vectorizó cada comentario para que los algoritmos de *machine learning* puedan recibirlos como parámetros de entrada; para esto se usó el vectorizador TF-IDF que convierte el nivel léxico de los comentarios a numérico dependiendo de la frecuencia de la palabra en el documento (Madasu y Elango, 2020). El vectorizador TF-IDF también considera a los emoticones y su tratamiento es similar a una palabra común. En la tabla 3 se aprecia una parte de la matriz TF-IDF de nuestro *dataset*, donde las columnas representan a las palabras de todos los comentarios ya procesados y las filas representan a cada uno de los comentarios. Si una palabra pertenece a un comentario, se le otorga un puntaje dependiendo de su frecuencia; en caso contrario, se le otorga un puntaje de cero. De la misma manera, se encarga de transformar cada palabra de los comentarios en minúsculas.

Tabla 3
Fragmento de la matriz TF-IDF

	Común	comunic	conchud	concienci	concosc	conf	confi	confirm
0	0,0	0,000000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000000	0,0
1	0,0	0,386243	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000000	0,0
2	0,0	0,000000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000000	0,0
3	0,0	0,000000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000000	0,0
4	0,0	0,000000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,538901	0,0

Elaboración propia

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este punto se presentan los resultados obtenidos de la propuesta de solución, comenzando por los protocolos que se siguieron en la experimentación, los hiperparámetros usados para los algoritmos de aprendizaje de máquina, los valores obtenidos de la validación cruzada en la etapa de entrenamiento y las métricas de rendimiento del modelo de predicción elegido en la etapa de pruebas.

3.1 Protocolo de experimentación

En esta parte se definieron algunos pasos que siguieron todos los modelos por igual al momento de su construcción. Para comenzar, el *dataset* primario se dividió de forma aleatoria en un 75 % para el set de entrenamiento y un 25 % para el set de pruebas. Después se probaron y combinaron distintos valores de hiperparámetros correspondientes a los algoritmos de Naïve Bayes, Random Forest y Máquinas de Soporte Vectorial (SVM, por sus siglas en inglés) con sus núcleos RBF y lineal; y se eligieron los que otorgaron una mejor exactitud. A continuación, en la tabla 4 se pueden apreciar los hiperparámetros utilizados en cada algoritmo y sus definiciones:

Tabla 4
Hiperparámetros de prueba

Algoritmo	Hiperparámetros	Definición
SVM lineal y RBF	C: [1,10,100,1000,10000]	Costo de clasificación errónea
SVM RBF	Gamma: [0.0001, 0.001, 0.01, 0.1, 0.2, 0.5, 0.6, 0.9]	
	Intensidad de curvatura en el límite de decisión	
Naïve Bayes	Alpha: [1, 0.1, 0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001]	
	Valor que aborda el problema de tener una probabilidad cero	
Random Forest	Max Depth: [3, 5, 10, 25]	Número de profundidad máxima que pueden alcanzar los árboles
	Max Features: [3, 5, 10, 20]	Número de características para tener en cuenta a la hora de buscar el mejor Split
	Max Simple Slipt: [3, 5, 10]	Número máximo de muestras necesarias para dividir un nodo interno.
	N Estimators: [100, 300]	Número de árboles que se van a incluir en el modelo.

Elaboración propia

3.2 Modelos experimentales

Se aplicó el método *grid search* para obtener la mejor combinación de hiperparámetros. Para las Máquinas de Soporte Vectorial, con núcleo Lineal, el hiperparámetro seleccionado fue de $C = 1$; para las Máquinas de Soporte Vectorial, con núcleo RBF, los hiperparámetros seleccionados fueron $C = 100$ y $\gamma = 0,01$; para Naïve Bayes el hiperparámetro seleccionado fue de $\text{Alpha} = 1$ y en el caso de Random Forest los hiperparámetros seleccionados fueron de $\text{Max Depth} = 25$, $\text{Max Features} = 10$, $\text{Min Samples Split} = 5$ y $\text{N Estimators} = 100$.

3.3 Resultados en la etapa de entrenamiento

En la etapa de entrenamiento se buscó elegir el modelo más estable con un mayor porcentaje de exactitud. Se utilizó la técnica de validación cruzada en el set de entrenamiento para cada modelo predictivo con una división de $k\text{fold} = 10$. Dentro de cada división se seleccionó una pequeña parte llamada set de validación, en la cual el modelo predijo el sentimiento de los comentarios de este set. Este paso se repite en cada división y se obtuvo el promedio total de las exactitudes y la desviación estándar que nos indica la estabilidad de cada modelo.

En la tabla 5 se aprecian las exactitudes de cada modelo; para las Máquinas de Soporte Vectorial RBF, el máximo valor fue de 92,85 % y el menor fue de 88,39 %; en las Máquinas de Soporte Vectorial Lineal, el máximo valor fue de 94,64 % y el menor fue de 89,28 %; para Naïve Bayes, el máximo valor fue de 96,42 % y el menor fue de 85,71 %; en Random Forest, el máximo valor fue de 94,64 % y el menor fue de 80,35 %. Además, se pueden observar los promedios de las exactitudes y las desviaciones estándar de cada modelo. Según los resultados, el modelo predictivo de aprendizaje de máquina Máquinas de Soporte Vectorial (SVM, por sus siglas en inglés) con kernel Linear obtuvo la mayor exactitud con 91,70 % y una desviación estándar de 0,02, indicando que cuenta con buena estabilidad.

Tabla 5
Validación de los clasificadores (porcentajes)

K-Fold	SVM RBF	SVM Lineal	Naïve Bayes	Random Forest
1	91,96	90,17	95,53	82,14
2	91,07	91,07	88,39	87,50
3	92,85	92,85	84,82	80,35
4	93,75	94,64	87,50	94,64
5	91,96	94,64	88,39	92,85
6	90,17	91,07	85,71	88,39
7	89,28	90,17	96,42	82,14
8	90,17	89,28	88,39	84,82

(continúa)

(continuación)

9	88,39	91,07	88,39	90,17
10	92,85	91,96	91,07	89,28
Promedio exactitud	91,25	91,70	89,46	87,05
Desviación estándar	0,02	0,02	0,04	0,04

Elaboración propia

Podemos determinar que el modelo de las Máquinas de Soporte Vectorial lineal demuestra que puede clasificar en la mayoría de los casos con diversos tipos de comentarios con una exactitud generalizada. Según Islam *et al.* (2017), esto es debido a que las Máquinas de Soporte Vectorial, en todos sus núcleos como lineal, RBF y polinomial, cuenta con un tipo de “protección automática” ante posibles casos de *overfitting*, haciendo que su rendimiento sea el mejor en la validación cruzada en comparación de los otros modelos.

3.4 Resultados en la etapa de pruebas y evaluación

En la tabla 6 se puede apreciar que en el caso del set de pruebas del *dataset* primario, SVM Lineal obtuvo la mayor exactitud con un 91,44 % y un F1-Score de 0,91. Para el caso del *dataset* secundario, SVM Lineal y RBF obtuvieron la mayor exactitud con un 94 % y un F1-Score de 0,92 para ambos clasificadores.

Tabla 6
Reporte de clasificación

Clasificador	<i>Dataset</i>	Precisión	Exhaustividad	F1-Score	Exactitud
SVM RBF	Primario	0,91	0,91	0,91	90,90
	Secundario	0,92	0,92	0,92	94,00
SVM lineal	Primario	0,92	0,91	0,91	91,44
	Secundario	0,92	0,92	0,92	94,00
Naïve Bayes	Primario	0,94	0,87	0,90	90,64
	Secundario	0,94	0,87	0,90	93,00
Random Forest	Primario	0,92	0,85	0,88	88,50
	Secundario	0,91	0,81	0,86	90,00

Elaboración propia

En la tabla 7 se aprecia la matriz de confusión del modelo de las Máquinas de Soporte Vectorial lineal en el set de pruebas del *dataset* primario. De los 184 comentarios negativos, 14

fueron clasificados de forma incorrecta, y de los 190 comentarios positivos, 18 fueron clasificados de forma incorrecta.

Tabla 7
Matriz de confusión del set de pruebas del dataset primario

Actual	Predicción	
	SVM lineal	
	Negativos	170
	Positivos	18
		Positivos
		172

Elaboración propia

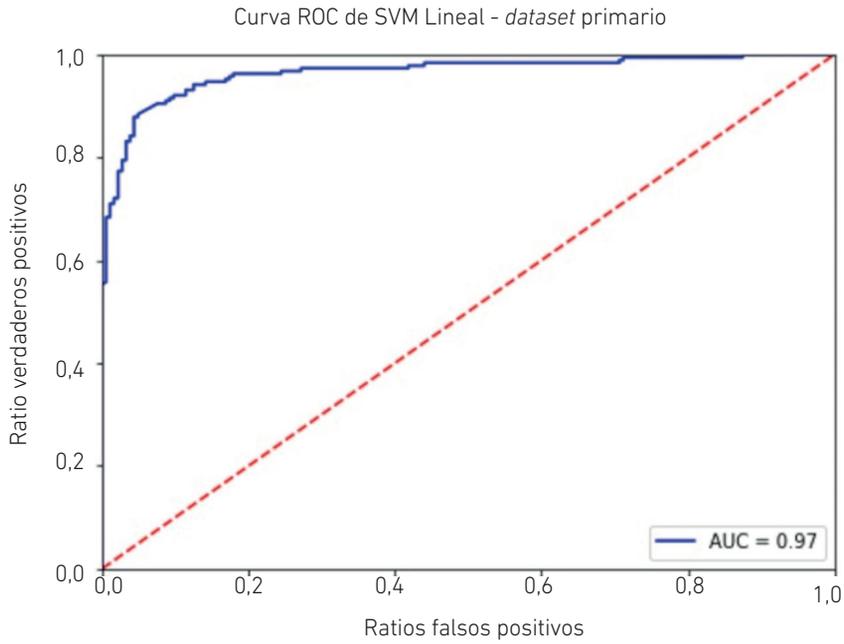
En la tabla 8 se observa la matriz de confusión del modelo de las Máquinas de Soporte Vectorial Lineal en el *dataset* secundario. De los 62 comentarios negativos, 3 fueron clasificados de forma incorrecta, y de los 38 comentarios positivos, 3 fueron clasificados de forma incorrecta.

Tabla 8
Matriz de confusión del dataset secundario

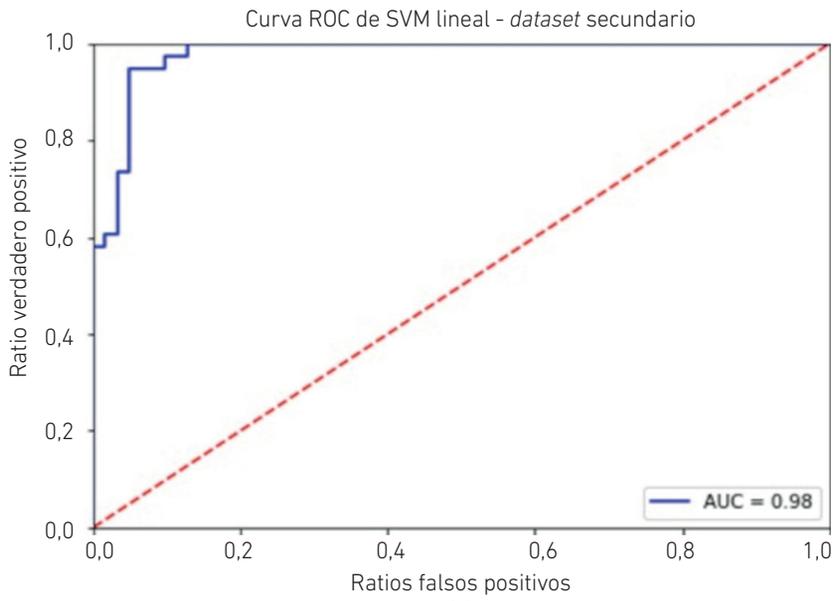
Actual	Predicción	
	SVM lineal	
	Negativos	59
	Positivos	3
		Positivos
		35

Elaboración propia

En la figura 3 se presentan las curvas ROC y AUC del modelo de las Máquinas de Soporte Vectorial con núcleo lineal en los dos escenarios. En el set de pruebas del *dataset* primario se tiene un AUC de 0,97; esto nos quiere decir que un comentario negativo seleccionado aleatoriamente tiene un mayor valor de prueba que uno seleccionado aleatoriamente de los comentarios positivos en el 97 % de las veces. Para el *dataset* secundario se obtuvo un AUC de 0,98; esto significa que un comentario negativo seleccionado aleatoriamente tiene un mayor valor de prueba que uno seleccionado aleatoriamente de los comentarios positivos en el 98 % de las veces.



(a)



(b)

Figura 3. (a) Curvas ROC y (b) AUC de los datasets

Elaboración propia

Finalmente, se analizaron los comentarios del *dataset* secundario y del set de pruebas del *dataset* primario que fueron clasificados erróneamente por el modelo de las Máquinas de Soporte Vectorial con núcleo lineal como falsos positivos; algunos comentarios fueron: “Mejor sirven en el corralito”, “Pollo Corralito ... el mejor ...”, “Mejor busco a la tía veneno”, “Mejor el pollo es villa chicken”. Como se puede apreciar, los comentarios que hacen referencia a los servicios de las competencias “Corralito” y “Villa Chicken” son clasificados de forma incorrecta; una de las razones es por la palabra “Mejor” que tiene una gran relación con varios comentarios verdaderos positivos y que fueron parte del entrenamiento del modelo.

Como falsos negativos algunos comentarios fueron: “Acabo de pedir por fchat llego al toque buenaso”, “Todas las semanas siempre compro por delivery son raudo para entrega amabilidad y cumplidos”, “Diosito el ají de pardos”, “Fanática del pollo norkys”, “Norkys es uno de los mejores por la q está en lince 21 de la Av Arequipa... felicitaciones al brasero ...”. En estos casos se puede observar que las fallas ortográficas pueden hacer que los modelos clasifiquen de forma incorrecta, como en el caso de “fchat”, “raudo”, “q”. Así como también, se puede apreciar un emoticón que tiene un significado ambiguo para el modelo debido a que aún no se realiza un tipo de análisis semántico.

A continuación, en la tabla 9 se presenta una comparación de resultados con otras investigaciones que utilizaron metodologías similares. Los trabajos de Zahoor *et al.* (2020) y Krishna *et al.* (2019) obtuvieron buenas exactitudes de sus algoritmos propuestos en sus investigaciones en restaurantes de Karachi y Estados Unidos respectivamente. Además, en el trabajo de Zahoor *et al.* (2020) el algoritmo que obtuvo una mayor exactitud fue el de Máquinas de Soporte Vectorial (SVM, por sus siglas en inglés) con un 94,56 %, mismo algoritmo que predominó en nuestra metodología propuesta, pero aplicada a opiniones sobre el servicio de restaurantes peruanos con una exactitud de 91,44 % en su núcleo Lineal.

Tabla 9
Comparación de resultados con otros autores (porcentajes)

Autores	Dataset	Algoritmos	Exactitud
Zahoor <i>et al.</i> (2020)	"SWOT's Karachi Restaurant Reviews"	Naïve Bayes	92
		SVM	92
		Random Forest	93
		Regresión Logística	95
Krishna <i>et al.</i> (2019)	Dataset de reseñas de un restaurante de Estados Unidos	Naïve Bayes	89,13
		SVM	94,56
		Random Forest	93,32

(continúa)

(continuación)

Hossain <i>et al.</i> (2017)	Dataset de reseñas de restaurantes de Bangladés	Naïve Bayes	77
		SVM	73
		KNN	75
		Regresión Logística	79
Metodología propuesta	Dataset propio de reseñas de restaurantes peruanos	Naïve Bayes	90,64
		SVM RBF	90,90
		Random Forest	88,50

Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se propuso un análisis comparativo de técnicas de *machine learning* para clasificar opiniones sobre el servicio de restaurantes peruanos en Facebook. Para este propósito, se recolectaron comentarios de publicaciones de restaurantes peruanos con un extractor web para elaborar dos *datasets*. Después, los textos fueron preprocesados con técnicas de procesamiento de lenguaje natural (*Tokenize*, *Stemming*, *Lower Case* y *Stop Words*). Con uno de los *datasets*, se entrenaron modelos predictivos con los algoritmos de *machine learning* de Naïve Bayes, Random Forest y Máquinas de Soporte Vectorial con núcleos RBF y Lineal. La mayor exactitud lo obtuvo el modelo de Máquinas de Soporte Vectorial lineal con un 91,44 % para el set de pruebas del *dataset* primario. De la misma manera, con el segundo *dataset* se buscó analizar el comportamiento de los anteriores modelos ante opiniones de un restaurante diferente a los del primer *dataset*, donde se presenta un empate en la exactitud en los modelos de Máquinas de Soporte Vectorial RBF y Lineal con un 94 %.

El análisis experimental nos demuestra que los algoritmos de aprendizaje de máquina de las Máquinas de Soporte Vectorial con núcleos RBF y lineal poseen mejor desempeño al momento de clasificar comentarios sobre el servicio de restaurantes peruanos en Facebook, obteniendo resultados superiores en los dos *datasets* de elaboración propia, demostrando la viabilidad de la metodología propuesta. Como trabajo futuro se puede ampliar el tamaño del *dataset* y el número de etiquetas (sentimientos) para así poder trabajar con redes neuronales artificiales, así como también comparar otros tipos modelos de aprendizaje de máquina, clasificar opiniones pertenecientes a otras redes sociales y realizar otros tipos de análisis como el modelado de tópicos.

REFERENCIAS

- He, W., Zha, S., y Li, L. (2016). Social Media Competitive Analysis and Text Mining: A Case Study in the Pizza Industry. *International Journal of Information Management*, 33(3), 464-472. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2013.01.001>
- Hossain, F. M. T., Hossain, M. I., y Nawshin, S. (2017). Machine Learning Based Class Level Prediction of Restaurant Reviews. *2017 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*, 420-423. <https://doi.org/10.1109/R10-HTC.2017.8288989>
- Ibrahim, N. F., y Wang, X. (2019). A Text Analytics Approach for Online Retailing Service Improvement: Evidence from Twitter. *Decision Support Systems*, 121, 37-50. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.03.002>
- Islam, M., Jubayer, F., y Ahmed, S. (2017). A Support Vector Machine Mixed with TF-IDF Algorithm to Categorize Bengali Document. *2017 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, 191-196. <https://doi.org/10.1109/ecace.2017.7912904>
- Khan, A. H., y Zubair, M. (2020). Classification of Multi-Lingual Tweets, into Multi-Class Model Using Naïve Bayes and Semi-Supervised Learning. *Multimedia Tools and Applications*, 79(43-44), 32749-32767. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09512-2>
- Krishna, A., Akhilesh, V., Aich, A., y Hegde, C. (2019). Sentiment Analysis of Restaurant Reviews Using Machine Learning Techniques. En V. Sridhar, M. Padma y K. Rao (Eds.), *Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology* (pp. 687-696). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5802-9_60
- Madasu, A., y Elango, S. (2020). Efficient Feature Selection Techniques for Sentiment Analysis. *Multimedia Tools and Applications*, 79(9-10), 6313-6335. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08409-z>
- Poornima, A., y Priya, K. S. (2020). A Comparative Sentiment Analysis of Sentence Embedding Using Machine Learning Techniques. En *2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS*, 493-496. <https://doi.org/10.1109/ICACCS48705.2020.9074312>
- Yulianto, M., Girsang, A. S., y Rumagit, R. Y. (2018). Business Intelligence for Social Media Interaction in the Travel Industry in Indonesia. *Journal of Intelligence Studies in Business*, 8(2), 77-84. <https://doi.org/10.37380/JISIB.V8I2.323>
- Zahoor, K., Bawany, N. Z., y Hamid, S. (2020). Sentiment Analysis and Classification of Restaurant Reviews Using Machine Learning. *2020 21st International Arab Conference on Information Technology (ACIT)*. <https://doi.org/10.1109/ACIT50332.2020.9300098>

Identificación de expertos como fuente de conocimiento en las organizaciones

Álvaro Antonio Aures García

aauresg@gmail.com / <https://orcid.org/0000-0003-2433-5094>

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú

Adelaida Estela Balvín Landeo

stell.landeo@gmail.com / <https://orcid.org/0000-0002-9869-3858>

Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), Lima, Perú

Recibido: 1/8/2021 Aceptado: 9/9/2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5579>

RESUMEN. El artículo contextualiza la identificación de expertos en las organizaciones que gestionan proyectos de envergaduras notables en su sector, por medio del mapeo de los coeficientes de competencias que se encuentran circunscritos, en primera instancia, a su trayectoria profesional y seguidamente al dominio avanzado sobre una temática en particular que haya tenido el reconocimiento por sus pares. A efectos de asociarlo a un entorno de demanda de conocimientos específicos, con profesionales altamente activos y motivados por aprender y solucionar problemas, que confluyen en una comunidad de aprendizaje sostenible.

La investigación expuesta en el artículo hace referencia a una propuesta metodológica de identificación de expertos basada en la literatura que involucra un conjunto de conceptos de la gestión del conocimiento en el marco de trabajo de las organizaciones, enfatizando especialmente en la identificación y valorización del conocimiento experto para mejorar la competitividad de los equipos de proyectos y facilitar la innovación en entornos altamente colaborativos. Tomando como referencia lo señalado, el estudio evaluó a un conjunto de profesionales directivos y coordinadores de proyectos que laboran en diversas instituciones.

PALABRAS CLAVE: gestión del conocimiento / conocimiento experto / páginas amarillas de expertos

IDENTIFICATION OF EXPERTS AS A SOURCE OF KNOWLEDGE IN ORGANIZATIONS

Abstract. The article contextualizes the identification of experts in organizations that manage significant projects in their sector by mapping limited competence coefficients, in the first instance, to their professional background and then to the advanced domain on a particular topic recognized by their professional background peers. To associate it in an environment of demand for specific knowledge with highly active professionals motivated to learn and solve problems that converge in a sustainable learning community.

The research refers to a methodological proposal for the identification of experts based on literature that involves a set of concepts of knowledge management in the framework of organizations, with particular emphasis on the identification and valorization of expert knowledge to improve the competitiveness of project teams and facilitate innovation in highly collaborative environments. Concerning the mentioned, the study focused on the evaluation of professionals and project management coordinators.

KEYWORDS: knowledge management / expert knowledge / expert yellow pages

1. INTRODUCCIÓN

La conjunción de la gestión del conocimiento y las plataformas tecnológicas se ha convertido en la actualidad en un factor diferenciador y de valor en la producción y competitividad de las organizaciones porque les permite localizar y transferir el conocimiento entre los diversos actores que componen su cadena de valor productiva, mejorando e innovando los productos o servicios que ofertan al mercado global. Esto ha llevado a que las organizaciones incorporen paulatinamente en su gestión herramientas y métodos para identificar y organizar los dominios de conocimientos existentes en los expertos con la finalidad de posibilitar que cualquier miembro o equipo de proyecto interactúe con ellos de manera rápida y oportuna.

Teniendo como base lo mencionado, el artículo señala de manera explícita la identificación de expertos con coeficientes de competencias altas para mejorar el marco de trabajo de los equipos de proyectos de cualquier organización. La identificación de este tipo de profesional se circunscribe a través de un enfoque metodológico constituido por tres etapas: (i) el diagnóstico situacional cognitivo que determina los aspectos claves que gobiernan la localización, adquisición y transferencia del conocimiento individual y grupal con el experto; (ii) la taxonomía que se circunscribe a identificar las temáticas de poco dominio o de falta de conocimiento por los diversos actores de una organización; y (iii) la valoración del conocimiento experto en base a un estudio de coeficientes de competencias que permite a las organizaciones identificar a los expertos con trayectoria y dominio en el tema, reconocidos por sus pares, y cualificados para brindar información objetiva sobre una determinada consulta.

Es importante señalar que la identificación del experto está cimentada en el desarrollo de una metodología que involucra los conceptos de la gestión del conocimiento y las pruebas sistemáticas realizadas a los diferentes equipos de proyectos que vienen laborando en diversas instituciones a nivel nacional e internacional.

2. MARCO TEÓRICO

Uno de los puntos focales en el desarrollo de la investigación se relaciona con el análisis del material bibliográfico de la gestión del conocimiento en el ámbito organizacional, desde modelos vinculados con el aprendizaje colaborativo hasta el desarrollo de redes de expertos, con la finalidad de validar la importancia de la localización del conocimiento clave en la organización para solucionar los problemas de manera efectiva, generando de esta manera ventajas competitivas en su espectro de actuación.

2.1 Contexto de la gestión del conocimiento

La importancia creciente de aplicar estrategias globalizadas, con base en el entorno competitivo, está requiriendo constantemente que las organizaciones renueven sus flujos de información y

conocimiento en sus actividades productivas con la finalidad de innovar en su gestión. Según Bueno (1998), citado por Archibold y Escobar (2015), las diferencias competitivas de las organizaciones se están cimentando en gran medida en las interacciones sociales con las personas, a nivel intraorganizacional, que buscan continuamente conocimientos con sus pares para solucionar determinados problemas y aumentar su capacidad cognitiva.

Es importante manifestar que los inicios de la gestión del conocimiento se enmarcaron principalmente en las organizaciones privadas, debido a que muchas de estas utilizaron las tecnologías de la información para evolucionar y adaptarse rápidamente a las nuevas necesidades de su entorno competitivo en función del conocimiento de valor que incorporaron a los productos, bienes y servicios que ofertan al mercado (Pérez, 2016).

Para Sveiby *et al.* (2015), la innovación en las empresas se logra a través de un conocimiento accesible en los diferentes niveles organizacionales porque a partir de este elemento intangible se crean productos basados en el conocimiento que van generando nuevas competencias y beneficios competitivos. Es decir, la innovación está fuertemente condicionada por la capacidad de cooperar, valorar la experiencia, aplicar el aprendizaje y la forma en que se tiene organizado el conocimiento dentro de una organización.

Del mismo modo, Wiig, citado por Mohajan (2017), hace referencia a que el conocimiento consiste en identificar adecuadamente los hechos, conceptos, perspectivas y metodologías que se acumulan e integran en largos periodos de tiempo para su disponibilidad efectiva ante problemas y situaciones específicas. En el caso de una organización, el autor menciona que el conocimiento creado, utilizado y transferido adecuadamente tiene un impacto significativo en sus fronteras competitivas debido a que genera toma de decisiones adecuadas para su inserción en nuevos mercados.

En relación con lo mencionado, los autores enfatizan que las organizaciones actualmente están recurriendo al conocimiento generado en su entorno para incrementar las brechas competitivas con sus competidores, haciendo uso de las tecnologías de la información y respondiendo con efectividad las demandas de los clientes y consumidores en diversos periodos.

2.2 Modelos de la gestión del conocimiento

Existen una variedad de modelos de gestión del conocimiento en el contexto de la literatura internacional; sin embargo, para la propuesta metodológica de identificación de expertos en las organizaciones se tomaron como referencia los siguientes modelos:

- *Modelo de Karl Wiig*

Según Wiig, citado por Mohajan (2017), existen tres formas de conocimiento que deberán ser analizadas y consideradas por las organizaciones para mantener su competitividad

sosteniblemente: conocimiento público, conocimiento experto compartido y conocimiento personal. En el caso del conocimiento experto compartido, es sostenido exclusivamente por los trabajadores del conocimiento y se comparte dentro de los ámbitos organizacionales a través de plataformas tecnológicas como las páginas amarillas de expertos.

- *Modelo de Nonaka y Takeuchi*

El modelo hace una representación de los procesos de transformación del conocimiento, en sus diferentes etapas: socialización, exteriorización, combinación e interiorización; que son vistas y articuladas generalmente por los profesionales que realizan actividades de investigación o proyectos con sus pares dentro y fuera de una organización (Nonaka y Takeuchi, 2009).

Arambarri (2014) hace mención de un conjunto de procedimientos de gestión del conocimiento basados en los principios de Nonaka y Takeuchi para que las organizaciones implementen entornos colaborativos que visen la viabilidad de trabajar en proyectos geográficamente dispersos, con equipos externos, a efectos de crear, gestionar y transferir conocimiento en un único espacio.

- *Modelo de Arthur Andersen*

Modelo citado por Flores y Ochoa (2016), el cual circunscribe un conjunto de factores estratégicos de la gestión del conocimiento para fortalecer el ámbito de acción de una organización que aprende y que busca la innovación dentro y fuera de sus fronteras competitivas. Asimismo, el autor hace hincapié en que las organizaciones deberán focalizarse en la construcción de comunidades de práctica o desarrollar las capacidades cognitivas entre las personas y equipos para generar nuevos conocimientos antes de invertir en tecnologías de la información.

- *Modelo de Choo*

Para Choo (2016), el conocimiento es un componente que a través del tiempo ha generado valor para una organización inteligente porque resalta el uso adecuado de las lecciones aprendidas y la toma de decisiones inteligentes como pilares fundamentales para la innovación. Este modelo se centra en la selección e incorporación de fuentes de información y conocimientos en la propia gestión de la organización y asimilada en su entorno competitivo.

- *Modelo de Holsapple y Joshi*

Holsapple y Joshi, citado por Marin y Zarate (2008), unifican los diferentes enfoques de la gestión del conocimiento en tres dimensiones fundamentales: (a) los recursos del conocimiento; (b) las actividades inherentes a la gestión del conocimiento; y (c) los factores de influencia.

En relación con la primera dimensión, el autor hace mención del conocimiento de las personas como fuentes esenciales de productividad, competitividad e innovación en las tareas funcionales de la organización y que estos pueden ser capitalizados a través de las tecnologías de la información como un elemento dominante para transferirlos a todos los ámbitos que se requieran, ya sea por portales corporativos, redes de expertos, entre otros (Alavi y Leidner, 2001).

2.3 Conocimiento experto en las organizaciones

Uno de los primeros conceptos de “expertos” fue realizado por el científico Niels Bohr, quien lo definió como la persona que a lo largo de su trayectoria profesional y académica ha tenido errores en su campo de estudio o de trabajo fortaleciéndose y aprendiendo de estos. Por tal razón, la competencia experta adquirida por una persona lo califica como un ente de consulta práctico y experimentado para orientar y solucionar determinados problemas.

Sin lugar a dudas, el experto es aquella persona identificable por sus conocimientos que destaca entre un conjunto de profesionales y es considerado por sus pares como una fuente confiable de habilidades y experiencias para asesorar casos específicos de acuerdo a su espectro de actuación. Para Robles y Rojas (2015), los expertos se caracterizan por complementar habilidades y conocimientos especializados producto de un conjunto de errores y prácticas exitosas sobre una actividad en particular.

Para las empresas del sector público y privado, el juicio de expertos es una de las herramientas que ayuda a definir estrategias y acciones de competitividad con relación al desarrollo de nuevos productos y servicios que desean brindar a un mercado global. La fiabilidad de la opinión de una persona, reconocida como experto por sus pares, generalmente coadyuva a definir los límites de acción de una estrategia, mejorar los procesos productivos o desarrollar nuevas soluciones innovadoras en favor de la organización, manteniéndola continuamente en un espacio altamente competitivo.

Para Cabero y Llorente (2013), el conocimiento de los expertos permite que las organizaciones tengan una amplia información sobre las temáticas de estudio a efectos de tomar decisiones basadas en su aprendizaje. Sin embargo, debemos mencionar que los expertos utilizan una serie de criterios estructurados del conocimiento que apoyan la emisión de opiniones informadas sobre un determinado tema con evidencia, juicios y valoraciones.

2.4 Páginas amarillas de expertos en las organizaciones

Uno de los temas abordados por Drucker (2006) fue el denominado “trabajador del conocimiento” que produce continuamente conocimientos e ideas para mejorar las acciones productivas de una organización, identificando a través de nuevas experiencias, sus fortalezas y debilidades para aprender y desarrollar nuevas capacidades cognitivas en favor de la competitividad organizacional.

Para Prada (2005), las redes forjadas a través del conocimiento establecen vínculos formales e informales de trabajo y de aprendizaje continuo entre las diferentes personas que desarrollan actividades en común. Sin embargo, para alcanzar dichos objetivos las relaciones entre las personas expertas y novatas no deben ser únicamente bilaterales, sino integrales de acuerdo al rol que desempeñan dentro de la organización.

Se infiere de los conceptos señalados que la construcción, el desarrollo y la socialización de conocimientos deben ser soportados por herramientas tecnológicas y procedimientos de gestión adecuados con la finalidad de abrir la acción del conocimiento hacia los objetivos estratégicos, productivos y competitivos de una organización. Según Angulo (2007), las páginas amarillas de expertos permiten identificar los datos básicos de un experto, sus redes de contactos, intereses personales y la descripción de su experiencia en la ejecución de los proyectos en los que ha participado dentro y fuera de la organización, con la finalidad de recurrir a ellos en línea y obtener información acerca de cómo resolver una eventualidad producida en la gestión de proyectos, áreas administrativas o de investigación, destacando su experiencia y competencia sobre determinado tema.

3. METODOLOGÍA DE IDENTIFICACIÓN DE EXPERTOS

La investigación propone una metodología para identificar expertos que gestionan proyectos de envergaduras notables en sus organizaciones, con enfoque de la gestión del conocimiento, tomando como precepto los conceptos emitidos por los autores Wiig, Choo, Holsapple, Andersen, Nonaka y Takeuchi, entre otros, que en su conjunto proveen de un arquetipo de identificación de expertos a nivel organizacional.

Ante lo expuesto, el artículo expone en su tenor un marco metodológico que contempla tres elementos claves para identificar al experto en cualquier ámbito organizacional y que a través de este proceso se puede sistematizar posteriormente por medio de una página amarilla de experto.



Figura 1. Marco metodológico para identificar expertos
Elaboración propia

3.1 Diagnóstico

Uno de los primeros puntos por considerar es el diagnóstico situacional cognitivo de los colaboradores o profesionales de una organización con la finalidad de determinar los aspectos claves que gobiernan la localización, adquisición y transferencia del conocimiento individual y grupal con el experto.

Para realizar un diagnóstico, debemos considerar los diferentes procesos (véase la figura 2) que involucran el conocimiento de los expertos con el fin de determinar la transferencia de lo aprendido a nivel grupal y organizacional.

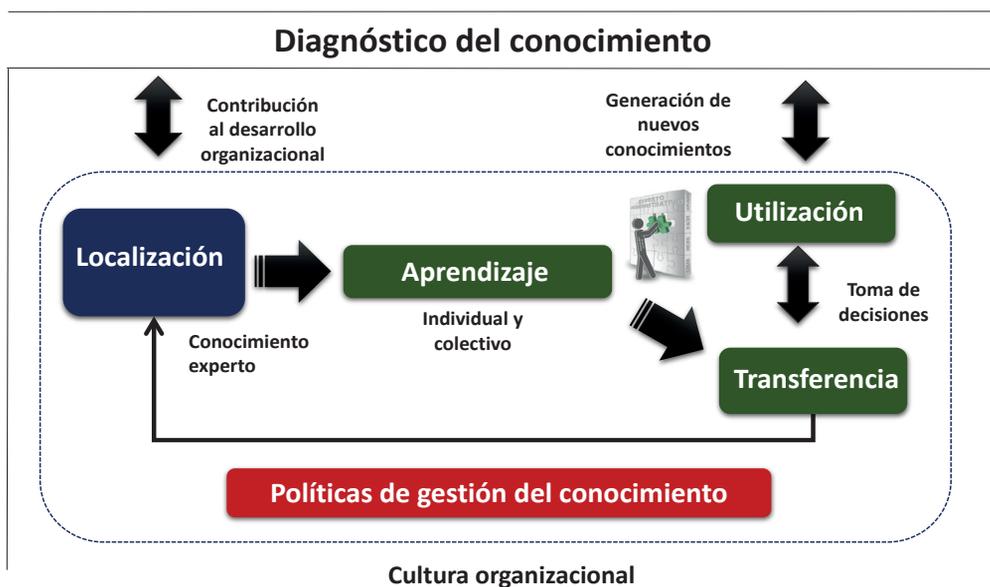


Figura 2. Procesos del diagnóstico situacional del conocimiento

Fuente: Adaptado de Bellinza *et al.* (2011) y Probst (2001)

3.2 Taxonomía

Con base en los conceptos estipulados anteriormente, podemos inferir que la taxonomía que se vaya a utilizar en cualquier ámbito organizacional estará circunscrita a un modelo de red de gestión del conocimiento cuyo tenor conceptual se focaliza en la localización del activo de conocimiento, transferencia del conocimiento y aprendizaje colectivo entre los diversos actores que gestionan proyectos, programas y otros dentro de la organización (Phillip, 2017).

La figura 3 expresa la vinculación unívoca entre los grupos de trabajo, haciendo uso de redes de intercambio de experiencias para generar nuevas ideas y acciones estructuradas importantes y estratégicas para cada organización, coadyuvando, de esta manera, a la elaboración de productos y servicios que ofrecen a la sociedad.

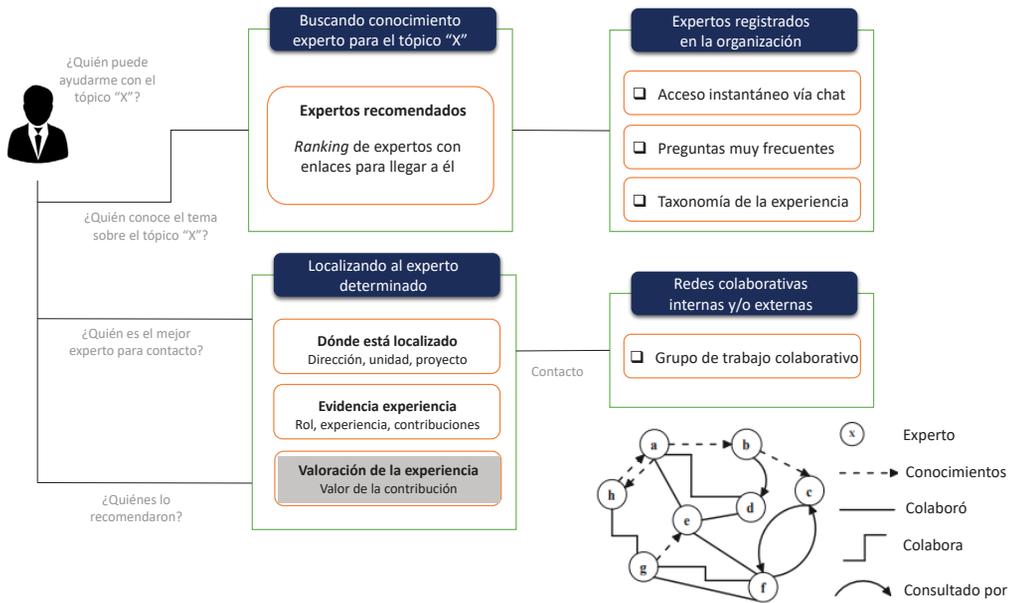


Figura 3. Taxonomía para la identificación del experto
Elaboración propia

3.3 Valoración

La valoración del conocimiento experto es un instrumento útil que permite a las organizaciones identificar profesionales o personas con trayectoria en el tema, reconocidas por sus pares y cualificadas para brindar información objetiva sobre una determinada consulta.

Para validar lo señalado, en primer lugar debe analizarse si los profesionales entrevistados tienen experiencia en el sector académico, público y privado con el fin de determinar los procesos de crecimiento profesional. En segundo lugar, definir la frecuencia de consultas que se realizan al profesional entrevistado con la finalidad de obtener conocimientos que le permita solucionar un problema identificado en el marco de la gestión de proyectos u otro.

Posteriormente, se debe proceder a evaluar el coeficiente de competencia experta (K), sobre los temas en los cuales se les ha realizado continua consulta, con la finalidad de identificar las competencias más significativas del profesional en el marco de la gestión de proyectos u otro. Asimismo, se deben definir los valores de las fuentes de argumentación (coeficiente de argumentación, Ka) en función de las respuestas que emiten los profesionales en cada uno de los temas sobre los que serán entrevistados (Almenara y Osuna, 2013).

Tabla 1
Valoración de las fuentes de argumentación para determinar Ka

Fuente de argumentación	Grado de influencia sobre los temas objeto de estudio		
	Alto	Medio	Bajo
• Investigaciones que se realizaron en los temas expuestos en la entrevista	0,3	0,2	0,1
• Conocimiento experto generado a través de la actividad profesional	0,5	0,4	0,2
• Publicaciones con profesionales locales y nacionales	0,05	0,05	0,05
• Publicaciones con profesionales extranjeros sobre las temáticas expuestas en la entrevista	0,05	0,05	0,05
• Conocimiento de la problemática de manera fiable y objetiva	0,05	0,05	0,05
• Uso de herramientas o intuición para solucionar el problema	0,05	0,05	0,05

Elaboración propia

Es importante mencionar que la valoración del conocimiento permite en una primera instancia seleccionar y conocer a los expertos que están relacionados con los temas de dominio y, en segundo lugar, comprobar la racionalidad y coherencia de las opiniones emitidas ante determinado problema haciendo uso del coeficiente de competencia experta.

4. RESULTADOS

Para validar la metodología propuesta se entrevistó a un conjunto de profesionales directivos pertenecientes a diversas organizaciones rectoras en su sector y que gestionan proyectos y programas de envergadura nacional, siendo muchos de ellos directores, jefes o coordinadores de proyectos.

Uno de los primeros pasos fue la realización del diagnóstico situacional del conocimiento en las unidades u oficinas de gestión de proyectos de las organizaciones que fueron objeto de estudio, observándose en todas ellas que los equipos de proyectos no realizaban adecuadamente la localización del conocimiento experto por tres factores fundamentales: (a) desconocimiento de los expertos temáticos en su organización; (b) insatisfacción de la transferencia del “conocimiento experto” hacia los equipos de proyectos para solucionar de manera conjunta problemas; y (c) los pocos expertos identificados dentro y fuera de la organización no transferían el conocimiento por falta de políticas de colaboración y comunicación que coadyuven a obtener un aprendizaje colectivo.

Como respuesta a lo mencionado, los equipos de proyectos no generaban redes de colaboración con expertos, ya que, según los entrevistados, dichos expertos, en muchos casos, no respondían a sus requerimientos o simplemente emitían opinión muy subjetiva sobre el problema que se quería solucionar.

En el marco de la taxonomía de la gestión de proyectos, se identificaron los procesos y los activos de conocimiento utilizados por los equipos de proyectos. Esto permitió elaborar la taxonomía sobre los distintos tipos de conocimientos que se demandaban con mayor frecuencia entre los equipos de proyectos y a quiénes se recurría frecuentemente para la transferencia del conocimiento solicitado.

Posteriormente, se procedió a definir la valoración del conocimiento experto con la finalidad principal de identificar adecuadamente a los colaboradores expertos que tenían dominio sobre una temática determinada, analizando la racionalidad y coherencia de las opiniones emitidas. Los elementos utilizados para identificar y clasificar a los expertos se circunscribieron en una tabla de valoración de la competencia experta con el fin de obtener elementos de información y de juicio conclusivos sobre la efectividad de la solución de un problema planteado.

Al implementarse el marco metodológico de la identificación de expertos, las organizaciones estudiadas identificaron y clasificaron a los expertos en función de su nivel de coeficiente de competencia ($0,8 < K < 1,0$) y de acuerdo a la temática de dominio (áreas identificadas en la taxonomía), representando, así, una mejora en la ejecución de sus actividades y asignando valores expectantes al conocimiento del experto.

Es importante manifestar que la metodología propuesta en las organizaciones permitió que los equipos de proyectos localizaran con mayor frecuencia y efectividad el conocimiento experto, que fue valorado y seleccionado de acuerdo a sus capacidades cognitivas, existiendo una satisfacción plena de la transferencia del conocimiento experto hacia los equipos de proyectos. Otro punto importante es la calidad de la transferencia del conocimiento de los expertos a los gestores de proyectos, lo cual ha generado lazos de confianza organizacional para realizar trabajos de manera conjunta en la gestión de los proyectos.

5. CONCLUSIONES

La validación de la metodología propuesta para identificar al experto se ha circunscrito estrictamente en las organizaciones nacionales que gestionan proyectos o programas de envergaduras notables en su sector, lo que nos condujo a realizar entrevistas y cuestionarios a un número mayor de cincuenta profesionales directivos.

La investigación ha denotado que las organizaciones no tienen implementadas y/o formalizadas políticas de la gestión del conocimiento y de herramientas de localización de expertos internamente, lo cual fue manifestado en las entrevistas que se realizaron a los

equipos de proyectos de cada organización. Sin embargo, al implementarse la metodología de identificación de expertos, los integrantes de cada equipo comenzaron a generar redes de contactos para compartir conocimientos con los expertos a fin de obtener respuestas rápidas y objetivas en su gestión.

En el marco de la taxonomía, los equipos entrevistados manifestaron frecuentemente la necesidad de localizar expertos temáticos en los diferentes puntos críticos de la gestión de proyectos, tales como análisis de impacto social, análisis de factibilidad, técnicas de negociación, comunicación en conflictos, entre otros, a efectos de renovar el conocimiento para solucionar problemas de una manera efectiva.

La identificación de expertos en las organizaciones ha influido abiertamente en los procesos de la transferencia del conocimiento y la generación de ambientes colaborativos, en distintas temáticas, orientados a fortalecer el aprendizaje individual y colectivo para la resolución de problemas específicos en la gestión de proyectos.

El artículo brinda las bases necesarias para elaborar una estructura o arquitectura tecnológica que determine la construcción de las páginas amarillas de expertos organizacionales estandarizados, considerando los factores de dominio y de coeficiente de competencia experta sobre una temática determinada.

REFERENCIAS

- Alavi, M., y Leidner, D. E. (2001). Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues. *MIS Quarterly*, 25(1), 107-136.
- Almenara, J., y Osuna, J. (2013). *La utilización del juicio de experto para la evaluación de TIC: el coeficiente de competencia experta*. Universidad de Sevilla.
- Andersen, A. (1999). *El management en el siglo XXI*. Granica.
- Angulo, N. (2007). Ubicando el conocimiento experto: las páginas amarillas. *Innovación Educativa*, 7(40). <https://www.redalyc.org/pdf/1794/179420967004.pdf>
- Archibold, W., y Escobar, A. (2015). Capital intelectual y gestión del conocimiento en las contralorías territoriales del departamento del atlántico. *Revista Dimensión Empresarial*, 13(1), 133-146. <https://doi.org/10.15665/rde.v13i1.342>
- Arambarri, J. (2014). *Metodología de evaluación y gestión del conocimiento dinámico por procesos utilizando como soporte TIC el entorno colaborativo de trabajo basado en el modelo de creación de conocimiento de Nonaka-Takeuchi. Caso de estudio en el área de Gestión de proyectos de I+D+i en institución avanzada en conocimiento* [Tesis doctoral, Universidad de Córdoba]. Biblioteca Universidad de Córdoba.

- Bellinza, M., Guerrero-Barrera, N., Colon-Sirtori, S., y Ramírez-Mercado, W. (2011). Gestión del conocimiento: aproximaciones teóricas. *Clío América*, 5(10), 257-271. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5114804>
- Cabero, J., y Llorente, M. (2013). La aplicación del juicio de experto como técnica de evaluación de las tecnologías de la información (TIC). *Revista Eduweb*, 7(2), 11-22.
- Choo, C. (2016). *The Inquiring Organization: How Organizations Acquire Knowledge and Seek Information*. Oxford University Press.
- Drucker, P. (2006). *Innovation and Entrepreneurship*. HarperCollins.
- Flores, J., y Ochoa, S. (2016). *Los modelos de gestión del conocimiento y su relación con la cultura organizacional: una revisión teórica*. Universidad de Guadalajara.
- Marin, J., y Zarate, E. (2008). Propuesta de un modelo integrador entre la gestión del conocimiento y el trabajo en equipo. *Intangible Capital*, 4(4), 255-280.
- Mohajan, H. (2017). The Impact of Knowledge Management Models for the Development of Organizations. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 5(1), 12-33.
- Nonaka, I., y Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company*. Oxford University Press.
- Prada, E. (2005). Las redes de conocimiento y las organizaciones. *Revista Bibliotecas y Tecnologías de la Información*, 2(4), 16-25.
- Pérez, G. (2016). Gestión del conocimiento en el sector público chileno. En F. Ferreira (Org.), *Experiencias Internacionales de Implementación de la Gestión del Conocimiento en el Sector Público* (pp. 47-68). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
- Phillip, M. (2017). *How Organizations Use Collaboration to Create Knowledge* [Tesis doctoral, University of Pennsylvania]. ProQuest. <https://repository.upenn.edu/dissertations/AAI10255888>
- Probst, G., Raub, S., y Romhardt, K. (2001). *Administre el conocimiento*. Pearson Educación.
- Robles, P., y Rojas, M. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en lingüística aplicada. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada*, 18, 124-139. <https://doi.org/10.26378/rmlael918259>
- Sveiby, K., Gripenberg, P., y Segercrantz, B. (2015). *Challenging the Innovation Paradigm*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203120972>.

Agilísimo sin romanticismo: el perfil de un líder

Marco A. Fernández del Pomar

marco9129@gmail.com

Alicorp, Lima, Perú

Recibido: 31/7/2021 Aceptado: 7/9/2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5580>

RESUMEN. El presente estudio describe algunas de las problemáticas más comunes al momento de gestionar un proyecto aplicando un marco de trabajo ágil y al intentar poner en práctica el *agile mindset*. Se describirá también aquellos rasgos de personalidad necesarios para superar estos obstáculos, que todo líder de proyecto debería poseer como parte de su perfil profesional. Por último, se explicará cómo estas características pueden incrementar considerablemente las probabilidades de éxito no solo del proyecto, sino del propio líder en su carrera profesional.

PALABRAS CLAVE: *agile* / agilidad / *agile mindset* / liderazgo / motivación / *The Big Five* / modelo de los cinco grandes / psicología / política organizacional

AGILITY WITHOUT ROMANTICISM: THE PROFILE OF A LEADER

Abstract. This study describes the most common problems when managing a project applying an agile framework, and putting the agile mindset into practice. It will also describe those personality traits necessary to overcome these obstacles that every project leader should have as part of their professional profile. Finally, it will be explained how these characteristics can considerably increase the chances of success of the project and the leader himself in his professional career.

KEYWORDS: *agile* / agilit / *agile mindset* / leadership / motivation / *The Big Five* / model of *The Big Five* / psychology / organizational politics

1. INTRODUCCIÓN

La agilidad llegó para quedarse (por ahora) y si bien esta fue presentada como una solución eficiente, humana y que se adaptaba a la incertidumbre de los proyectos complejos del siglo XXI, ciertamente ha tenido una muy buena dosis de sus propios problemas. La gran mayoría de estas problemáticas tienen raíces fundamentales de la gestión de proyectos y comparten una esencia común que se encuentra en todo tipo de proyectos ejecutados con todo tipo de metodologías y marcos de trabajo. Sin embargo, para fines de este estudio, nos centraremos en aquellas problemáticas comunes que típicamente se encuentran en aquellos proyectos en los que se pretende aplicar algún marco de trabajo ágil o el *agile mindset*. Lo interesante de este tipo de problemáticas es que la teoría agilista nos dice que no deben suceder, de lo contrario no se estaría aplicando agilidad. Hoy en día es posible afirmar, luego de que los marcos de trabajo ágil surgieran hace casi quince años, que el aplicar agilidad como se vende en la teoría es virtualmente imposible; después de todo, la teoría y la práctica son mundos usualmente muy diferentes. Más adelante entraremos en detalle de cuáles son estas problemáticas o retos que encontramos casi siempre en proyectos ágiles.

Una variable adicional que surgió desde el inicio y que sigue vigente, a la cual podríamos señalar como la causa principal de las altas expectativas que se generaron con el agilísimo y sus marcos de trabajo, fue el romanticismo con el cual se solía y se suele vender. Desde las exposiciones más básicas sobre lo que es agilidad hasta los entrenamientos más completos, el cómo se explica, propone y entrena a las personas tiene la falencia de ser innecesariamente romántico. ¿Qué quiere decir que sea romántico? Pues que los marcos de trabajo ágil y el *agile mindset* se venden como algo que es natural para las personas y organizaciones y relativamente fácil de alcanzar; que las compañías están evolucionando hacia estas prácticas a un ritmo increíble, donde la mentalidad de las personas hará un *fit* perfecto con el *agile mindset*; que los equipos alcanzarán un nivel de eficiencia óptimo; que solo es cuestión de entrenamiento y la buena fe de la alta gerencia de la organización para, inevitablemente, llegar a ser una organización ágil; y, claro, que los procesos y buenas prácticas son aplicables en su totalidad y de forma simultánea. El romanticismo en la agilidad es también aquel que te explica cómo proceder cuando surge algo o alguien que va en contra de este cambio. Y por supuesto no faltan los expertos o gurús que venden el agilismo como la solución a todos los problemas de gestión de proyectos de la organización. La eficiencia que se promete de la agilidad no solo puede ser inalcanzable para muchas organizaciones, sino que las condiciones para siquiera pretender aplicarla son bastante específicas, complejas de alcanzar, poco sostenibles y típicamente encuentran bastante resistencia para ser implementadas. Esta perspectiva, que usualmente podría ser tomada como pesimista y antiagilidad, es solo un punto de vista de la realidad. No es el objetivo de este estudio decir que no es posible aplicar un marco de trabajo ágil o el *agile mindset* en una organización; de hecho es posible hacerlo y con mucho éxito. Sin embargo, es necesario reconocer las falencias de la teoría, las exageraciones de los gurús, pero sobre todo tener muy clara cuál es

la realidad de la organización donde se pretende aplicar agilidad. Hay una forma muy simple de describir este romanticismo: dejar de soñar con unicornios, arcoíris y duendes danzantes, y poner los pies en la tierra para analizar objetivamente la realidad. Tener claras las implicancias de emprender el reto de aplicar agilidad como se debe y articular un plan realista y retador, pero viable. El romanticismo lo explicaremos mejor de la mano de los ejemplos de las típicas problemáticas que surgen en las organizaciones al momento de intentar ejecutar proyectos con algún marco de trabajo ágil.

Un punto clave importante sobre el cual la agilidad se soporta es la gente. Cuando se gestionan proyectos, no se gestionan herramientas o procesos, se gestionan personas y las personas son la variable más compleja de gestionar en casi todos los proyectos (quizá únicamente superada en proyectos como el Fermilab, laboratorio de acelerador de partículas cuyo estudio en la física de partículas supone algo extraordinariamente complejo). Son las personas quienes hacen que las cosas sucedan, que los proyectos salgan adelante y quienes cosechan los beneficios y el valor que genera el producto final. Dentro de todos los romanticismos que expone la agilidad, la gestión de personas es sin duda el más complejo y el que tiene el potencial de generar muchas fantasías inalcanzables, pero es también el más importante y el principal pilar sobre el cual la gestión de proyectos debería soportarse. Lo ingenuo no es pensar que se puede alcanzar, lo ingenuo es pensar que se puede alcanzar sin tener los pies bien puestos en la tierra, pues típicamente el diseño de un plan que permita aplicar el *human centricity* presenta implícitas innumerables y potenciales complicaciones. Por otro lado, es la política dentro de la organización la que puede impulsar o detener la agilidad. Analizaremos a profundidad ambos conceptos más adelante.

Por último, pero no menos importante, está la segunda parte del presente estudio, el perfil del líder de proyectos. Existen algunos estudios psicológicos que se han realizado desde finales de los años noventa sobre el perfil de un profesional exitoso. Más específicamente, el perfil de un gestor de proyectos exitoso. Todos estos tienen fundamentos psicológicos que repasaremos brevemente y los conectaremos con las problemáticas que discutiremos y con el manejo de la política dentro de la organización.

2. METODOLOGÍA

La forma en que este estudio abordó las problemáticas y desafíos presentados en la sección anterior fue conectando algunas aristas de un par de especialidades. La arista de gestión de proyectos, tradicional, y su vertiente agilista, la arista de especialización de tecnologías de información, pues el análisis se centrará en este tipo de proyectos, y la arista de psicología para poder entender no solo la dinámica necesaria para la gestión de personas, sino el perfil psicológico de un líder que pueda resolver las problemáticas presentadas y resolver de forma eficiente los desafíos.

2.1 Los retos

En cualquier proyecto surgen problemáticas de diversa índole con las cuales hay que lidiar si es que deseamos alcanzar el éxito de la iniciativa. En este estudio repasaremos aquellas problemáticas que son más comunes para proyectos ejecutados con algún marco de trabajo ágil o donde se pretende aplicar el *agile mindset*. El objetivo de repasar estas situaciones es identificar cómo es que se cae en el “romanticismo ágil” al pensar que la agilidad puede resolver todo apelando únicamente a sus principios y valores.

Esta no es una lista exhaustiva y ciertamente existen múltiples variaciones de las problemáticas que presentaremos, presentaremos, debido a los múltiples contextos donde pueden surgir estas. Sin embargo, todas mantienen cierta esencia común. Cabe resaltar que estas problemáticas son presentadas asumiendo que el contexto en el que surgen es en compañías que están por iniciar o acaban de empezar la aplicación de algún marco de trabajo ágil o el *agile mindset*. En empresas donde estos conceptos son maduros (las cuales son pocas) estas típicas problemáticas son virtualmente inexistentes.

a. Personas primero

En los principios y valores del *agile manifesto*, marcos de trabajo como SAFe y otros, se explica de forma directa e indirecta que las personas son de lo más importante al momento de pretender ejecutar cualquier tipo de iniciativa. Hablamos de una cultura *human centric*. Es fácil decirlo y predicarlo, incluso muchas compañías promueven, entrenan y exigen a sus empleados el vivir bajo esta afirmación para solo practicarlo en un mundo de fantasías. Existen diversos contextos que hacen que su aplicación real sea compleja de alcanzar de forma eficiente y sostenible en el tiempo.

El *romanticismo* se encuentra en creer que simplemente entrenando o evangelizando este principio los equipos, líderes y empresas comenzarán a aplicarlo como dice la teoría. Sí logra ser aplicado sin tener que *insistir* o constantemente *recordárselo* a algunos líderes, pues se trata de una cultura realmente centrada en las personas, pero no hay muchas compañías de este tipo. El cambio es doloroso para muchas organizaciones y un cambio hacia un enfoque en las personas suele ser bastante disruptivo para aquellas organizaciones más tradicionales. Poner a las personas primero implica poner a tus empleados antes que tus clientes, asegurar que mantengan un balance trabajo-vida sano, que tengan un crecimiento profesional y personal en la compañía, mantener la motivación en alto y comprender que se trata de personas, no de hormiguitas trabajadoras que únicamente acatan órdenes del *qué* y el *cómo*. Aplicar realmente este principio tiene implicancias que no muchas empresas están dispuestas a aceptar, por más que lo tengan escrito y firmado como parte de su política organizacional. Una de esas implicancias es que el mantener a las personas en un ambiente y cultura como se describe en la teoría de agilidad tiene costos diversos, costos que

en un mediano y largo plazo son más una inversión que trae consigo un incremento en productividad, pero no muchas organizaciones están dispuestas a apostar por esto, pues no creen o no conocen el beneficio real debido a que han sido expuestas solo al método tradicional que implica impulsar a la fuerza los proyectos. Es decir, prefieren apostar a corto plazo y no a largo plazo con el bienestar de las personas. Es importante tener los pies bien puestos en la tierra sobre todo en este tema. Poner a las personas primero genera un bucle complejo de resolver; la figura 1 lo muestra de forma sencilla.

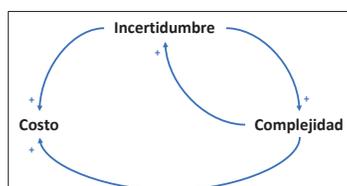


Figura 1. Bucle de complejidad de la problemática “Personas primero”, visto desde la perspectiva del pensamiento sistémico

Elaboración propia

De esta problemática decantan casi todas las demás que describiremos en este estudio. El no tener un real enfoque en las personas o *human-centricity* acarrea una serie de consecuencias que hacen parecer que la agilidad no sirve, es ineficiente o que simplemente no hace *fit* con la organización.

b. Cadencia sostenible en el tiempo

Los proyectos son, típicamente, esfuerzos de largo aliento. Es decir, no duran unas pocas semanas, sino varios meses o incluso años. Ciertamente, no se trata de carreras de cien metros planos, sino de verdaderas maratones. Esto no es algo recientemente descubierto, ni tampoco algo de lo que el liderazgo de muchas organizaciones se dé cuenta tarde en el proyecto; se sabe desde un inicio. El problema surge cuando la carga laboral supera la capacidad real del equipo asignado. Esto puede suceder por tres motivos: se realizó un deficiente cálculo y proyección del esfuerzo para la iniciativa, se modificó el alcance original y la carga se incrementó (puede suceder una o muchas veces a lo largo de la iniciativa) o —la tercera es la más interesante— simplemente se buscó ahorro en costos y se asignó un equipo de cinco personas para un proyecto de ocho o más. Las dos primeras alternativas se pueden resolver relativamente fácil, pero la tercera no, pues proviene de un *mindset* difícil de cambiar. Es aquel *mindset* que pone primero el dinero antes que las personas, ignorando por supuesto que ese tipo de apuestas genera ineficiencia en el largo plazo. En otras palabras, se trata de explotar a tus colaboradores, manteniendo un ritmo de trabajo que no es sostenible en el tiempo saludablemente.

Es cierto que por muchas décadas, y hasta hoy en día, muchas compañías aplican el *mindset* de “ahorro en costos”. Es también cierto que los proyectos pueden ser exitosos con este tipo de prácticas; sin embargo, poner a las personas primero genera un incremento de valor considerable para la compañía en el mediano y largo plazo.

El *romanticismo* se encuentra en creer que la organización pensará en la apuesta de largo plazo, que pondrá a las personas primero por el simple hecho de que se está buscando aplicar (o pretendiendo aplicar) agilidad. Esto no sucede así, salvo que alguien previamente haya implementado políticas que eviten que esto suceda. Si no existen lineamientos que protejan (aunque suene exagerado) a los equipos de trabajo, difícilmente se cumplirá el aplicar una cadencia sostenible en el tiempo. Recordemos que estamos evaluando contextos de organizaciones donde aún no existe un real *agile mindset*. Aquellas que tienen una madurez alcanzada en las buenas prácticas ágiles no necesitan lineamientos de este tipo, ya que el comportamiento (*mindset*) de considerar un ritmo de trabajo sostenible y saludable para la gente viene por defecto.

c. Equipos autoorganizados

Esto llega a ser una problemática únicamente si se tiene como meta de corto o mediano plazo. Los equipos que se conforman para ejecutar un proyecto necesitan, en la gran mayoría de casos, un líder que guíe y oriente sus esfuerzos. No se trata de decirles qué hacer ni cómo hacerlo, pues esa no es parte de la dinámica de trabajo de la agilidad, pero sí de ayudar a los miembros del equipo a remover impedimentos, organizar los tiempos de reuniones y eventos, asegurar que tengan claros los requerimientos y facilitarles las herramientas y recursos que necesitan para que ellos únicamente se enfoquen en cumplir con el objetivo de la construcción del producto.

El *romanticismo* se encuentra en creer que todos los equipos evolucionarán a ser autoorganizados o creer que lo lograrán en un corto o mediano plazo. Existen casos donde esto nunca sucede, ya sea por variables externas al equipo como la complejidad del producto que están creando, reglas de seguridad de la información que impiden que compartan conocimientos específicos, madurez del líder, o por variables inherentes al mismo equipo, como, por ejemplo, la madurez de sus propios miembros. Ciertamente, lo ideal sería alcanzar un nivel de madurez tal que el equipo pueda autoorganizarse y requerir un mínimo de supervisión por parte del líder de proyecto; sin embargo, el no lograr una autoorganización no implica un fracaso por parte del líder u organización, pues, como indicamos, existen otras variables que pueden impedir esto, incluyendo aquellas que la misma organización puede imponer. Es necesario analizar cada caso para buscar la causa raíz del porqué un equipo no maduraría al punto tal de autoorganizarse.

d. Toma de decisiones descentralizada

Cualquier líder con un mínimo de experiencia sabe que descentralizar todas las decisiones que se deben tomar en un proyecto no solo es altamente riesgoso, sino también ingenuo, irresponsable y muy dañino para la organización y el propio equipo. Muchas veces en entrenamientos, *webinars* u otras charlas donde se explica y promueve el uso de agilidad olvidan leer las letras pequeñas de lo que implica la descentralización de decisiones. La descentralización no implica permitir que las decisiones se tomen por cualquier persona o abrir todas estas a debate. Algunas decisiones serán consultadas con el equipo y se les permitirá a ellos mismos tomar una decisión, otorgándoles empoderamiento sobre múltiples aspectos de la dinámica de trabajo. Así mismo, existirán decisiones que, por ser más estratégicas o que escapan a la responsabilidad del equipo, deberán ser tomadas únicamente por el líder de proyecto o alguien jerárquicamente superior. Idealmente, muchas de estas serán consultadas con el equipo para construir una perspectiva más completa para tomar una mejor decisión.

El *romanticismo* se encuentra en creer que es posible, incluso eficiente y motivador para el equipo, abrir todas las decisiones de un proyecto al equipo. Incluso más peligroso que esto es pensar que no hacerlo implica ir en contra de los principios y valores de la agilidad, pues hay personas que lo califican como una dinámica tiránica, rígida y que hace daño al equipo al no empoderarlos. Lo cierto es que este punto de vista es muy sesgado y no considera las diversas aristas (financieras, políticas, tecnológicas, etcétera) que se deben tomar en cuenta para ciertas decisiones y asegurar el éxito de un proyecto. Sin proyecto no hay equipo, sin equipo no hay gente, sin gente no es posible aplicar el empoderamiento. No es viable irse al extremo de buscar la felicidad constante de las personas, es necesario encontrar un balance que permita alcanzar a la organización los beneficios que busca y a las personas crecer profesional y personalmente a través de su participación en el proyecto. Un líder con experiencia sabrá qué decisiones delegar a su equipo y sabrá cuáles tendrá que tomar él. Cualquiera que sea el tipo, el líder será siempre el último responsable.

e. Un *product owner* (lado de negocio) dedicado al 100 %

En aquellas organizaciones donde aún no se interioriza la agilidad, el asignar 100 % a una persona del lado de negocio para dedicarse exclusivamente a un proyecto suele ser poco común. Muchos puristas de la agilidad dicen que es inviable no contar con la presencia al 100 % del *product owner* (PO), y esto suele decantar en una polémica. Una asignación al 100 % por parte del PO tampoco significa el uso más eficiente del tiempo de esa persona; hay situaciones en las cuales esto no es necesario y basta con una participación parcial. Entonces, ¿es realmente necesario un PO al 100 %? Pues la respuesta es: depende. Del contexto y otras variables. Es importante comprender que un equipo de proyecto no necesitará al PO sentado al lado de ellos esperando

pasivamente cualquier pregunta que tengan respecto al producto. La intensidad de participación de un PO suele ser cíclica, es decir, la inversión de tiempo que realiza varía dependiendo de la etapa en la que se encuentra el proyecto independientemente de la forma en que se defina la línea de tiempo (etapa del ciclo de vida, trimestre, *sprint*, etcétera). Al ser cíclica, una participación activa no es necesaria el 100 % del tiempo. De hecho es preferible una participación adaptativa que tenga claro que una de sus principales prioridades (top 2 de preferencia) es absolver las dudas del equipo de proyecto.

El *romanticismo* se encuentra en creer que sin un PO al 100 % el proyecto no es viable o tendrá problemas. En un proyecto hay muchas tareas y responsabilidades que van más allá de asistir a los eventos, escribir historias de usuario y atender las consultas del equipo. Es posible contar con un PO a tiempo parcial siempre y cuando el tiempo dedicado sea el mínimo necesario para asegurar que exista un flujo de trabajo eficiente. Es decir, que asista a todas las reuniones a las que debe asistir; que mantenga un *backlog* del producto robusto con requerimientos refinados, bien definidos y disponibles oportunamente para el equipo; que esté disponible y dispuesto para absolver cualquier duda que tenga el equipo. Una dinámica sana que permita un balance entre las responsabilidades con el equipo de proyecto y las responsabilidades adicionales que implica una iniciativa es muy buena.

2.2 Motivación del equipo

Uno de los deberes más importantes de cualquier líder al momento de gestionar cualquier equipo de proyecto (tradicional o ágil) es el de mantener una motivación adecuada en el equipo. Mantener a alguien motivado no significa otorgarle cada deseo que se le ocurra. Tampoco es, aunque suene contradictorio, buscar mantener a las personas satisfechas todo el tiempo. Significa sacar a la persona de su zona de confort, empujarla a aprender, a tomar riesgos y equivocarse. De esta forma se genera una situación ganar-ganar, tanto para la persona como para la organización a la que pertenece. Un estudio mucho más profundo sobre la motivación en equipos de proyecto para alcanzar un alto desempeño fue el que realicé en el 2018, llamado *Conectando el agile mindset, la motivación y el liderazgo para la generación de equipos de alto desempeño*. En este estudio identifiqué las bases fundamentales para comprender por qué es tan difícil motivar a alguien, profundicé en las razones del porqué es difícil generar equipos de alto desempeño y qué es lo que se necesita. No ahondaré sobre este tema en este estudio; sin embargo, es importante destacar la conexión. Una de las características de un líder, al menos del tipo de líder del que hablaremos, es saber proteger y motivar al equipo posicionándolo en un ambiente seguro. Para lograr esto, es necesario contar con ciertos rasgos de personalidad. Es en este punto donde entraremos a revisar qué se requiere de un líder para atacar las problemáticas presentadas y generar y mantener la motivación de un equipo de alto desempeño.

2.3 El perfil de un líder, perfiles de competencias de un líder

Existen unos cuantos estudios acerca del perfil de un líder. De hecho, desde hace unos ochenta años se comenzó a utilizar la psicología para realizar evaluaciones más profundas a los comportamientos de aquellas personas que ocupaban cargos de liderazgo. Fue muy interesante encontrar que todos los estudios que se evaluaron para el presente trabajo tenían muchas similitudes en cuanto al perfil ideal de un líder. Todos estos, por supuesto, se basaban en análisis psicológicos de diversos perfiles profesionales en diversas industrias e incluso continentes. A pesar de tener contextos diferentes, los resultados son claros; es posible identificar aquellas características de personalidad que predicen si una persona será un buen líder o gerente de proyecto. Por supuesto, estos estudios tienen resultados probabilísticos y siempre existirán excepciones a la regla.

Uno de estos estudios, realizado en el 2009, nos presenta una perspectiva amplia sobre los tipos de competencias necesarios en un líder para asegurar el éxito de un proyecto. Müller y Turner (2010) escribieron el trabajo “Leadership Competency Profiles of Successful Project Managers”. En este se realizó un análisis de diferentes teorías de liderazgo para construir un moderno modelo de evaluación sobre las características personales de un buen gerente de proyecto. Con énfasis en el *buen*. Los resultados del estudio en mención reflejan un conocimiento implícito (*obvio* sería otra palabra) para aquellos que tienen mucho tiempo en el rubro de gestión de proyectos, programas y portafolios y que son responsables de elegir aquellos líderes que gestionarán proyectos; las personas que tienen ciertos rasgos personales cumplen mucho mejor el rol de un gerente de proyecto.

El estudio expandió un trabajo previo de la llamada *competence school* (Dulewicz y Higgs, 2005), en donde se calificaba (alto, medio o bajo) a los líderes de acuerdo a quince competencias de liderazgo, agrupadas en tres categorías: coeficiente intelectual (IQ), coeficiente de gestión (MQ) y coeficiente emocional (EQ). Adicionalmente se clasificó qué perfil de líder se ajustaba mejor a un determinado tipo de proyecto, clasificado como ingeniería y construcción, tecnologías de información y telecomunicaciones, y cambio organizacional. A continuación, la tabla 1 resume el resultado de este estudio.

Tabla 1

Perfiles de gerentes de proyecto por importancia y fortalezas en competencias de liderazgo en diferentes tipos de proyectos

COMPETENCIAS	TIPO DE APLICACIÓN		
	Ingeniería y construcción	Tecnologías de información y telecomunicaciones	Cambio organizacional
Coeficiente intelectual (IQ)			
Pensamiento crítico	Alto	Alto	Alto
Visión	Bajo	Medio	Alto
Perspectiva estratégica	Medio	Alto	Alto
Coeficiente de gestión (MQ)			
Gestión de recursos	Medio	Alto	Alto
Comunicación	Medio	Alto	Alto
Empoderamiento	Bajo	Alto	Alto
Desarrollo	Alto	Alto	Medio
Logro	Medio	Alto	Medio
Coeficiente emocional (EQ)			
Autoconocimiento	Medio	Alto	Alto
Resistencia emocional	Bajo	Alto	Alto
Intuición	Bajo	Medio	Medio
Sensibilidad	Medio	Alto	Alto
Influencia	Alto	Alto	Alto
Motivación	Alto	Alto	Alto
Autoconciencia	Alto	Alto	Alto

Fuente: Quince competencias de liderazgo y tres estilos de liderazgo después de Dulewicz y Higgs (2003), citado por Müller y Turner (2010)

En esta tabla un puntaje alto implica un dominio total de esa característica, mientras que un puntaje bajo implica un conocimiento casi nulo o novicio de esta. De inmediato, es posible sacar ciertas conclusiones.

- En la gran mayoría de características requeridas de un gerente de proyecto exitoso se necesita un puntaje alto. Esto implica un dominio de estas características en diversas situaciones y contextos relacionados con la gestión de un proyecto.
- El tipo de proyecto que demanda un puntaje alto en casi todas las características es el de tecnologías de información y telecomunicaciones. Es decir, para que este tipo de proyectos sean considerados exitosos típicamente requieren de un gerente de proyectos que tenga, virtualmente, un puntaje alto en los resultados de IQ, MQ y EQ.

- Existe un *mix* de habilidades de diferente índole que conforman el perfil ideal de un gerente de proyectos, tanto aquellas que son más estructuradas como aquellas que son más gaseosas. Este *mix* de habilidades le otorgará a la persona muchas más probabilidades de éxito en cualquier proyecto.

En el artículo de Müller y Turner (2010) los proyectos del tipo tecnológico típicamente demandan un perfil más maduro. El foco del presente estudio se centra en proyectos de creación de productos digitales donde se aplique un marco de trabajo ágil o el *agile mindset*. En este tipo de proyectos el nivel de incertidumbre suele ser muy alto, pues no existe claridad sobre cómo debería ser la versión final de este producto una vez esté concluido. Es en contextos de incertidumbre donde la gestión del equipo y la dinámica de trabajo puede ser considerablemente más retadora que en contextos donde el producto final está claro y bien definido desde el inicio.

Si bien la tabla anterior nos aclara aquellas características que debe tener un buen gerente de proyectos, es necesario profundizar más y conectar esta información con un estudio adicional para relacionar estos resultados a un estándar más específico y amplio desde un punto de vista psicológico.

2.4 El perfil de un líder, predictores del éxito profesional

The Big Five, desarrollado en los años ochenta, es una taxonomía o clasificación de rasgos de personalidad que analiza la composición de cinco dimensiones de personalidad en su sentido más amplio. Estos factores permiten mapear la personalidad de una persona de forma muy precisa. Las dimensiones que conforman el modelo son *agreeableness* (afabilidad), *neuroticism* (neurotismo), *extroversion* (extroversión), *conscientiousness* (autoconciencia) y *openness* (apertura).

Cada uno de estos rasgos tiene dos extremos opuestos que permite una clasificación de la personalidad bastante clara. Para el objetivo del presente trabajo consideraremos las siguientes características para cada uno de los extremos de los cinco rasgos de personalidad.

Tabla 2
The Big Five *personality traits*

<i>The Big Five</i>	Puntaje bajo (-)	Puntaje alto (+)
<i>Agreeableness</i> (afabilidad)	Desconfiado	Confiado
	Crítico	Indulgente
	Despiadado	Bondadoso
	Irritable	Empático

(continúa)

(continuación)

<i>Neuroticism</i> (neurotismo)	Calmado	Preocupado
	Ecuánime	Temperamental
	Confortable	Autoconsciente
	Impasible	Emocional
<i>Extroversion</i> (extroversión)	Solitario	Sociable
	Callado	Hablador
	Pasivo	Activo
	Reservado	Afectivo
<i>Conscientiousness</i> (autoconciencia)	Negligente	Concienzudo
	Holgazán	Trabajador
	Desorganizado	Bien organizado
	Tardón	Puntual
<i>Openness</i> (apertura)	Práctico	Imaginativo
	Poco creativo	Creativo
	Convencional	Original
	Poco curioso	Curioso

Fuente: Lim (2020)

Tabla 3
Modelo de éxito de una carrera profesional

CARRERA PROFESIONAL EXITOSA	
Éxito extrínseco	
· Remuneración	
· Número de ascensos	
· Proximidad al CEO	
· Valuación de empleabilidad	
Éxito intrínseco	
· Satisfacción del empleo	
· Satisfacción de carrera	
· Satisfacción de vida	

Fuente: Boudreau *et al.* (1999)

No es el objetivo de este estudio el definir filosóficamente qué es el éxito en la vida de una persona. La definición de la tabla anterior busca hacer tangible un concepto muchas veces

polémico y abstracto con el objetivo de entender mejor los resultados del estudio. La definición utilizada para el presente estudio fue definida por Judge *et al.* (1995):

Una carrera profesional exitosa se define como los resultados extrínsecos e intrínsecos o logros que un individuo acumula como resultado de su experiencia laboral. Esta abarca tanto elementos “extrínsecos” de éxito, reflejando un criterio externo y objetivo, como el sueldo y número de ascensos, así como elementos “intrínsecos” de éxito que son definidos subjetivamente por el individuo, como satisfacción sobre su empleo o carrera.

Es importante anotar que cuando hablamos de una carrera profesional exitosa, existe una relación directa entre esta, el éxito de un gerente de proyectos y el éxito de un proyecto. Es por este motivo que se tomó en consideración el estudio de Cornell University.

El estudio *Effects of Personality on Executive Career Success in the U.S. and Europe* (Boudreau *et al.*, 1999) se basó en más de 3600 encuestas realizadas a dos muestras, casi iguales, de ejecutivos de Estados Unidos y Europa. Los perfiles promedio de ambas muestras se pueden apreciar en la tabla 4.

Tabla 4
Perfil promedio de la muestra estadounidense y europea

VARIABLES (promedios)	Estados Unidos	Europa
Edad	47	42,4
Ingreso anual	\$164 618,00	\$158 461,00
Ascensos	7,9	4
Número de puestos del CEO	2	1,9
Tamaño de la compañía	10 140	9051

Fuente: Boudreau *et al.* (1999)

Los resultados y posterior análisis y estructuración realizada describen la correlación entre *The Big Five* y una carrera profesional exitosa. Los resultados de ambas muestras (Estados Unidos y Europa) son virtualmente iguales, por lo que solo revisaremos en detalle los resultados de la muestra de Estados Unidos.

En la tabla 5, se observan los resultados del puntaje de todos los entrevistados. En color verde observamos los puntajes altos y en color rojo los puntajes bajos. Asimismo, estos han sido relacionados con las variables que conforman los factores de éxito extrínseco e intrínseco descritos más arriba. La forma de leer esta tabla es la siguiente.

Un puntaje bajo (–) de uno de los rasgos de *The Big Five* indica una asociación negativa con el factor de éxito (extrínseco o intrínseco). Como se indicó más arriba, un puntaje bajo no significa algo necesariamente malo o negativo en la persona. Para poner un ejemplo

particular, tomaremos una muestra de la tabla. El rasgo de extroversión tiene una asociación positiva (0,15 en total) con el factor de éxito extrínseco denominado “Número de ascensos”. Si tomamos la tabla 2 que detalla las características personales de *The Big Five*, esto quiere decir que una persona con rasgos del tipo sociable, hablador, activo y afectivo, tiene más probabilidades de tener un número mayor de ascensos durante su carrera profesional, pues estos rasgos de personalidad demuestran una relación directa positiva. Ahora, tomemos un ejemplo del otro extremo. El rasgo de neurotismo tiene una asociación negativa (-0,21 en total) con el mismo factor de éxito extrínseco “Número de ascensos”. Esto quiere decir que una persona con rasgos del tipo calmado, ecuaníme, confortable e impasible tiene más probabilidades de tener un número mayor de ascensos durante su carrera profesional, pues estos rasgos de personalidad demuestran la relación. El puntaje alto (positivo) o bajo (negativo) solo indica a cuál extremo se inclina cada rasgo de personalidad.

Tabla 5
Efectos directos, indirectos y totales de los rasgos de *The Big Five* en una carrera profesional exitosa

<i>The Big Five</i>	Éxito extrínseco				Éxito intrínseco		
	Remuneración	Número de ascensos	Proximidad al CEO	Valuación de empleabilidad	Satisfacción del empleo	Satisfacción de vida	Satisfacción de carrera
<i>Agreeableness</i> (afabilidad)							
Directo	-0,24	-014	-0,14	-0,15	-0,19	-0,09	-0,20
Indirecto	-0,08	-0,05	-0,03	-0,01	0,00	0,03	0,02
Total	-0,32	-0,19	-0,17	-0,16	-0,19	-0,06	-0,18
<i>Neuroticism</i> (neurotismo)							
Directo	-0,30	-0,21	-0,10	-0,03	-0,42	-0,42	-0,41
Indirecto	-0,01	0,00	0,00	-0,02	0,01	-0,01	0,02
Total	-0,31	-0,21	-0,10	-0,05	-0,41	-0,43	-0,39
<i>Extroversion</i> (extroversión)							
Directo	0,04	0,08	0,10	0,14	0,20	0,22	0,16
Indirecto	0,01	0,07	0,02	0,00	-0,01	-0,01	0,00
Total	0,05	0,15	0,12	0,14	0,19	0,21	0,18
<i>Conscientiousness</i> (autoconciencia)							
Directo	-0,07	-0,05	-0,01	-0,04	-0,23	-0,15	-0,12
Indirecto	0,03	0,00	0,00	-0,01	0,01	-0,17	-0,01
Total	-0,04	-0,05	-0,01	-0,05	-0,22	-0,17	-0,13
<i>Openness</i> (apertura)							
Directo	-0,02	-0,03	0,01	0,03	-0,10	-0,09	-0,05
Indirecto	0,06	-0,04	0,00	0,01	0,04	-0,01	0,01
Total	0,04	-0,07	0,01	0,04	-0,06	-0,10	-0,04

Fuente: Boudreau *et al.* (1999)

En estos resultados podemos identificar la relación, directa e indirecta, que existe entre los rasgos de *The Big Five* y el éxito extrínseco e intrínseco de la carrera profesional de una persona. Iremos explicando la relación de cada uno de los rasgos y explicando el puntaje.

- *Agreeableness* (afabilidad)

Este es el rasgo más sobresaliente y el más interesante, pues rompe un paradigma existente en muchas organizaciones (y personas). En la tabla 5 se muestra una clara asociación negativa con todos los factores de éxito extrínseco e intrínseco, tanto directa como indirectamente. Esto demuestra que las características personales como desconfiado, crítico, despiadado e irritable tienen una asociación clara y directa con el éxito profesional de una persona. Al mismo tiempo, el otro extremo (puntaje positivo) del rasgo de *agreeableness* (afabilidad) demuestra clara y directamente que las características de confiado, indulgente, bondadoso y empático no tienen un impacto positivo en la carrera profesional de una persona, es decir, le hace daño a la carrera profesional.

Tabla 6

The Big Five personality traits, *características de agreeableness (afabilidad)*

<i>The Big Five</i>	Puntaje bajo (-)	Puntaje alto (+)
<i>Agreeableness</i> (afabilidad)	Desconfiado	Confiado
	Crítico	Indulgente
	Despiadado	Bondadoso
	Irritable	Empático

Fuente: Lim (2020)

Es necesario aclarar un punto importante para evitar interpretaciones extremistas y distorsionadas. El estudio demuestra que el contar con las características del extremo negativo del rasgo de *agreeableness* (afabilidad) supone una ventaja para el profesional si desea avanzar en su carrera. Sin embargo, no indica que se debe eliminar o evitar tener características del extremo positivo del mismo rasgo, simplemente indica que la falta de ciertas características supone una desventaja. Ciertamente, un ser humano es una entidad muy compleja y sus características personales difíciles de mapear al 100 %. Muchas veces, una combinación de ambos extremos será lo más sano para la vida de una persona y su carrera. Sin embargo, lo que demuestra el estudio es que el obtener un puntaje alto en este rasgo supone una desventaja frente a otros profesionales que obtuvieron un puntaje bajo, pues el ser una persona afable es una desventaja en el mundo profesional. Esta lógica aplica para todos los rasgos de *The Big Five*.

El paradigma existente de que para llegar lejos en una carrera profesional es necesario no entrar en conflictos, agradecerles a todos tus compañeros y ser siempre bondadoso(a)

y empático(a) es un mito sobrevalorado. No se pretende decir que la lógica del presente estudio aplica para absolutamente todas las carreras profesionales de todas las industrias en todo el mundo. Pero ciertamente aplica para una gran mayoría de industrias y corporaciones, pues es de ahí de donde se sacó la muestra y se realizó el estudio. Al parecer, no estar de acuerdo siempre con todos, estar dispuesto a entrar en conflicto con los demás, no buscar (de forma activa) caer bien a todos, ser desconfiado de los demás y ser despiadado para la toma de decisiones es lo que permite a un profesional llegar más alto en su carrera. Si lo vemos desde la perspectiva de las organizaciones, lo que buscan estas son profesionales que velen por sus intereses. No entraremos en el debate de la moralidad de las decisiones que se toman, pues estamos analizando únicamente cómo ciertas características de personalidad afectan positivamente la carrera profesional de alguien. Para lograr tomar decisiones de forma eficiente es necesario poseer características personales que permitan alcanzar esa eficiencia necesaria. Esto implica dejar de lado aquellas características que son atractivas para los demás, como puede ser la empatía, la indulgencia, la bondad y la confianza (por defecto). Estas características típicamente hacen que sea más difícil alcanzar un tipo de análisis o debate que genere un intercambio de ideas que permita tomar la decisión más eficiente para la organización. En otras palabras, un profesional debe estar dispuesto a caerles mal (o al menos no tan bien) a sus compañeros, a retar sus ideas o propuestas tomando el riesgo de ofenderlos para buscar un camino eficiente, pero lo más importante: a aprender a ser despiadado para tomar las decisiones correctas para la organización.

El ser despiadado no implica ser maquiavélico o buscar hacerles daño a otras personas. Esta característica de personalidad, bajo el contexto profesional, busca evitar que se tomen decisiones utilizando las emociones. Una vez que termina un proyecto y es necesario disolver un equipo de trabajo, la forma más eficiente de tomar la decisión es no utilizando emociones que puedan nublar el juicio del profesional. Buscar mantener un proyecto activo únicamente porque el líder tiene “pena” de despedir a uno o más miembros del equipo es una decisión errada, ineficiente y que va en contra de los intereses de la organización que en primer lugar les dio un empleo a esas mismas personas. Es posible, sin embargo, buscar tomar decisiones de forma eficiente para la organización y al mismo tiempo velar por el bienestar de las personas. Las organizaciones con culturas que tienen un enfoque en las personas operan de esta manera. Es así que, por ejemplo, el líder podría buscar recolocar a los miembros del equipo del proyecto en otra iniciativa o buscar desarrollar nuevas capacidades en el mismo proyecto con el mismo equipo. Finalmente, se trata de generar una situación ganar-ganar tanto para la organización como para las personas. Es así que ambos lados crecen y se desarrollan. Un verdadero líder buscará generar este balance, que puede ser muchas veces difícil de alcanzar, pero que permite generar beneficios para todos.

- *Neuroticism* (neurotismo)

Este rasgo demuestra la importancia del control de emociones. El cuadro presenta una asociación negativa con todos los factores de éxito extrínseco e intrínseco, tanto directa como indirectamente. Esto demuestra que las características personales como calmado, ecuánime, confortable e impasible tienen una asociación clara y directa con el éxito profesional de una persona. Al mismo tiempo, el otro extremo (puntaje positivo) del rasgo de *neuroticism* (neurotismo) demuestra clara y directamente que las características de preocupado, temperamental, autoconsciente y emocional no tienen un impacto positivo en la carrera profesional de una persona.

Tabla 7

The Big Five personality traits, *características de neuroticism (neurotismo)*

<i>The Big Five</i>	Puntaje bajo (-)	Puntaje alto (+)
<i>Neuroticism</i> (neurotismo)	Calmado	Preocupado
	Ecuánime	Temperamental
	Confortable	Autoconsciente
	Impasible	Emocional

Fuente: Lim (2020)

Es interesante ver cómo, sobre todo en los factores de éxito intrínseco, el puntaje es considerablemente bajo, lo cual implica que mientras más marcadas sean aquellas características, más satisfacción personal tendrá el profesional en su empleo, en su carrera y en su vida. Ciertamente, son innegables los múltiples beneficios de tener estabilidad emocional. Para el presente análisis, el impacto que esto genera en la vida profesional de una persona es claro. Una persona calmada y con un sólido control emocional puede tomar mejores decisiones, ya que no involucra emociones que puedan desestabilizar o nublar su juicio y es interesante ver cómo este conocimiento común es contrastado por hechos científicos.

Muchos de los más destacados líderes tienen un control de emociones extraordinario. Sin embargo, no es posible negar que han existido y existen líderes que no siempre tienen bajo control sus emociones y que más bien las utilizan para impulsar sus metas y objetivos. En muchos casos, estos líderes tienen mucho éxito o un éxito extraordinario; sin embargo, no es posible afirmar que esto sea la norma, más bien es la excepción. En general, para la gran mayoría de situaciones, el control de emociones predice mejor el éxito de una persona.

El rasgo de neurotismo representa la tendencia de una persona a exhibir un ajuste emocional pobre o adecuado y poder controlar la sensación de sentimientos negativos

como la ansiedad, inseguridad u hostilidad por parte de otros. Mientras más alto en la pirámide organizacional se encuentre un individuo, mayores probabilidades tiene de exponerse a situaciones de alto estrés, con lo cual se vuelve mucho más importante el poder controlar sus emociones. Un aspecto muy importante, y quizá relegado, es que el control de las emociones no implica únicamente el reprimirlas o eliminarlas, sino ajustarlas de acuerdo con la situación. Es decir, si el individuo se encuentra en un evento social donde es importante demostrar entusiasmo, energía y socialización, la capacidad de “soltar” dichas emociones se vuelve importante. Por otro lado, si existe una situación de conflicto donde parte de la estrategia es demostrar autoridad o enfatizar la importancia de algún punto en la discusión, “soltar” (de forma controlada) alguna afirmación para defender su posición puede ser útil. No se trata de reprimir o eliminar las emociones, sino de controlarlas para disimularlas en ciertas situaciones o expresarlas y utilizarlas a su favor.

- *Extroversion* (extroversión)

Este rasgo demuestra que, típicamente, una persona extrovertida tiene más probabilidades de escalar más alto en su carrera. El cuadro presenta una asociación positiva con todos los factores de éxito extrínseco e intrínseco, tanto directa como indirectamente. Esto demuestra que las características personales como sociable, hablador, activo y afectivo tienen una asociación clara y directa con el éxito profesional de una persona. Al mismo tiempo, el otro extremo (puntaje negativo) del rasgo de *extroversion* (extroversión) demuestra clara y directamente que las características de solitario, callado, pasivo y reservado no tienen un impacto positivo en la carrera profesional de una persona.

Tabla 8
The Big Five personality traits, *características de extroversion (extroversión)*

<i>The Big Five</i>	Puntaje bajo (-)	Puntaje alto (+)
<i>Extroversion</i> (extroversión)	Solitario	Sociable
	Callado	Hablador
	Pasivo	Activo
	Reservado	Afectivo

Fuente: Lim (2020)

Los resultados son claros respecto a los beneficios de ser extrovertido para alcanzar una carrera profesional exitosa. Vale la pena resaltar, sin embargo, que existen muchos casos de personas introvertidas que han llegado lejos en sus carreras profesionales. El ser introvertido no implica una condena a no alcanzar el éxito profesional. Existen posiciones que por su naturaleza, industria o contexto general requieren de un perfil

más introvertido. Sin embargo, es más usual encontrar posiciones que requieran un perfil extrovertido para desenvolverse mejor, sobre todo en posiciones de liderazgo como el de un gerente de proyectos.

- *Conscientiousness* (autoconciencia)

Este rasgo en particular tiene resultados algo difíciles de interpretar a pesar de que la tabla 2 muestra una asociación negativa con todos los factores de éxito extrínseco e intrínseco, tanto directa como indirectamente. En teoría, el resultado debería demostrar que las características personales como negligente, holgazán, desorganizado y tardón tienen una asociación clara y directa con el éxito profesional de una persona. Sin embargo las conclusiones del estudio demuestran que no existe una asociación significativa con los elementos extrínsecos o intrínsecos de éxito.

Tabla 9

The Big Five personality traits, *características de conscientiousness (autoconciencia)*

<i>The Big Five</i>	Puntaje bajo (-)	Puntaje alto (+)
<i>Conscientiousness</i> (autoconciencia)	Negligente	Concienzudo
	Holgazán	Trabajador
	Desorganizado	Bien organizado
	Tardón	Puntual

Fuente: Lim (2020)

Una de las posibles explicaciones es que, debido a los resultados mixtos, el resultado general no es significativo, pues diferentes factores obtuvieron resultados extremos (puntaje alto versus puntaje bajo), y cuando se busca un resultado general, este resulta siendo nulo. Al parecer, este rasgo no afecta de forma significativa al éxito extrínseco o intrínseco de la carrera profesional de una persona.

Lo cierto es que cualquier profesional con personas a su cargo preferiría tener miembros de equipo que tengan características personales como concienzudo, trabajador, bien organizado y puntual (características del puntaje alto) entre sus filas. Sin embargo, si lo vemos desde una perspectiva individual, estas características parecen no influir de forma significativa en el éxito o fracaso de la carrera profesional de alguien. Una posible explicación a esto puede estar en el nivel organizacional sobre el cual el análisis se realizó. Puede que el tipo de perfil evaluado tenga resultados neutros, pues en la etapa profesional en la que se encuentran ya no es necesario poseer características de ninguno de los dos extremos, obteniendo como conclusión el resultado neutro o con poca influencia en el éxito profesional de alguien.

- *Openness* (apertura)

El último rasgo reveló ser el más inconsistente en sus resultados, obteniendo puntajes mixtos. Sin embargo se logró identificar que personas con un puntaje alto de apertura tenían una mayor probabilidad de tener un título profesional y que tenían una asociación negativa respecto al número de ascensos durante su carrera.

Tabla 10
The Big Five personality traits, *características de openness (apertura)*

<i>The Big Five</i>	Puntaje bajo (-)	Puntaje alto (+)
<i>Openness</i> (apertura)	Práctico	Imaginativo
	Poco creativo	Creativo
	Convencional	Original
	Poco curioso	Curioso

Fuente: Lim (2020)

Lo cierto es que no es posible asociar el éxito de una carrera profesional a ninguno de los dos extremos. Esto debido a que existen muchas posiciones en el mundo profesional que requieren uno u otro extremo del espectro de este rasgo de personalidad. Posiciones más creativas donde se valora y requiere una mentalidad abierta, innovadora y dispuesta a adaptarse a los cambios constantes requieren de un puntaje alto de apertura. Posiciones que valoran y requieren una mentalidad más estructurada, eficiente y orientada a resultados demandan una mentalidad más práctica, ordenada y realista. Los resultados demuestran que ambos casos son válidos para una carrera profesional exitosa, solo depende del contexto donde se aplique. En el caso de un gerente de proyectos, profesionales con características personales como práctico, poco creativo, convencional y poco curioso tienen una asociación clara y directa con el éxito profesional.

En la tabla 11 se muestra el que sería el perfil ideal de un gerente de proyectos; sin embargo, este resultado puede aplicarse a muchos ámbitos, carreras y perfiles profesionales. Para el presente estudio estamos acotando el resultado a perfiles de gerentes de proyectos de tecnologías de información y comunicaciones que apliquen marcos de trabajo ágiles o el *agile mindset*. De acuerdo con los resultados de los dos estudios citados anteriormente, un profesional con estas características sería vital para alcanzar el éxito del proyecto que lidere.

Los tres primeros rasgos de *The Big Five* mostrados en la tabla (afabilidad, neurotismo y extroversión) son los más determinantes y aquellos que otorgan más pistas sobre las características personales que un líder debería, idealmente, poseer para asegurar el éxito de un proyecto. Es importante recordar que ningún extremo es bueno. El perfil descrito junto con sus rasgos y

características no debería ser tomado como algo excluyente de otros perfiles o como una verdad absoluta para todos los contextos profesionales. Un líder debe ser capaz de adaptarse a diferentes situaciones. Por ejemplo, un gerente de proyecto no siempre deberá ser desconfiado con los resultados que los miembros de su equipo le presenten. Es importante tener la capacidad de serlo, pero no es sano para nadie, ni para la organización, que exista la sensación de desconfianza de forma perenne en la dinámica de trabajo. Sin embargo, es preferible que un gerente de proyectos tenga la capacidad de ser desconfiado y no serlo, a ser confiado y ser incapaz de desconfiar de alguien porque no es parte de su personalidad. Esta misma lógica se aplica para los otros rasgos y características.

Tabla 11
The Big Five personality traits, *perfil ideal de un gerente de proyectos*

Rasgo <i>The Big Five</i>	Puntaje bajo (-)	Puntaje alto (+)
	X	
<i>Agreeableness</i> (afabilidad)	<ul style="list-style-type: none"> • Desconfiado • Crítico • Despiadado • Irritable 	
	X	
<i>Neuroticism</i> (neurotismo)	<ul style="list-style-type: none"> • Calmado • Ecuánime • Confortable • Impasible 	
		X
<i>Extroversion</i> (extroversión)		<ul style="list-style-type: none"> • Sociable • Hablador • Activo • Afectivo
<i>Conscientiousness</i> (autoconciencia)	~	
	No afecta el resultado de forma significativa.	
	X ~	X ~
<i>Openness</i> (apertura)	Depende del contexto	
	Práctico	
	Poco creativo	
	Convencional	
	Poco curioso	

Elaboración propia

Determinar los rasgos y características de personalidad de alguien puede ayudarnos a predecir muy bien el nivel de éxito profesional que alcanzará y, para este caso particular, si sería un buen gerente de proyectos. Sin embargo, existen otras variables que pueden influenciar también en el éxito o fracaso que puede alcanzar un gerente de proyectos o cualquier profesional. Una de estas variables, y que resulta ser vital para superar el complejo y competitivo mundo profesional de hoy en día, es la habilidad política. En muchos casos, esta es la diferencia entre el éxito y el fracaso de un profesional, y, por lo tanto, de un proyecto, programa o un portafolio entero.

2.5 Política en la organización

La política en la organización no puede ser calificada de buena o mala. Una palabra acertada para calificarla sería “inevitable”. La política en la organización sucede en todos los niveles, variando su intensidad, encontrándose mucho más presente en los niveles organizacionales más altos, donde también suele ser más relevante y crítica para alcanzar objetivos o lograr que las cosas sucedan. La política en la organización puede ser calificada como controversial, pero prevalente en los roles de liderazgo de —virtualmente— todas las organizaciones con y sin fines de lucro. Antes de continuar, es importante tener claro a qué nos referimos con política. Existen varias definiciones. Algunas de las que se han considerado son las siguientes:

- Según Pfeffer (1992) y Mintzberg (1983)
Describe el ejercicio informal de poder e influencia en el lugar de trabajo, usualmente ocurre en condiciones de incertidumbre o ambigüedad para depender una agenda personal o grupal.
- Según Catherine Lilly (University of Michigan), Lilly (2016)
Un conjunto de dinámicas subyacentes no relacionadas con reglamento interno formal, procedimientos o estructuras. Estas dinámicas influyen nuestros comportamientos y resultados dentro a una organización.
- Existe una definición adicional, también por parte de Lilly (2016), pero con un ángulo maquiavélico y que lamentablemente suele ser el más común.
Acciones realizadas por individuos que impulsan su interés propio, siendo este su objetivo principal, con indiferencia por el bienestar de otros o el beneficio de la organización.

En el estudio de Elena Doldor (2017), llamado “From Politically Naïve to Politically Mature: Conceptualizing Leaders’ Political Maturation Journey”, se detalla una investigación realizada sobre 38 líderes de dos firmas globales del Reino Unido. Una de tecnología y la otra de consumo masivo. En este se encontró que los profesionales expuestos a la política dentro de una organización pasan por tres etapas de evolución o maduración:

a. Etapa 1: ingenuidad y descubrimiento

Los líderes en esta etapa ven a la política como un conjunto de aspectos accidentales del trabajo, ilegítimos y disruptivos que deben ser evitados o contenidos. Asimismo, mantienen una actitud pasiva y de no involucramiento.

b. Etapa 2: afrontamiento y resistencia

Los líderes en esta etapa ven a la política como un conjunto de aspectos constantes del trabajo que es tanto disruptivo como útil y que es necesario afrontarlo. Asimismo, mantienen una actitud reactiva con cierta resistencia, ambivalencia y tienen dudas sobre si deben involucrarse.

c. Etapa 3: apalancamiento y competencia

Los líderes en esta etapa ven a la política como un conjunto de aspectos inherentes al trabajo que deben servir como palanca para lograr las cosas. Asimismo, mantienen una actitud proactiva, de anticipación de amenazas y oportunidades políticas y conflictos selectivos.

Otro descubrimiento del estudio de Doldor (2017) fue que mientras menos experiencia tuviera un líder, era más reacio a entrar en temas políticos dentro de la organización; es decir, se encontraban en la etapa 1. Mientras más *seniority* tenga un líder, más dispuesto estará a entrar en la política dentro de la organización, llegando incluso a utilizarla como parte fundamental de su dinámica laboral.

La habilidad política de un líder, específicamente de un gerente de proyectos, es vital para incrementar considerablemente las probabilidades de éxito de un proyecto. Esto debido a que los proyectos casi siempre forman parte de una organización más grande que estos, por lo que existen muchas partes móviles y dependencias externas al equipo que podrían suponer bloqueos, dificultades o incluso riesgos más grandes. La disposición y sobre todo la habilidad política del líder para navegar este tipo de aguas suponen una diferencia esencial.

Por otro lado, un aspecto más común del gerenciamiento de un proyecto, sea grande o pequeño, y donde la habilidad política del líder puede suponer una gran ventaja, es la gestión de *stakeholders*. En la literatura de gestión de proyectos, y sobre todo en la vida real, existen *stakeholders* de todo tipo y con diferentes grados de involucramiento, poder e intereses. Es importante saber lidiar con esto; y un aspecto relegado dentro de la literatura que genera un vacío en el conocimiento es la importancia de la habilidad política de un líder para lidiar con todos los aspectos inherentes de gestionar *stakeholders*.

El tema de la política en la organización es muy amplio y merece un estudio independiente para profundizar como se debe. Su importancia como parte del perfil de cualquier líder, y específicamente de un gerente de proyectos, es innegable.

3. RESULTADOS

Para poder aplicar la agilidad como se debe y obtener resultados que generen valor para las organizaciones y personas, es necesario contar con líderes que tengan la capacidad de gestionar como el mundo real lo requiere. Estos líderes requieren de diversas habilidades, conocimientos y experiencia. Los aspectos listados en este estudio son solo una parte de lo que debería contemplar el perfil de un líder. Sin embargo, son justamente estos aspectos los más olvidados y más difíciles de desarrollar en una persona. También son los más críticos y lo que hace la diferencia entre el éxito y el fracaso de un proyecto, así como el proteger el bienestar de las personas que lo ejecutan.

Algunos de estos aspectos rompen paradigmas o creencias populares que, de alguna forma, llegaron a distorsionar la manera en que realmente funciona una gestión efectiva y eficiente en la realidad. Los resultados son claros. Es necesario que los líderes que están al frente de cualquier proyecto cuenten con los rasgos de personalidad correctos y la habilidad política necesaria para desenvolverse a la altura que requiera su iniciativa.

4. CONCLUSIONES

La teoría y la práctica son dos caras de una misma moneda. Lo que se enseña en teoría muchas veces no es aplicable a la realidad, por diversas razones, y suelen ser muy diferentes. Sin embargo, ambos aspectos son necesarios para ejecutar con éxito cualquier ejercicio, sobre todo en el ámbito profesional.

Existen muchas formas de caer en romanticismo al momento de gestionar un proyecto pretendiendo aplicar un marco de trabajo ágil o el *agile mindset*. Para evitar esto es necesario contar con un líder que tenga la experiencia necesaria o al menos uno que sea guiado por alguien que la tenga. Igual de importante es reconocer y ser objetivo sobre estos romanticismos y no ocultarlos.

Los rasgos de personalidad que requiere un líder para gestionar un proyecto varían de acuerdo al contexto en el que se encuentre (industria, organización, cultura, tamaño del proyecto, *stakeholders*, etcétera). Sin embargo, hay rasgos esenciales que debería tener todo líder para evitar caer en los romanticismos de la agilidad y saber batallar en la arena política de una organización. Estos rasgos y habilidades incrementarán sustancialmente las probabilidades de éxito de cualquier proyecto que lidere.

La política dentro de una organización es un aspecto inevitable de la dinámica laboral. Es posible afirmar también que la arena política puede variar en su intensidad según el contexto (industria, tipo de organización, cultura, tamaño de la organización, país, etcétera) donde se lleve a cabo. Un buen gerente de proyecto sabrá navegar en estas aguas no solo para evitar

impactos negativos en el proyecto que lidere, sino también para apalancarse en esta y generar beneficios reales para el proyecto, su equipo y la organización en general.

REFERENCIAS

- Boudreau, J. W., Boswell, W. R., y Judge, T. A. (1999). *Effects of Personality on Executive Career Success in the U.S. and Europe*. Cornell University, School of Industrial and Labor Relations, Center for Advanced Human Resource Studies.
- Doldor E. (2017). From Politically Naïve to Politically Mature: Conceptualizing Leaders' Political Maturation Journey. *British Journal of Management*, 28(4), 666-686. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.12219>
- Dulewicz, V., y Higgs, M. (2005). Assessing Leadership Styles and Organisational Context. *Journal of Managerial Psychology*, 20(2), 105-123. <https://doi.org/10.1108/02683940510579759>
- Judge, T. A., Cable, D. M., Boudreau, J. W., y Bretz Jr, R. D. (1995). An Empirical Investigation of the Predictors of Executive Career Success. *Personnel psychology*, 48(3), 485-519.
- Lilly, C. [U-M LPDTV]. (2016). *Organizational Politics with Catherine Lilly* [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=ih7eq8bdao4>
- Lim, A. (2020). *The Big Five Personality Traits*. Simply Psychology. <https://www.simplypsychology.org/big-five-personality.html>
- Mintzberg, H. (1983) *Power in and around Organizations*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Müller, R. y Turner, R. (2010). Leadership Competency Profiles of Successful Project Managers. *International Journal of Project Management*, 28(5), 437-448. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.09.003>
- Pfeffer, J. (1992). Understanding Power in Organizations. *California Management Review*, 34(2), 29-50. <https://doi.org/10.1177/000812569203400201>
- Scaled Agile Framework. (2021). *SAFe Lean-Agile Principles*. <https://www.scaledagileframework.com/safe-lean-agile-principles/>

BIBLIOGRAFÍA

- Beck, K., Beedle, M., Bennekum, A. van., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., Grenning, J., Highsmith, J., Hunt, A., Jeffries, R., Kern, J., Marick, B., Martin, R. C., Mellor, S., Schwaber, K., Sutherland, J., y Thomas, D. (2001). *The Agile Manifesto*. <https://agilemanifesto.org>

Fernández del Pomar, M. A. (2021). Gestión de proyectos de sistemas de información. Conectando el *agile mindset*, la motivación y el liderazgo para la generación de equipos de alto desempeño. *Actas del Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas* (pp. 191-209). <https://doi.org/10.26439/ciis2018.5464>

Project Management Institute. (2017). *Agile Practice Guide*. Project Management Institute.

Security Competence as an Integral Part of Competence-Based Learning Approach: Russian and European Experience

Yana Goncharova

yana.goncharova@unicampania.it

University of Campania “Luigi Vanvitelli”, Italia

Tatyana Savchenko

savchenkor@yandex.ru

Pyatigorsk State University, Russia

Olga Sheveleva

olga431531@yandex.ru

Dubna State University, Russia

Recibido: 31/7/2021 Aceptado: 22/9/2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5581>

ABSTRACT. Since the end of the 20th century, educational standards have been changing, and many countries have switched from a traditional approach to a competence-based one. Despite the numerous works on the issue, there is still no standardized definition of competencies and their components. The study of the competencies, including new digital competencies, is necessary because education within the framework of the competence-based approach helps to reduce the gap between theory and practice, which makes it possible to train specialists ready to work in a new digital era, where one of the main tasks is the formation of the digital economy. The digital economy implies the development and creation of digital, high-tech products within the country. The ability to safely operate digital products is reflected in security competence, which is important not only in professional activities but also when using the internet, computer programs, and so on, for personal purposes. In this article, we will analyze different approaches to the concept of security competence within the prism of competence-based learning in Russia and Western countries, including European and American experiences.

KEYWORDS: competence / competence-based approach / security competence / digital economy

COMPETENCIA EN SEGURIDAD COMO PARTE INTEGRAL DEL ENFOQUE DE APRENDIZAJE BASADO EN COMPETENCIAS: EXPERIENCIA RUSA Y EUROPEA

RESUMEN. A partir de finales del siglo xx, los estándares educativos han ido cambiando y muchos países han pasado del enfoque tradicional al basado en competencias. A pesar de los numerosos trabajos sobre el tema, aún no existe una definición estandarizada de competencias y sus componentes. El estudio de las competencias, incluidas las nuevas competencias digitales, es necesario porque la educación en el marco del enfoque por competencias ayuda a reducir la brecha entre la teoría y la práctica, lo que permite formar especialistas preparados para trabajar en una nueva era digital, donde una de las principales tareas es la formación de la economía digital. La economía digital implica el desarrollo y la creación de productos digitales de alta tecnología dentro del país. La capacidad para operar productos digitales de manera segura se refleja en la competencia en seguridad, que es importante no solo en las actividades profesionales, sino también cuando se usa internet, programas de computadora, etcétera, para fines personales. En este artículo analizaremos diferentes enfoques del concepto de competencia en seguridad dentro del prisma del aprendizaje basado en competencias en Rusia y los países occidentales, incluida la experiencia europea y estadounidense.

PALABRAS CLAVE: competencia / enfoque basado en competencias / competencia en seguridad
/ economía digital

1. COMPETENCIES: INTRODUCTION

Between the end of the 20th and the beginning of the 21st century the traditional education systems have been notably modified. The competence-based approach is becoming particularly relevant, making the learning process more elaborate and complex than just knowledge acquisition and assessment. It aims to develop a teaching concept that helps graduates take part in further professional activities and be able to update and constantly improve their level of knowledge, skills and abilities. The competence-based approach and competencies are the most important basis for solving the problem of integrating a young specialist into the common European labor market, the aim that traditional models of higher education cannot satisfy. In this article, we will analyze the basic concepts and theories of the competence-based approach and focus on its specific segment, digital competencies and, in particular, security competence. In the second part of the article, we will focus on examining the components of the security competence. We will try to find out what different authors mean by this competence and whether the competence is ranked by levels and considered through the prism of knowledge and skills and abilities or not. We have studied a wide range of literature both in English and Russian. The study mainly uses the comparative method of research.

2. THE BACKGROUND OF THE PROBLEM

The first steps towards the competency-based approach were made in the USA in the sixties. Then the leading role in the process of modernization was played the National Skill Standards Act (1994) that established the National Skill Standards Board. This was the first serious attempt to classify and define competencies, and introduce adequate methods to assess students within the framework of the competence-based approach to education. In 1997, the Dearing Report appeared in the UK, raising some points of continuous learning and skills improvement of specialists throughout their lives. As a result, the Learning Skills Council was created. Australia (Technical and further education courses - TAFE) and New Zealand (the National Qualification Framework) joined this process. The last-named country introduced an eight-step system teaching and student assessment system within the competence-based approach paradigm (Voorhees, 2001). If the competence-based and practice-oriented approaches were considered the prerogative of secondary vocational institutions in the initial period, for the last 20 years they have been actively adopting for higher education. For example, in the United States, in concordance with the National Skill Standard Board several colleges introduced the principles of the competence-based approach for bachelor's programs, such as Western Governors University, Kings College, Alverno College, Northwest Missouri State University (Voorhees, 2001). Researchers and teachers at that period concentrated their forces on defining of competency-based approach and developing systems for assessing success for any given competence applicable to higher education (Kate Ford, 2014).

Russia has also joined the process of modernizing the education system inherited from the Soviet period. As a result, the Bologna Declaration on the formation of common European educational space came into force. This Declaration was signed by Russia in September 2003, although the attempts in this area were done even before. One of the main principles of the Bologna Declaration is the competence-based approach to assessing learning outcomes, which is affirmed in the educational policy of the Russian Federation, in the Federal State Educational Standard and the State Program for the Development of Education 2013-2020 and 2020-2025. This approach is aimed at “overcoming the main drawback of the existing system of professional training: the gap between theoretical and practical aspects of the professional activity formed in the course of training” (Nyushchenko, 2012). The importance of this transformation can be illustrated with statistics data. Only 27,4% of the university graduates can get a job in their degree field due to the lack of practical focus of knowledge offered at the university and its weak correlation with the tasks and conditions of professional activities (Bordovskiy *et al.*, 2001). There is an increasing gap between the quality of education and the growing number of competence requirements for specialists, and students do not associate higher education with real market competitiveness (Volkov *et al.*, 2007).

3. WHAT IS COMPETENCE?

At the moment, there is no standardized definition of the concept of competence; each of them emphasizes this or that aspect of the term. The main components of the competencies, which the overwhelming majority of authors agree with, are knowledge, skills, and abilities (Sá & Serpa, 2020; Lasić *et al.*, 2020; Periañez *et al.*, 2019; Rizza, 2014; Falloon, 2020; Gallego *et al.*, 2019; Tomczyk, 2020; Ferrari, 2013; Barragán-Sánchez *et al.*, 2020; Carretero *et al.*, 2017; Gussyatnikov *et al.*, 2014; Bogatyreva, 2013). Some authors combine skills and abilities into one component (Sá & Serpa, 2020), defining it in a formula ‘I know how to do and I can do it’, others unite all three components and name it as the cognitive component of competence (Periañez *et al.*, 2019; Garafutdinova & Soloshenko, 2013). It is worthwhile noting that most authors identify more than only three main components of competence, such as knowledge, skills, and abilities. Even though the fact that these three components do not raise doubts among the majority of authors, questions about other components that should be included and considered an integral part of competencies remain open. Some researchers emphasize the importance of personal qualities necessary for the performance of professional activities (for example, Common European Competence of Speaking in a Foreign Language), the motivational component (Sá & Serpa, 2020; Lasić *et al.*, 2020; Rizza, 2014; Falloon, 2020; Ferrari, 2013; Barragán-Sánchez *et al.*, 2020; Carretero *et al.*, 2017), as well as the ability to apply knowledge and skills when solving both streaming tasks (Periañez *et al.*, 2019; Rizza, 2014; Tomczyk, 2020; Ferrari, 2013; Barragán-Sánchez *et al.*, 2020; Carretero *et al.*, 2017), and acting in abnormal situations (Periañez *et al.*, 2019; Falloon, 2020; Barragán-Sánchez *et al.*, 2020; Carretero *et al.*, 2017).

Some authors highlight a number of other components, such as experience (Sá & Serpa, 2020), emphasizing that it gives confidence and stability and allows work in difficult conditions. They also distinguish social experience as “the ability to understand oneself and others under the conditions of the dynamics of mental states, interpersonal relations and conditions of the social environment” (Gallego *et al.*, 2019; Tomczyk, 2020). Others note that competence arises from self-development of the individual and his personal development, self-awareness, and reflection in the process of cognitive process (Nazmutdinov & Yusupova, 2013), stress the importance of learning and appropriating social norms, values, and attitudes towards their profession (Tsydyanova *et al.*, 2016).

NPEC workgroup gives the following definition – competency ‘is a combination of skills, abilities and knowledge needed to perform a specific task (US Department of Education, report of the NPEC on Competency-Based Initiatives in Postsecondary Education, 2002). In Russian literature, this term has been expanded: competence ‘is a combination of knowledge, skills, and abilities, a specialist’s willingness for activity and the ability to carry out practical activities’ (Pyrkova, 2015). The essential characteristics of competence are personality-determined qualities that are manifested by a specialist in his or her perception and the final results. Competence is an ability to apply knowledge, skills, and personal qualities for successful activities in a particular professional area (Tsydyanova *et al.*, 2016). In this study, we will use this as a working definition.

Researchers identify vital competencies that form the basis for professional activity in any field. They differ markedly from strictly educational competencies. There is no consensus on the issue of key competencies or even their number (from 3 to 37 positions).

4. FEATURES AND SPECIFICS OF TODAY’S COMPETENCE-BASED APPROACH TO LEARNING

We are currently in the sixth generation of competency-based programs. The term “competency-based approach” has been actively used in teaching methods for over a decade, including Russian researchers. It is a set of general principles necessary to determine the goals of education, the content selection, and the organization of the educational process (Lebedev O.E., 2004). The competency-based approach as a methodological guideline determines new methods and technologies of teaching, contributes to the development of students’ independence, initiative, creativity and critical thinking, and sets a benchmark for practical effective results.

State Educational Standard of Higher Professional Education in Russia defines the competency-based approach as “a method of modeling education results as norms of its quality” (Pyrkova, 2015). The peculiarity of the competence-based approach is that in the learning process, not only ready-made knowledge is acquired, but also the conditions for the

origin of this knowledge are traced. The methodology is based on learning through activity. This approach is necessary to eliminate the gap between theory and practice. In the context of education, the emphasis is placed on subjective experience and practice-oriented tasks. Students must learn to work with redundant information, independently select and structure it.

In the process of training, independent cognitive activity prevails, both individual and collective, and the ability to create your educational products. In this case, students should have the right to make mistakes, and the prevailing methods should be those that ensure personal self-development. In the competence-based approach, personal qualities that help a person become a successful member of society (positive self-esteem, tolerance, empathy, the ability to cooperate and self-respect, and innovation and creativity) come to the fore.

The competency-based approach helps to make education individually oriented and solves the problem connected with the personal characteristics of every single student's learning. Everyone can form so-called learning bundles at his or her own pace that are requested to solve this or that particular problem. Modern pedagogy is concerned with the definition and systematization of competencies, and combining them into bundles (Voorhees, 2001).

It is also essential that each competence at each level has a transparent assessment system with precise results. Both the learning and assessment processes should be transparent and comprehensible to all participants.

Thus, the concept of competence of a specialist as a goal of education is much wider than knowledge, skills, and abilities. It is more capacious and includes, in addition to knowledge, skills, and abilities, individual motivational, cognitive, and behavioral components of a specialist, as well as ethical, social, and behavioral ones. In turn, professional competence is the readiness of an individual to mobilize personal resources (organized in a system of knowledge, skills, abilities and personal qualities) necessary to effectively solve professional tasks in typical and abnormal situations, including the value attitude of an individual these situations.

As for the Russian point of view on the problem, analyzing the current situation in the education system, Konstantinovskiy *et al.* (2015) conclude that higher education becomes entrepreneurship, and the university is "not a temple of science, but a market place in the broadest sense of this concept." Under the influence of external factors, universities are transformed into economic corporations "which are managed as corporations associated with the production and dissemination of knowledge. All the components of the university structure are self-determined on the basis of characteristics of competitiveness and profitability" (Konstantinovskiy *et al.*, 2005). It is with the formation of the competence of future specialists that today the quality of higher education should be associated, which ensures the competitiveness of a specialist in the labor market.

5. SECURITY COMPETENCIES

Since the middle of the past century, there has been rapid development and spread of digital technologies that recently determined the development the pathway of the economy and society. The evolvement of the digital economy is one of the priority areas for most countries. The digital economy involves the development and creation of digital, high-tech products in the home country. As a result of these modifications, the requirements for modern specialists are changing and rising, and new digital competencies are becoming more relevant. The researchers in the field notice that today's pandemic has become another proof of the urgent need to develop digital competencies. Many business processes, including the educational process, have been transferred into the digital environment. According to estimates, even when all temporary restrictive measures are lifted, many of the online processes will remain in a digital environment (Sá & Serpa, 2020; Lazić, 2020; Barragán-Sánchez *et al.*, 2020). For this reason, the acquisition of digital competencies in today's context is not a superfluity but a necessity. 'Digital competencies is the general term used to describe or explain the ability (of a citizen, a student, a teacher, etc.) to use information technology (IT) in a specific context' (Caroline Rizza, 2014).

Many definitions of digital competencies focus not only on the usage but on the effectiveness of IT (Falloon, 2020). The concept of effective use of technology includes not only the ability to use digital products but also to use them correctly and safely. Cyber security is the practice of defending computers, servers, mobile devices, electronic systems, networks, and data from malicious attacks. It's also known as information technology security or electronic information security¹.

The ability to operate digital products safely is reflected in *digital security competence, or security competence in the information society*. At this stage of technological development, the acquisition of security competence, even at different levels, is necessary not only for security professionals but also for employees in other areas. Most of the workforce in the world is employed in areas where, in one way or another, you have to work with digital data, computer programs and use the Internet. Acquisition of security competence is also important not only in professional activities but also when using the Internet, computer programs, and so on, for personal purposes.

Periáñez-Cañadillas *et al.* (2019) studied how development and improvement of digital competencies can influence the carrier of graduates. The connection between developed security competence, as a part of digital competencies, and the candidate's suitability for this or that job was established. The importance of security competence is also confirmed by the data on the growth of costs (losses) caused by IT crimes. The global cost of digital crime in 2015

1 For more information: *What is Cyber Security? Definition, Types, and User Protection*, Kaspersky, 2021

was 3 trillion US dollars; these costs will continue growing by 15% annually and will have reached 10.5 trillion US dollars by 2025. 95% of cybersecurity breaches are possible because of human error². In addition, it is expected that by 2022 the global information security market will have reached 170,4 billion US dollars³.

6. RESULTS

The importance of developing this competence among future specialists is beyond doubt; however, the questions of what is included in the security competence and how to develop and assess it remain open. The question of the list of components included in the security competence has not been widely discussed by researchers yet. We found several articles where the components of security competence are described. They are presented in table 1.

Table 1
Articles with components of security competence

Author	• Components of security competence	Comments
Gallego-Arrufat <i>et al.</i> , 2019	<ul style="list-style-type: none"> • know how to interact through technologies, sharing of digital information and contents, • protect personal data, • protect health, • know the basic principles of netiquette, • understand digital identity, • be able to resist cyberbullying on social networks and Internet 	The listed components are described in more detail in the article (since this description is quite capacious, we do not insert it completely here). The authors divide all components of competencies into 3 groups: knowledge, attitudes, abilities and practices.
Tomczyk, 2020	<ul style="list-style-type: none"> • be aware of technical safety while using media; • be able to assess of the credibility of online information; • perform safe interactions with other users; • respect anonymity; • create secure logins and passwords; • take into account copyright. 	Authors consider these components, except for the last one, as a part of knowledge. The last component (copyright) is considered by the authors as a skill

(continues)

2 For more information: <https://www.cybintsolutions.com/cyber-security-facts-stats/>

3 For more information: <https://www.gartner.com/en/documents/3889055>

(continuation)

Ferrari, (2013)	<ul style="list-style-type: none"> • be able to protect own devices and • understand online risks and threats, • be aware of safety and security measures; • understand common terms of service, • use methods of active protection of personal data, • understand other's privacy, • protect yourself from online fraud, threats and cyber bullying; • avoid health-risks related with the use of technology in terms of threats to physical and psychological wellbeing; • be aware of the impact of ICT on the environment 	<p>Authors divide each component of the security competency into 3 levels and describe it separately (Foundation, Intermediate, Advanced). There is no division into knowledge, skills and abilities.</p>
Carretero, Vuorikari, Punie, 2017	<ul style="list-style-type: none"> • protect devices and digital content; • understand risks and threats in digital environments; • know about safety and security measures; • have a due regard to reliability and privacy; • protect personal data and privacy in digital environments; • understand how to use and share personally identifiable • information while being able to protect oneself and others from damages; • understand that digital services use a "Privacy policy" to inform how personal data is used; • be able to avoid health-risks and • threats to physical and psychological wellbeing while using digital technologies; • be able to protect oneself and others • from possible danger in digital environments (e.g. cyber bullying) be aware of digital technologies for social well-being and social inclusion be aware of the environmental impact of digital technologies and their use 	<p>Authors divide each component of the security competency into 4 levels (Foundation, Intermediate, Advanced, Highly specialized). There is no division into knowledge, skills and abilities</p>
Gusyatnikov, Bezrukov, Sokolova, 2014	<ul style="list-style-type: none"> • know trusted sources of information for solving problems in particular subject area; • know and comply with the requirements of legal acts in the field of protection of state, • commercial secrets and information • security in professional activities; • acquire methods of cybercrime prevention. 	<p>Authors indicate only knowledge and skills</p>

(continues)

(continuation)

Bogatyreva, 2013	<ul style="list-style-type: none"> • be able to navigate the information flows, • identify potential threats associated with the selection, • assessment and protection from information prohibited for distribution among children (SK-1); • be able to analyze, • evaluate and select hardware and software • for protection of information in order to form an informationsafe environment for educational process (SK-2); • use effectively the set of measures to counter unauthorized information impact on a student's personality, • take into account the legal framework, • developed hardware and software tools for protecting information and in name of • commercial importance. 	<p>The author does not divide the components of the security competence into groups, but it can be traced that the components of the groups described are knowledge, abilities, skills</p>
------------------	--	--

7. CONCLUSIONS

In the articles presented in table 1, some authors indicate among the components of competencies only knowledge, skills, and abilities; others do not carry out this division or indicate only some of the listed components (for example, only knowledge and skills). As described in the first part of this research, the main components of competencies, according to most authors, are knowledge, skills, and abilities, and many add different characteristics to this list (for example, personal qualities, experience, etc.) because the standard set cannot be perceived as complete and exhaustive.

According to the general principles of the competence-based approach to education, the same competence can be used in different ways by specialists from different fields and for solving a great variety of problems (Voorhees, 2001). For Ferrari (2013) and Carretero *et al.* (2017), the division of competence by levels is fundamental (for example, Foundation, Intermediate, Advanced), including while describing the security competence (the level of competence for IT professionals and a homemaker will differ significantly). The Internet and electronic devices will be used by groups of people in different ways, pursuing different goals. Among the works found only in the works of Ferrari (2013) (Foundation, Intermediate, Advanced) and Carretero *et al.* (2017) (Foundation, Intermediate, Advanced, Highly specialized), there is such a division; other authors do not consider it.

The training of competent members of society places new demands on the education system. The educational process organized in conformity with the competence-based

approach should ensure each person's entry into the culture and help to take place as a successful member of society. Based on the postulate that education is the basis for solving socio-economic problems of society, we consider it necessary to further deepen and clarify such concepts as competence, digital competencies, security competence. At the moment, as far as we know, there is no complete description of the security competence, which would consider knowledge, skills, and abilities along with additional components (experience, self-development, and personal growth, value orientation, etc.), as well as its division into levels (for example Foundation, Intermediate, Advanced). The development of security competence is an urgent task in nowadays' world, but the first stage to achieve it requires its full description with an indication of requirements ranked by levels.

REFERENCES

- Barragán-Sánchez, R., Corujo-Vélez, M.-C., Palacios-Rodríguez, A. & Román-Graván, P. (2020). Teaching Digital Competence and Eco-Responsible Use of Technologies: Development and Validation of a Scale. *Sustainability*, 12(18), 7721. <https://doi.org/10.3390/su12187721>
- Bogatyreva, Yu.I. (2013). Competences of Information Security in the Standards of Professional Training of a Teacher. *Izvestija Tula State University. Humanitarian Sciences*, (3-2), 26-38. [In Russian]
- Bordovskiy, G.A., Nesterov, A.A. & Trapitsyn, S.Yu. (2001) *Quality Management of the Educational Process*. Publishing house of the Russian State Pedagogical University 'A.I. Herzen'. [In Russian]
- Carretero, S., Vuorikari, R. & Punie, Y. (2017). *The Digital Competence Framework for Citizens: with Eight Proficiency Levels and Examples*. Joint Research Centre of the European Commission. <https://doi.org/10.2760/38842>
- Falloon, G. (2020). From Digital Literacy to Digital Competence: the Teacher Digital Competency (TDC) framework. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 2449-2472. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09767-4>
- Ferrari, A. (2013). *DIGCOMP: A Framework for Developing and Understanding Digital Competence in Europe*. Joint Research Centre of the European Commission. <https://doi.org/10.2788/52966>
- Ford, Kate. (2014). *Competency-Based Education. History, Opportunities, and Challenges*. UMUC Center for Innovation in Learning and Student Success (CILSS). <https://www.umgc.edu/documents/upload/competency-based-education.pdf>

- Gallego-Arrufat, M., Torres-Hernández, N. & Pessoa, T. (2019) Competencia de Futuros Docentes en el Área de Seguridad Digital. *Comunicar*, (61), 57-67. <https://doi.org/10.3916/C61-2019-05>
- Garafutdinova, G. R. & Soloshenko, L.P. (2013). Technology of Qualimetric Assessment of the Levels of Formation of Competencies of University Students. *Modern Problems of Science and Education*, 2. [In Russian]
- Gusyatnikov, V.N., Bezrukov, A.I. & Sokolova, T.N. (2014). Problems of Formation of Competencies in the Field of Information Security. *Regional Information Security*, 2(15), 27-31. [In Russian]
- Konstantinovsky, D.L., Ovsyannikov, A.A., & Pokrovsky, N.E. (2005). Sociology Development Trends and Sociological Education in Russia. *In the World of Russia. Sociology. Ethnology*, 1, Moscow (pp.89-119). In Russian
- Lasić Lazić, J., Milković, M. & Žigo, I. R. (2020). Digital Competences as Core Competences for Lifelong Learning. In the Materials of the Conference: *12th International Conference on Education and New Learning Technologies*, 5911-5915. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2020.1537>
- Lebedev, O. E. (2004). Competence approach in education. In *School Technologies* № 5 (pp.3-12). In Russian
- Nazmutdinov, V. Ya. & Yusupova G. R. (2013). Competence approach in training. *Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine 'N.E.Bauman'*. <https://cyberleninka.ru/article/n/kompetentnostny-podhod-v-obuchenii>. [In Russian]
- Nyushchenko, V. G. (2012). On the Readiness of the Teaching Staff to Implement the Competence-Based Approach in Teaching. *Materials of the III International Scientific and Practical Conference*, 264-266. [In Russian]
- Periáñez-Cañadillas, I., Charterina, J. & Pando-García, J. (2019). Assessing the Relevance of Digital Competences on Business Graduates' Suitability for a Job. *Industrial and Commercial Training*, 51(3), 139-151. <https://doi.org/10.1108/ICT-09-2018-0076>
- Pyrkova, T. A. (2015). Competence-Based Approach and Competences in the Assessment of Specialist's Training. *Education and Personal Development: Methods and Practice*, (18), 139-143. <https://cyberleninka.ru/article/n/kompetentnostny-podhod-i-kompetentsii-v-otsenke-podgotovki-spetsialista>. [In Russian]
- Rizza, C. (2014). Digital Competences. In A. C. Michalos (Eds.), *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research*, (pp. 1614-1619). https://doi.org/10.1007/978-94-007-0753-5_731

- Sá, M. J. & Serpa, S. (2020), COVID-19 and the Promotion of Digital Competences in Education. *Universal Journal of Educational Research*, 8(10), 4520-4528. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081020>
- Tomczyk, Ł. (2020). Skills in the Area of Digital Safety as a Key Component of Digital Literacy among Teachers. *Education and Information Technologies*, 25, 471-486. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09980-6>
- Tsydypova A. V., Tsyrenova I. B. & Lyubovnikova O. V. (2016). The Concept of 'Competence', 'Competency', 'Competence Approach' in Training. *Education and Personal Development: Methods and Practice*. <https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-kompetentsiya-kompetentnost-kompetentnostnyy-podhod-v-obuchenii>. [In Russian]
- US Department of Education & National Center for Education Statistics. (2002). *Defining and Assessing Learning: Exploring Competency-Based Initiatives, Report of the National Postsecondary Education Cooperative Working Group on Competency-Based Initiatives in Postsecondary Education*. National Postsecondary Education Cooperative (NPEC). <https://nces.ed.gov/pubs2002/2002159.pdf>
- Volkov, A., Livanov D. & Fursenko A. (2007). Higher Education: Agenda 2008-2016. *Innovative Education and Economy*, 12(1), 8-12. [In Russian]
- Voorhees, R. A. (2001). Competency-Based Learning Models: A Necessary Future. *New Directions for Institutional Research*, 2001(110), 5-13. <https://doi.org/10.1002/ir.7>

Modelo de reconocimiento de variables que influyen en el rendimiento de transacciones de RDBMS aplicando PCA y PCR

José Luis Ponce Vergara

ponce_joseluis@yahoo.com

Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido: 31/5/2021 Aceptado: 23/9/2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5581>

RESUMEN. El conocimiento de los factores que influyen en la eficiencia de un sistema es importante para su correcta administración y mantenimiento. Múltiples organizaciones soportan sus operaciones con aplicaciones que interactúan con un sistema de gestión de bases de datos relacional (RDBMS), las cuales pueden mejorar su eficiencia a través del conocimiento de los factores que influyen en el rendimiento de las ejecuciones de las sentencias SQL que conforman sus cargas de trabajo, especialmente las cargas de trabajo generadas por aplicaciones implementadas en ambientes de producción que manifiestan recurrencia en el tiempo. El artículo de investigación que se presenta propone un modelo de reconocimiento de factores que afectan el rendimiento de las ejecuciones de las sentencias SQL que se procesan en un RDBMS y discute la implementación de una técnica de predicción de métrica de rendimiento, valiéndose de los algoritmos de aprendizaje de máquina estadístico denominados Análisis de Componentes Principales (PCA) y Regresión de Componentes Principales (PCR), que explotan la información de los planes, estadísticas y métricas generadas durante el ciclo de vida de las ejecuciones de las sentencias SQL.

PALABRAS CLAVE: RDBMS / algoritmo de aprendizaje de máquina estadístico / PCA / PCR / rendimiento de ejecución de sentencias SQL / administración del rendimiento

RECOGNITION MODEL OF VARIABLES THAT INFLUENCE THE PERFORMANCE OF RDBMS TRANSACTIONS APPLYING PCA AND PCR

ABSTRACT. Knowledge of the factors that influence the efficiency of a system is essential for its administration and maintenance. Likewise, various organizations support their operations with applications that interact with a Relational Database Management System (RDBMS), which can improve their efficiency through knowledge of the factors that influence the performance of SQL statement executions. That makes up the workload, especially the workloads generated by applications implemented in Production environments that show recurrence over time. The present research article proposes a model for the recognition of factors that affect the performance of the executions of the SQL statements that are processed in an RDBMS and discusses the implementation of a performance metric prediction technique, using algorithms of statistical machine learning called Principal Component Analysis (PCA) and Principal Components Regression (PCR), which exploit the information of the plans, statistics, and metrics generated during the life cycle of the executions of the SQL sentences.

KEYWORDS: RDBMS / Statistical Machine Learning Algorithm / Principal Component Analysis, PCA / Principal Components Regression, PCR / SQL Performanc / Performance Management

1. INTRODUCCIÓN

El artículo de investigación tiene como objetivo generar un modelo que permita predecir la respuesta de un sistema de gestión de base de datos relacional (RDBMS), con una carga de trabajo conocida o recurrente, a través del conocimiento de los factores que influyen en el rendimiento de las ejecuciones de las sentencias SQL que se ejecutan en tal sistema. El contexto del artículo se enmarca en dos áreas de conocimientos conocidas como “ingeniería de características o atributos” (*feature engineering*) e “ingeniería de rendimiento de *software*” (*software performance engineering*). La ingeniería de características es la que selecciona los atributos más relevantes de conjuntos de datos considerables y que según Lam *et al.* (2017) es una tarea que requiere personal experto en esta área con amplio conocimiento del tema que se investiga. La ingeniería de rendimiento de *software* representa a las actividades dirigidas a cumplir los requerimientos de rendimiento, según Woodside *et al.* (2007).

Tener identificados los factores que gobiernan el rendimiento, y a partir de allí generar una estimación de rendimiento, permitirá gestionar de manera eficiente las operaciones que el RDBMS ejecuta a través del tiempo. Entiéndase al rendimiento (*performance*) de un sistema de información como un requerimiento no funcional (NFR, *non-functional requirement*) que se debe satisfacer para brindar un adecuado nivel de servicio.

El modelo planteado no influye ni condiciona *a priori* la determinación de los factores a considerar, y delega a los algoritmos de aprendizaje de máquina esa decisión. Cabe resaltar que se ha obviado información subyacente, que podría ser incluida en futuras investigaciones como, por ejemplo, características particulares del *hardware* del servidor de base de datos que aloja al RDBMS, pero que no desvirtúan los resultados obtenidos. De la manera planteada, el modelo es portable a un universo de plataformas mucho mayor.

La investigación propone un modelo que se fundamenta sobre las investigaciones previas realizadas en las siguientes dos áreas del conocimiento:

- a. Reducción de la dimensionalidad de un conjunto de datos para la identificación de los factores que influyen en el rendimiento de las ejecuciones de las sentencias SQL.

El objetivo de este esfuerzo es reducir el número de variables de un conjunto de datos observados sin perder su esencia numérica (medidas de tendencia y varianza). El modelo propuesto utiliza el algoritmo de aprendizaje de máquina estadístico Análisis de Componentes Principales (*Principal Component Analysis* [PCA]), que es una técnica de aprendizaje no supervisado reconocida para estos menesteres, lo cual se fundamenta en la evaluación hecha por Mikolajczyk y Schmid (2005). Asimismo, está probada su justificación y uso debido a la existencia de investigaciones que apoyan sus soluciones propuestas empleando el algoritmo PCA, entre las cuales se puede citar a Badrinath *et al.* (2015), Brauckhoff *et al.* (2015), Shyu *et al.* (2003) y Shawe-Taylor (2004).

- b. Predicción de respuesta del sistema sobre la base de componentes principales, utilizando el algoritmo Regresión de Componentes Principales (*Principal Components Regression* [PCR]), que utiliza los primeros “M” componentes principales, y usa estos componentes como variables independientes en un modelo de regresión lineal ajustado por mínimos cuadrados.

La idea clave es que generalmente un número reducido de componentes principales es suficiente para explicar la variabilidad de los datos, así como la relación con la respuesta o salida del sistema (variable dependiente) que se desea evaluar. Adicionalmente, con esta técnica se mitiga el problema del sobreajuste (*overfitting*) (James *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2015; Hadi y Ling, 1998).

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Estado del arte de la investigación sobre análisis de rendimiento de *software*

Las investigaciones relativas al tema se pueden clasificar bajo los siguientes tres enfoques.

- *Enfoque analítico*. Donde se modela al sistema de *software* como un conjunto de entidades servidoras dispuestas de diferentes maneras, que procesan tareas en un orden de llegada preestablecido. Abordan este enfoque Kleinrock (1976), así como Smith y Williams (2000). También se incluyen bajo este enfoque los modelos abstractos que con base en fórmulas y algoritmos reproducen los flujos reales de procesamiento e implementan cargas de trabajo simuladas (Duggan *et al.*, 2011).
- *Enfoque estadístico o de aprendizaje de máquina estadístico*. Basado y motivado por la existencia de datos relativos al tema que se investiga (*data-driven*), y algoritmos de aprendizaje de máquina. Este enfoque es el utilizado en este artículo. Bajo este enfoque se aprovechan las técnicas de análisis de regresión estadística, econométricas o algoritmos de aprendizaje de máquina, con un conjunto de variables de entrada y otro conjunto de datos con una o más variables de salida, las cuales se consideran dependientes de las entradas. Los conjuntos de observaciones para entrenar (*training*) y probar (*testing*) los modelos son finitos, siendo el primero de mayor cardinalidad que el segundo. El modelo resultante es un modelo predictivo, entrenado y puesto a prueba con observaciones previas, y que permite estimar los valores de las variables de salida ante ciertos valores asignados a las variables de entrada. Abordan este enfoque Bontempi y Kruijtzter (2002), Giusto *et al.* (2001), Lam *et al.* (2017).
- *Enfoque de simulación de sistemas*. Basado en la construcción de un modelo de simulación que captura las partes que marcan la cadencia del flujo de procesamiento del sistema de información que se estudia. El modelo de simulación imita el comportamiento en

tiempo de ejecución del sistema, con el objetivo de ganar conocimiento del sistema e identificar los cuellos de botella de este. Se puede consultar la investigación de Fortier y Michel (2003) para contar con una evaluación detallada de productos orientados bajo este enfoque.

2.2 Investigaciones previas en el campo de estudio

Para obtener una caracterización de la carga de trabajo SQL, Yu *et al.* (1992) utilizan un sistema *ad hoc* (REDWAR) que perfila sus estadísticas, indicadores, singularidades y métricas. Esta caracterización sirve como base para evaluaciones de tipo *benchmarking*. En la misma línea, Panda *et al.* (2015) amplían la investigación incluyendo bases de datos NoSQL.

De *et al.* (2001) realizan una investigación empírica de factores influyentes sobre el rendimiento de consultas en bases de datos orientadas a objetos, donde se concentran en la naturaleza de las consultas, sintaxis y semántica, así como en los modelos de datos de implementación. Este tipo de enfoques requiere revisar cuestiones de diseño y programación de un sistema de información, tales como el código de las consultas y el tipo de modelo de datos elegido, lo cual impide escalar con facilidad la propuesta a otras situaciones. Asimismo, Schkolnick y Tiberio (1985) plantean el desarrollo de fórmulas de costo para actualizaciones de bases de datos relacionales, como resultado de la evaluación de la sentencia a ejecutar, donde se consideran como variables de entrada a los tipos de datos y predicados utilizados como filtros. El autor propone que este costo calculado influye considerablemente tanto en el diseño del modelo de datos como en las rutas de acceso a los datos. Por otro lado, Ganapathi *et al.* (2009, 2015) plantean un procedimiento para predecir métricas de rendimiento, donde se incluye el tiempo de respuesta de una sentencia SQL y se toma como entrada los planes de ejecución de las sentencias SQL, así como sus resultados, para generar dos matrices: *Query Plan Feature Matrix* y *Performance Feature Matrix*. A partir de dichas matrices se generan proyecciones de rendimiento utilizando un motor de aprendizaje de máquina.

Como resultado de esta revisión, se observa que hay diferencias metodológicas al tratar de encontrar los factores de influencia en el rendimiento de las operaciones de un sistema de gestión de base de datos. Algunos enfoques analizan las sentencias SQL que conforman la carga de trabajo y sobre este análisis generan conclusiones (análisis de caja blanca), pero son más difíciles de generalizar por el trabajo que conllevan. Otros enfoques generan predicciones de rendimiento sobre la base de factores establecidos, y utilizan estos valores y los resultados obtenidos en las ejecuciones para entrenar y calibrar algoritmos de aprendizaje de máquina (análisis de caja negra). La investigación que se presenta sigue el enfoque de caja negra, por permitir generalizar su metodología a diversas situaciones.

El artículo presenta en la sección 3 la metodología que se sigue para generar el modelo de identificación de factores y predicción de rendimiento; luego, en la sección 4 se muestran

los resultados obtenidos por la aplicación del modelo en casuística real de ambientes de producción, y culmina con la sección 5 donde se presentan las conclusiones obtenidas en esta investigación.

3. METODOLOGÍA

La metodología toma como insumo las muestras de información relacionadas con la interpretación y ejecución de las sentencias SQL clasificadas en dos grupos:

- Grupo 1: datos previos a la ejecución de las sentencias SQL, relacionados con el análisis e interpretación de las sentencias SQL. Son las variables de tipo numérico contenidas en el historial de planes de ejecución de las sentencias SQL. Esta información es generada por el optimizador del motor de la base de datos antes de ejecutar las sentencias SQL (véase la tabla 1).

Tabla 1
Datos previos a la ejecución de las sentencias SQL

Columna	Tipo de dato	Nulidad	Descripción
DBID	NUMBER	NOT NULL	Database ID
PLAN_HASH_VALUE	NUMBER	NOT NULL	Numerical representation of the SQL plan for the cursor. Comparing one PLAN_HASH_VALUE to another easily identifies whether or not two plans are the same (rather than comparing the two plans line by line).
ID	NUMBER	NOT NULL	A number assigned to each step in the execution plan
OBJECT#	NUMBER		Object number of the table or the index
PARENT_ID	NUMBER		ID of the next execution step that operates on the output of the current step
DEPTH	NUMBER		Depth (or level) of the operation in the tree. It is not necessary to issue a CONNECT BY statement to get the level information, which is generally used to indent the rows from the PLAN_TABLE table. The root operation (statement) is level 0.
POSITION	NUMBER		Order of processing for all operations that have the same PARENT_ID
SEARCH_COLUMNS	NUMBER		Number of index columns with start and stop keys (that is, the number of columns with matching predicates)

(continúa)

(continuación)

COST	NUMBER	Cost of the operation as estimated by the optimizer's cost-based approach. For statements that use the rule-based approach, this column is null.
CARDINALITY	NUMBER	Estimate, by the cost-based optimizer, of the number of rows produced by the operation
BYTES	NUMBER	Estimate, by the cost-based optimizer, of the number of bytes produced by the operation
PARTITION_ID	NUMBER	Step that computes the pair of values of the PARTITION_START and PARTITION_STOP columns
CPU_COST	NUMBER	CPU cost of the operation as estimated by the optimizer's cost-based approach. For statements that use the rule-based approach, this column is null.
IO_COST	NUMBER	I/O cost of the operation as estimated by the optimizer's cost-based approach. For statements that use the rule-based approach, this column is null.
TEMP_SPACE	NUMBER	Temporary space usage of the operation (sort or hash-join) as estimated by the optimizer's cost-based approach. For statements that use the rule-based approach, this column is null.
TIME	NUMBER	Elapsed time (in seconds) of the operation as estimated by the optimizer's cost-based approach. For statements that use the rulebased approach, this column is null.

Elaboración propia

- Grupo 2: datos posteriores a la ejecución de las sentencias SQL. Son las variables de tipo numérico contenidas en el historial de estadísticas y métricas obtenidas luego de la ejecución de las sentencias SQL. Este grupo permitirá entrenar y evaluar al algoritmo de PCR para la predicción del valor deseado de rendimiento. En esta investigación se escoge el tiempo de respuesta (*elapsed time*) (véase la tabla 2).

Tabla 2
Datos posteriores a la ejecución de las sentencias SQL

COLUMNA	TIPO DE DATO	NULIDAD	DESCRIPCIÓN
SNAP_ID	NUMBER	NOT NULL	Unique snapshot ID
DBID	NUMBER	NOT NULL	Database ID for the snapshot
INSTANCE_NUMBER	NUMBER	NOT NULL	Instance number for the snapshot
PLAN_HASH_VALUE	NUMBER	NOT NULL	Numerical representation of the SQL plan for the cursor. Comparing one PLAN_HASH_VALUE to another easily identifies whether or not two plans are the same (rather than comparing the two plans line by line).
OPTIMIZER_COST	NUMBER		Cost of the query given by the optimizer
OPTIMIZER_ENV_HASH_VALUE	NUMBER		Hash Value for the optimizer environment
SHARABLE_MEM	NUMBER		Amount of shared memory used by the child cursor (in bytes)
LOADED_VERSIONS	NUMBER		Indicates whether the context heap is loaded (1) or not (0)
VERSION_COUNT	NUMBER		Number of children associated with the cursor
FORCE_MATCHING_SIGNATURE	NUMBER		The signature used when the CURSOR_SHARING parameter is set to FORCE
FETCHES_DELTA	NUMBER		Delta number of fetches associated with the SQL statement
END_OF_FETCH_COUNT_DELTA	NUMBER		Delta number of times this cursor was fully executed since the cursor was brought into the library cache. The value of this statistic is not incremented when the cursor is partially executed, either because it failed during the execution or because only the first few rows produced by this cursor are fetched before the cursor is closed or re-executed.
SORTS_DELTA	NUMBER		Delta number of sorts that were done for this child cursor
EXECUTIONS_DELTA	NUMBER		Delta number of executions that took place on this object since it was brought into the library cache
PX_SERVERS_EXECS_DELTA	NUMBER		Delta number of PX server executions
LOADS_DELTA	NUMBER		Delta number of times the object was either loaded or reloaded

(continúa)

(continuación)

INVALIDATIONS_ DELTA	NUMBER	Delta number of times this child cursor has been invalidated
PARSE_CALLS_ DELTA	NUMBER	Delta number of parse calls for this child cursor
DISK_READS_DELTA	NUMBER	Delta number of disk reads for this child cursor
BUFFER_GETS_ DELTA	NUMBER	Delta number of buffer gets for this child cursor
ROWS_PROCESSED_ DELTA	NUMBER	Delta number of rows the parsed SQL statement returns
CPU_TIME_DELTA	NUMBER	Delta value of CPU time (in microseconds) used by this cursor for parsing/ executing/ fetching
ELAPSED_TIME_ DELTA	NUMBER	Delta value of elapsed time (in microseconds) used by this cursor for parsing/ executing/ fetching
IOWAIT_DELTA	NUMBER	Delta value of user I/O wait time (in microseconds)
CLWAIT_DELTA	NUMBER	Delta value of cluster wait time (in microseconds)
APWAIT_DELTA	NUMBER	Delta value of application wait time (in microseconds)
CCWAIT_DELTA	NUMBER	Delta value of concurrency wait time (in microseconds)
DIRECT_WRITES_ DELTA	NUMBER	Delta value of direct writes
PLSEEXEC_TIME_ DELTA	NUMBER	Delta value of PL/SQL Execution Time (in microseconds)
JAVEXEC_TIME_ DELTA	NUMBER	Delta value of Java Execution Time (in microseconds)
IO_INTERCONNECT_ BYTES_DELTA	NUMBER	Delta value of number of I/O bytes exchanged between Oracle Database and the storage system
PHYSICAL_READ_ REQUESTS_DELTA	NUMBER	Delta value of number of physical read I/O requests issued by the monitored SQL
PHYSICAL_READ_ BYTES_DELTA	NUMBER	Delta value of number of bytes read from disks by the monitored SQL
PHYSICAL_WRITE_ REQUESTS_DELTA	NUMBER	Delta value of number of physical write I/O requests issued by the monitored SQL
PHYSICAL_WRITE_ BYTES_DELTA	NUMBER	Delta value of number of bytes written to disks by the monitored SQL

(continúa)

(continuación)

O P T I M I Z E D _ PHYSICAL_READS_ DELTA	NUMBER	Delta value of number of physical reads from Database Smart Flash Cache by the monitored SQL
---	--------	--

Elaboración propia

Para dar inicio a la identificación de los factores que influyen en el rendimiento de las ejecuciones de las sentencias SQL, se preparan los datos por utilizar (Anderson y Cafarella, 2016). Para ello, se seleccionan las variables numéricas representativas antes de la ejecución de las sentencias SQL. Las variables pertinentes al momento antes de la ejecución de las sentencias SQL se extraen desde el historial de los planes de ejecución generados por el optimizador de base de datos relacional y se agregan (sintetizan), debido a que el plan de ejecución de una sentencia SQL tiene la forma de árbol invertido. Téngase en cuenta que tanto los planes de ejecución como las estadísticas y métricas son grabadas por el motor de base de datos relacional en un repositorio dedicado a ese fin y dicha información es considerada como insumo del modelo propuesto.

Las variables obtenidas son reducidas dimensionalmente (simplificadas) a través de un algoritmo de aprendizaje de máquina estadístico de reducción de dimensionalidad llamado Análisis de Componentes Principales (*Principal Component Analysis* [PCA]), para posteriormente a través del algoritmo de Regresión de Componentes Principales (*Principal Components Regression*[PCR]) obtener la función de predicción del tiempo de respuesta de la ejecución de una sentencia SQL.

3.1 Lineamientos del diseño de experimentos

Se ha tenido en cuenta para las pruebas de campo el principio de aleatorización, necesario para asignar eficientemente las combinaciones de los factores a las ejecuciones de sentencias SQL (unidades experimentales). Para la aleatorización, se han definido muestras de rendimiento al azar de bases de datos de propósito definido, correspondientes a diferentes situaciones y momentos de sus cargas de trabajo. Se intenta de este modo prevenir la introducción de sesgos en el experimento y evitar la dependencia entre observaciones.

3.2 Entorno de implementación del modelo

El diseño, la codificación y las pruebas del modelo se implementaron utilizando como insumos los resultados de rendimiento pertenecientes a bases de datos relacionales Oracle Database 12c Release 1 Enterprise Edition que operan en entornos de producción (véase la tabla 3). Las sentencias SQL que conforman las cargas de trabajo son sentencias DML (INSERT, UPDATE, DELETE, MERGE) y consultas (SELECT). Se desarrollaron herramientas ETL

para preparar y adecuar estos datos al propósito buscado. La información de rendimiento de las ejecuciones de sentencias SQL es filtrada, procesada, agregada y cargada a un modelo de datos *ad hoc*, para luego ser explotada por los algoritmos de aprendizaje de máquina estadístico PCA y PCR. Estas herramientas se programaron a través de *shell scripts* y *SQL scripts*. Los algoritmos de aprendizaje de máquina estadístico se programaron en lenguaje R versión 3.6.1 para plataforma Windows 64 bits.

Tabla 3
Bases de datos en estudio

Base de datos	Propósito (carga de trabajo)	Tipo de base de datos
1	Gestión financiera (Batch + DSS)	DSS
2	Operaciones (transaccional)	OLTP
3	MRP (transaccional y Batch + DSS)	OLTP + DSS

Elaboración propia

El modelo planteado en su forma general se puede visualizar en la figura 1. En la figura 2 se muestra el proceso de reducción de la dimensionalidad del conjunto agregado de datos previos a la ejecución de las sentencias SQL utilizando un algoritmo basado en PCA. En la figura 3 se muestra el proceso de predicción del tiempo de respuesta de sentencias SQL utilizando el algoritmo denominado *Principal Components Regression*.

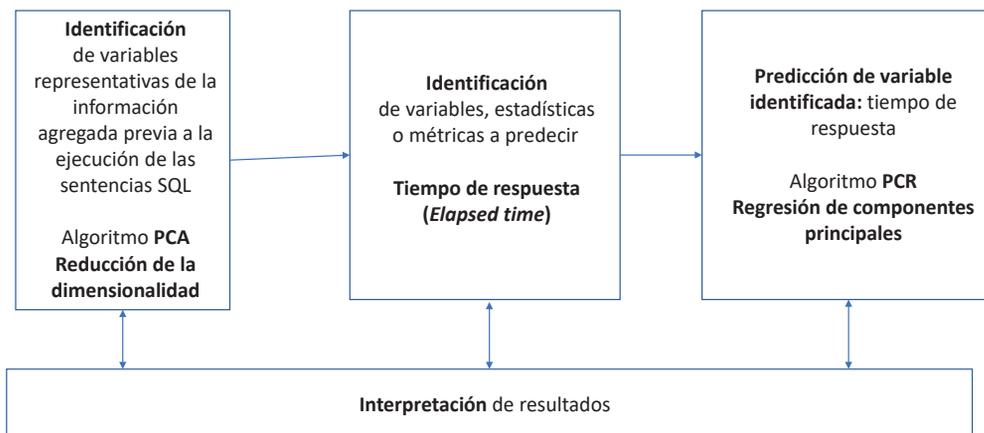


Figura 1. Método de síntesis (reducción de dimensionalidad) y regresión de componentes principales sobre variables que afectan el rendimiento de las ejecuciones de sentencias SQL

Elaboración propia

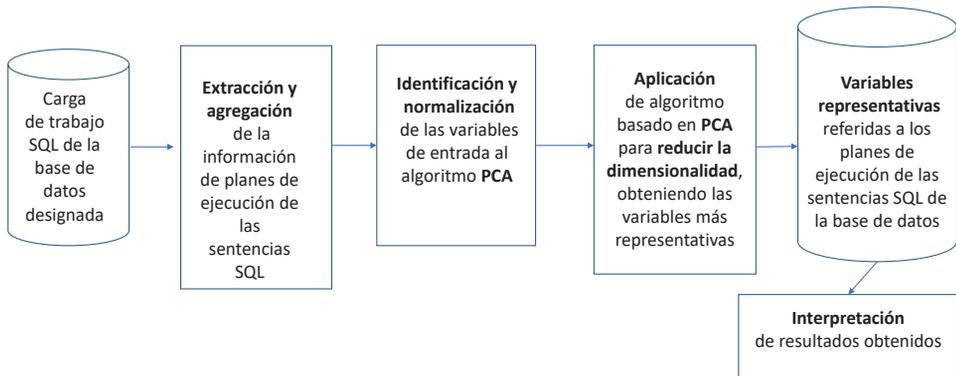


Figura 2. Reducción de la dimensionalidad del conjunto agregado de datos de planes de ejecución
Elaboración propia

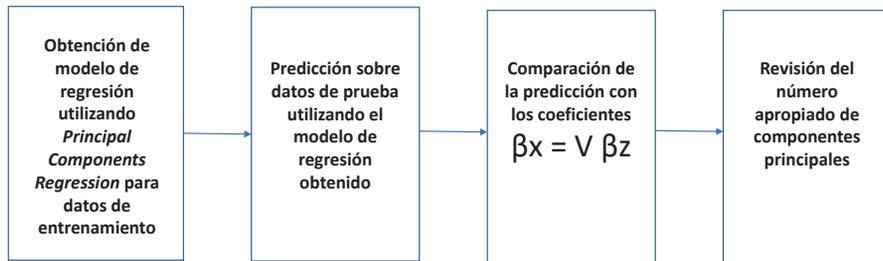


Figura 3. Reducción de la dimensionalidad del conjunto agregado de datos referidos al historial estadístico de ejecuciones
Elaboración propia

4. RESULTADOS

4.1 Aplicación de algoritmo PCA a la información previa a la ejecución de sentencias SQL

Para bases de datos de producción que sirven a aplicaciones DSS y aplicando los algoritmos de reducción de dimensionalidad al conjunto agregado de datos previos a la ejecución de las sentencias SQL, se identifican los siguientes factores en el Componente Principal 1 (PC1), que es donde se concentra la mayor parte de varianza del conjunto de datos: I/O Cost, Cost, CPU Cost, Bytes y Cardinality (véase la figura 4). De la misma manera, para bases de datos OLTP se identifican los factores I/O Cost, Cost, CPU Cost, Bytes y Cardinality (véase la figura 5). Análogamente, para bases de datos con carga de trabajo mixta (OLTP y DSS) se identifican los factores I/O Cost, Cost, Temp Space, Bytes y CPU Cost (véase la figura 6).

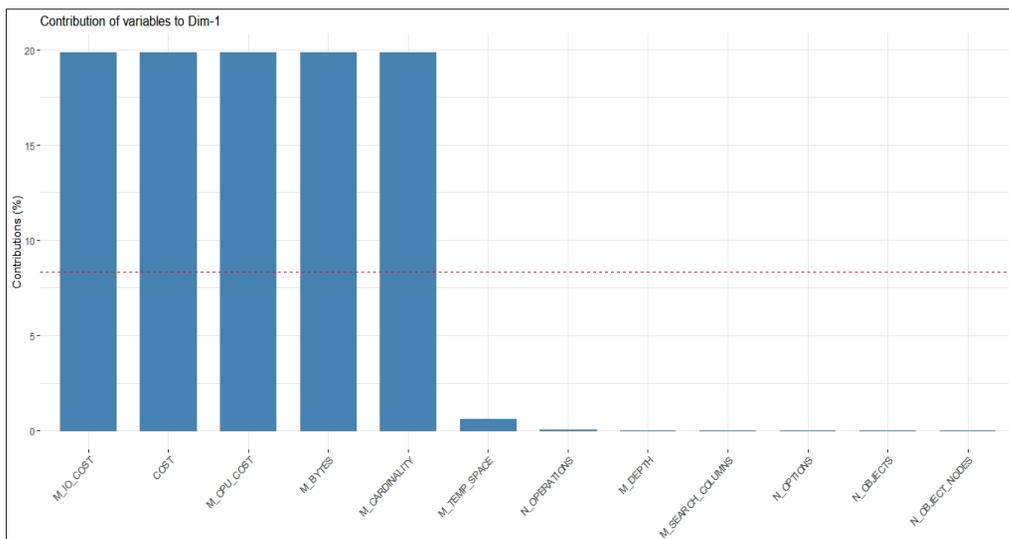


Figura 4. Variables representativas PCA1 de planes de ejecución para base de datos DSS
Elaboración propia

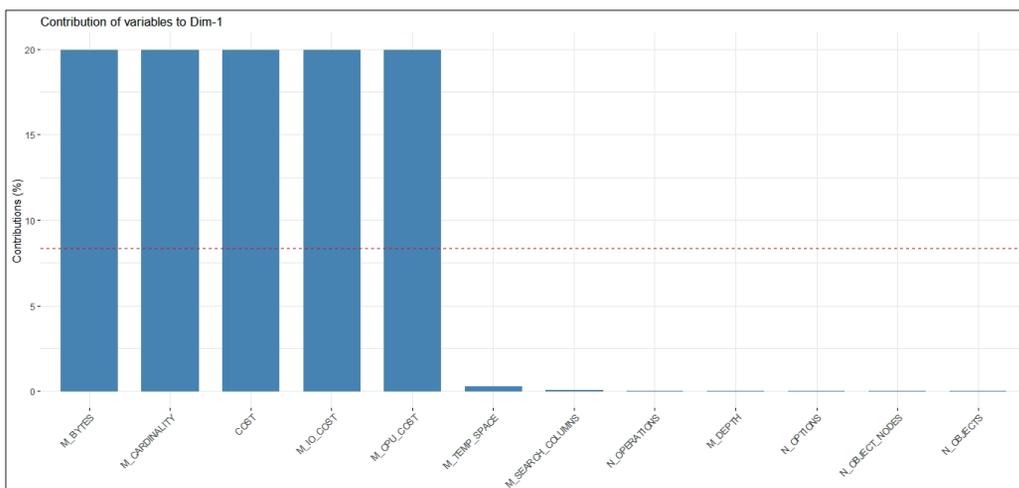


Figura 5. Variables representativas PCA1 de planes de ejecución para base de datos OLTP
Elaboración propia

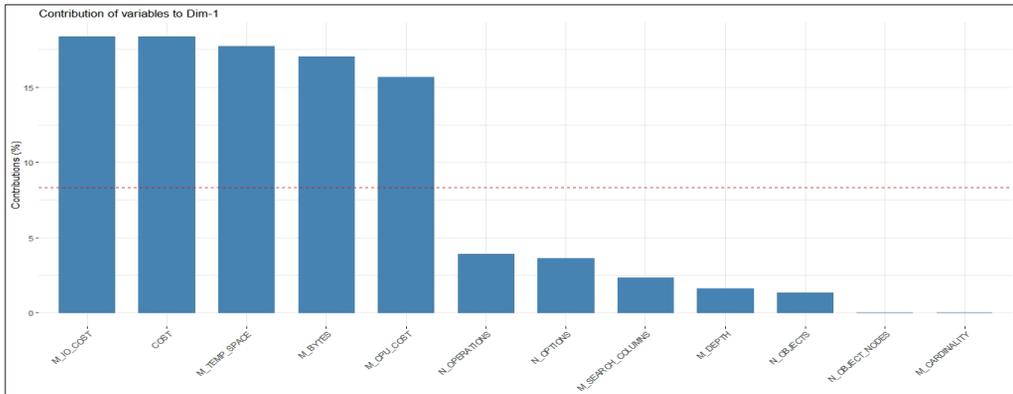


Figura 6. Variables representativas PCA1 de planes de ejecución para base de datos con carga de trabajo mixta OLTP y DSS

Elaboración propia

Las variables que se repiten en todas las cargas de trabajo presentadas, y que a su vez representen los factores que influyen en el rendimiento, son: Cost, CPU Cost, I/O Cost y Bytes. Cabe mencionar que el factor Cost incluye CPU Cost y I/O Cost. Se puede considerar a Cost como la suma de CPU Cost y I/O Cost. Bytes es el volumen de datos procesados. Un modelo de regresión lineal básico consideraría los factores CPU Cost, I/O Cost y Bytes como variables dependientes. Un modelo de regresión lineal más simplificado consideraría los factores Cost y Bytes como variables dependientes.

4.2 Aplicación de Regresión de Componentes Principales (PCR)

Esta sección se trabajó con la información recolectada de la carga de trabajo perteneciente a la base de datos de tipo DSS. Esta información se dividió en dos conjuntos: entrenamiento (*training*) y evaluación (*testing*). Los componentes principales del conjunto de entrenamiento se ilustran en la figura 7.

Importance of components:

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11
Standard deviation	2.2426	1.9764	0.9905	0.68879	0.54743	0.48280	0.27397	0.0339	0.002592	0.0006782	0.0003964
Proportion of Variance	0.4572	0.3551	0.0892	0.04313	0.02724	0.02119	0.00682	0.0001	0.000000	0.0000000	0.0000000
Cumulative Proportion	0.4572	0.8123	0.9015	0.94464	0.97188	0.99307	0.99989	1.0000	1.000000	1.0000000	1.0000000

Standard deviations (1, ..., p=11):

[1] 2.2426248476 1.9763698289 0.9905427760 0.6887873756 0.5474293321 0.4828008273 0.2739727423 0.0338989795 0.0025920034 0.0006781921 0.0003964415

Rotation (n x k) = (11 x 11):

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11
N_OBJECTS	0.01180868	-0.45837140	-0.04735051	0.027010625	0.157028575	0.8398943294	-0.238121859	0.0014349197	-0.0001397019	-1.022875E-04	-2.230106E-05
N_OPERATIONS	0.03115959	-0.45807218	0.06614158	0.163116812	0.533361073	-0.4889867369	-0.484376197	-0.0038435533	-0.0001011616	-6.942278E-05	1.284814E-06
N_OPTIONS	0.01194916	-0.48652532	0.02098440	0.094954195	0.235955791	-0.0757833776	0.832030299	0.0009361658	0.0002847114	2.208943E-04	5.087280E-05
M_DEPTH	0.01641463	-0.42837801	-0.02730677	0.482665291	-0.741945458	-0.1429070925	-0.107730282	0.0002793123	0.0000498423	-5.257574E-05	-1.300484E-05
M_SEARCH_COLUMNS	-0.01301118	-0.39857307	-0.05658218	-0.853126447	-0.282352069	-0.1597372544	-0.068562353	-0.0021088065	-0.0001065843	-2.389062E-05	-1.321920E-05
M_CARDINALITY	0.44523895	0.01395551	-0.03630805	-0.008464530	-0.004304858	0.0036340894	0.006242547	-0.8800407576	-0.1599347520	7.364380E-03	1.339231E-03
M_BYTES	0.44546644	0.01263093	-0.03621469	-0.009898311	-0.003211237	0.0005678458	0.003627759	0.0649137280	0.8910088240	-4.244321E-02	-7.408337E-03
M_CPU_COST	0.44544886	0.01239201	-0.03657886	-0.010098423	-0.002911585	-0.0001603897	0.003279041	0.2713850931	-0.2055420442	7.536631E-01	3.406714E-01
M_IO_COST	0.44545164	0.01238880	-0.03640829	-0.010090366	-0.002856980	-0.0002236475	0.003555078	0.2716071767	-0.2541752483	-6.608515E-02	-8.106962E-01
M_TEMP_SPACE	0.07969527	-0.01324418	0.99114905	-0.048796338	-0.070238483	0.0614351600	-0.002803362	0.0003042342	-0.0002103413	1.262246E-04	5.841310E-05
COST	0.44545130	0.01239668	-0.03641268	-0.010100189	-0.002858194	-0.0002345683	0.003642974	0.2717937079	-0.2714247463	-6.525097E-01	4.760810E-01

Figura 7. Componentes principales del conjunto de entrenamiento

Elaboración propia

Los tres primeros componentes principales concentran el 90,15 % de la varianza, y los ocho primeros componentes principales representan el 100 % de la varianza, tal como se observa en la figura 8.

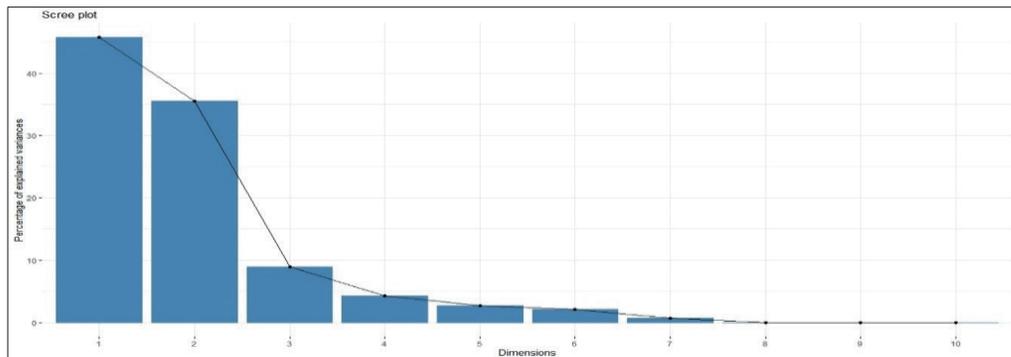


Figura 8. Varianza por cada componente principal

Elaboración propia

Se ejecutó una regresión lineal con los componentes principales del conjunto de entrenamiento, donde los resultados de tiempo de respuesta también fueron normalizados. Las variables independientes son los componentes principales y la variable dependiente el tiempo de respuesta (*elapsed time*). En la figura 9 se aprecian los resultados.

```

Call:
lm(formula = train.y.norm ~ ., data = ols.data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-4.4513 -0.1070 -0.0555  0.0169  7.5178

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -5.206e-15  2.281e-02   0.000 1.000000
PC1          1.018e-02  1.018e-02   1.000 0.317512
PC2         -3.206e-02  1.155e-02  -2.776 0.005676 **
PC3          1.015e-01  2.304e-02   4.403 1.27e-05 ***
PC4          1.208e-01  3.314e-02   3.645 0.000292 ***
PC5         -1.869e-01  4.170e-02  -4.483 8.86e-06 ***
PC6          2.188e-02  4.728e-02   0.463 0.643748
PC7          1.253e-01  8.332e-02   1.504 0.133055
PC8          2.175e-01  6.734e-01   0.323 0.746857
PC9         -6.395e+01  8.806e+00  -7.262 1.22e-12 ***
PC10         -1.142e+03  3.366e+01 -33.939 < 2e-16 ***
PC11         4.555e+02  5.758e+01   7.911 1.28e-14 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.5587 on 588 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6936,    Adjusted R-squared:  0.6879
F-statistic: 121 on 11 and 588 DF,  p-value: < 2.2e-16
    
```

Figura 9. Regresión lineal con componentes principales del conjunto de entrenamiento

Elaboración propia

En la regresión lineal se han utilizado los once componentes principales. Seguidamente, se usa el algoritmo PCR implementado en lenguaje R empleando los datos normalizados de entrenamiento.

```

Data:  X dimension: 600 11
       Y dimension: 600 1
Fit method: svdpc
Number of components considered: 11
TRAINING: % variance explained
      1 comps  2 comps  3 comps  4 comps  5 comps  6 comps  7 comps  8 comps  9 comps 10 comps 11 comps
X      45.72151 81.2309  90.151  94.464  97.188  99.307  99.989 100.000 100.000 100.0 100.00
train.y.norm 0.05215 0.4537  1.464  2.156  3.203  3.214  3.332  3.338  6.085  66.1  69.36
    
```

Figura 10. Regresión lineal de los once componentes principales

Elaboración propia

Se observa que utilizando los ocho componentes principales se logra explicar el 100 % de la varianza. Asimismo, considerando los datos de entrenamiento, la predicción del modelo es similar a los datos registrados, donde gran parte de los datos reales y proyectados por el algoritmo PCR se encuentran en la zona inferior izquierda de la figura 11. Nótese la concentración de puntos alrededor de (0,0) al ser datos normalizados.

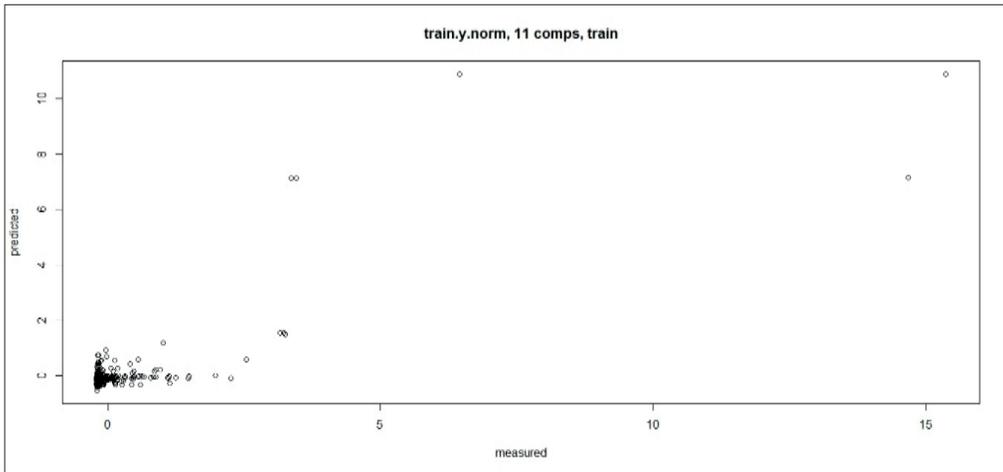


Figura 11. Comparación de las predicciones del tiempo de respuesta sobre los datos de *training*
Elaboración propia

Con los resultados de la regresión obtenida se predicen los valores de tiempo de respuesta para el conjunto de datos de evaluación (*testing*) de dos maneras: utilizando la función *Predict* de lenguaje R sobre el modelo obtenido por PCR aplicado sobre los datos de entrenamiento (*y.pred.test1*), y aplicando los coeficientes BETA obtenidos por la regresión lineal de los componentes principales (*y.pred.test2*). Se observa en la figura 12 que ambas predicciones son similares.

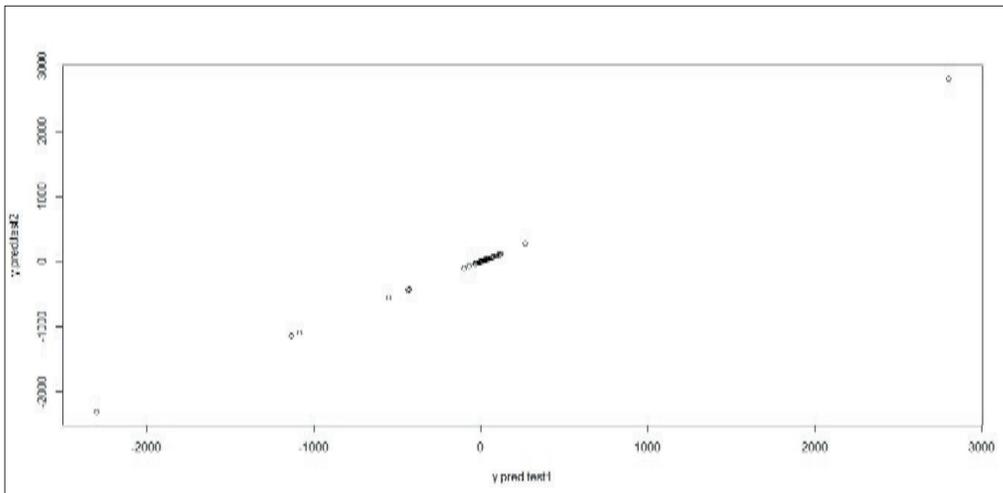


Figura 12. Comparación de las predicciones del tiempo de respuesta sobre los datos de *testing*
Elaboración propia

Considerando los datos de evaluación, las predicciones del modelo son similares a los datos registrados, donde gran parte de los datos reales y proyectados por el algoritmo PCR se encuentran en la zona central izquierda de la figura 13. Nótese la concentración de puntos alrededor de (0,0) al ser datos normalizados.

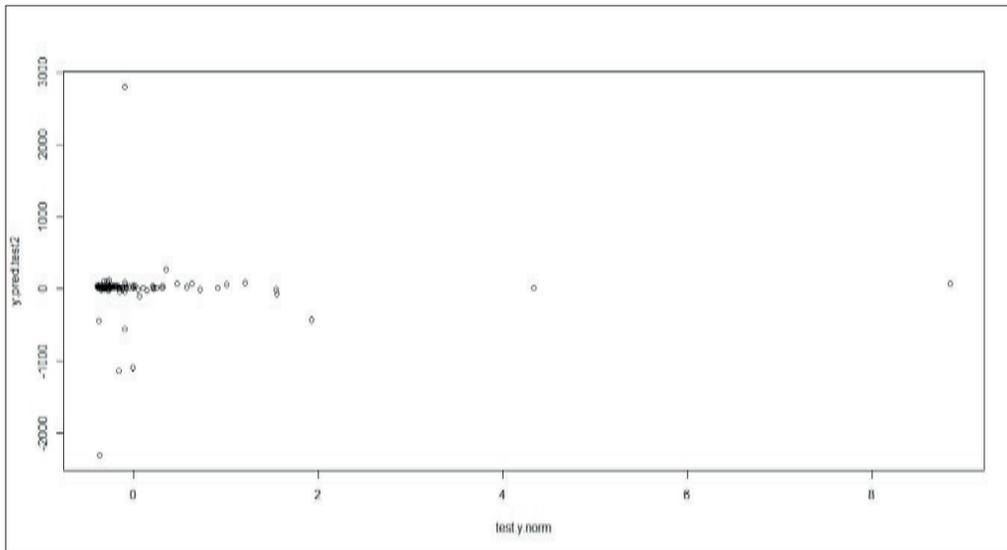


Figura 13. Comparación de las predicciones del tiempo de respuesta sobre los datos de *testing*
Elaboración propia

El error cuadrático medio (MSE) de las predicciones comparadas con los datos reales de *testing* de hasta ocho componentes principales es menor a 1, y a partir de nueve componentes principales el valor de MSE se eleva considerablemente (véase la tabla 2).

Tabla 2
MSE (error cuadrático medio) por número de componentes principales

Número de componentes	MSE
1	0,992594
2	0,987339
3	0,975613
4	0,962656
5	0,982049
6	0,982324
7	0,983122
8	0,975880

(continúa)

(continuación)

9	256,536200
10	207 763,000000
11	137 537,900000

Elaboración propia

Las predicciones versus los datos reales de *testing* considerando ocho componentes principales se visualizan en la figura 14. Se observa cercanía de valores, a excepción de algunos pocos *outliers*, comunes en modelos de regresión lineal.

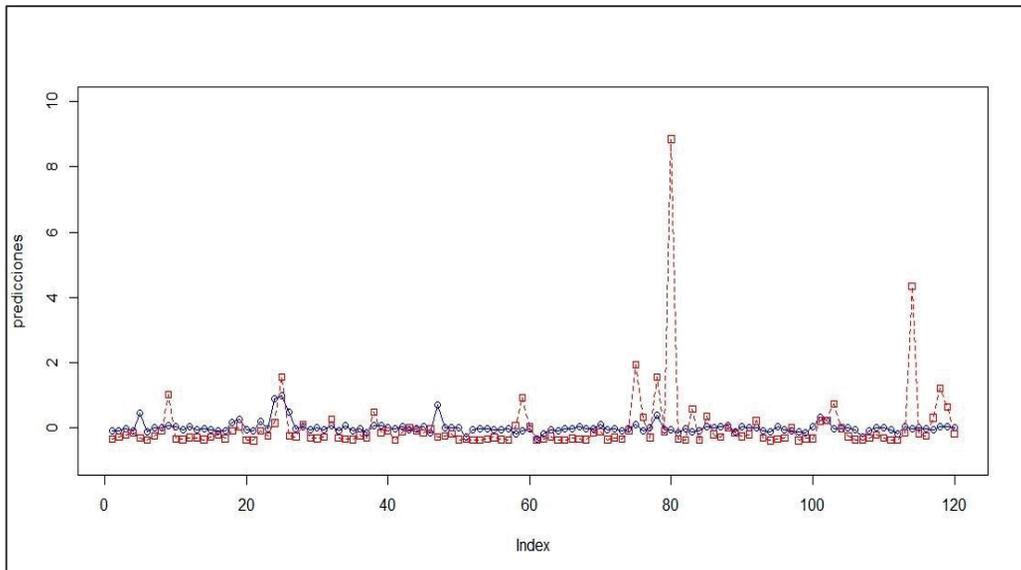


Figura 14. Valores reales (color azul) versus proyectados (color rojo) para el conjunto de datos de *testing*

Elaboración propia

5. CONCLUSIONES

El presente estudio permite determinar los factores que dominan el rendimiento de un sistema de gestión de base de datos relacional visto como caja negra, sin necesidad de entrar en los detalles internos de su arquitectura. Para lograr el objetivo propuesto se utilizaron algoritmos de aprendizaje de máquina, específicamente el Análisis de Componentes Principales (PCA). Los resultados arrojan como factores influyentes a Cost I/O Cost y CPU Cost y Bytes (volumen de datos procesados).

La metodología presentada, previa adaptación de las estructuras de datos de entrada, puede ser portada a otras plataformas y motores de bases de datos relacionales. Los factores tales como I/O Cost, CPU Cost, Bytes y Cost son conceptos transversales a todas las versiones

de bases de datos SQL y permiten abstraer complejidades propias de cada plataforma, tales como arquitectura de procesamiento y memoria, subsistemas de discos, y redes.

El algoritmo *Principal Components Regression* (PCR) podría considerarse como un método para estimar las variables de respuesta de un sistema, aun considerando un gran número de variables independientes. Puesto que el algoritmo PCA ayuda a descartar variables redundantes, si los componentes principales se emplean como variables independientes del modelo, el algoritmo PCR puede mejorar la fidelidad de sus resultados.

Una estimación inicial de rendimiento consideraría los factores CPU Cost, I/O Cost y Bytes como variables dependientes para la estimación de parámetros de rendimiento. Una estimación más simplificada consideraría los factores Cost y Bytes como variables dependientes.

Para una aplicación válida del algoritmo PCR se deben cumplir los prerrequisitos de la regresión por mínimos cuadrados, tales como la condición de no colinealidad. Es importante que la interpretación de los resultados iniciales, intermedios y finales sea apoyada por especialistas en estadística y tecnología de la información.

La efectividad de la metodología se apoya en contar con estimaciones de costo valederas, y estas se obtienen cuando las estadísticas de los objetos de un motor de base de datos están actualizadas, o en su defecto representan estadísticamente al conjunto de datos que se maneja.

REFERENCIAS

- Anderson, M. R., y Cafarella, M. (2016). Input Selection for Fast Feature Engineering. *2016 IEEE 32nd International Conference on Data Engineering (ICDE)*, 577-588. <https://doi.org/10.1109/ICDE.2016.7498272>
- Badrinath Krishna, V., Weaver, G. A., y Sanders, W. H. (2015). PCA-Based Method for Detecting Integrity Attacks on Advanced Metering Infrastructure. En J. Campos y B. Haverkort (Eds.), *Quantitative Evaluation of Systems: 12th International Conference, QEST 2015* (pp. 70-85). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22264-6_5
- Bontempi, G., y Kruijtzter, W. (2002). A Data Analysis Method for Software Performance Prediction. *Proceedings 2002 Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition*, 971-976. <https://doi.org/10.1109/DATE.2002.998417>
- Brauckhoff, D., Salamatian, K., y May, M. (2009). Applying PCA for Traffic Anomaly Detection: Problems and Solutions. *IEEE INFOCOM 2009*, 2866-2870. <https://doi.org/10.1109/infcom.2009.5062248>
- De, P., Sinha, A. P., y Vessey, I. (2001). An Empirical Investigation of Factors Influencing Object-Oriented Database Querying. *Information Technology and Management*, 2, 71-93. <https://doi.org/10.1023/A:1009934820999>

- Duggan, J., Cetintemel, U., Papaemmanouil, O., y Upfal, E. (Junio del 2011). Performance Prediction for Concurrent Database Workloads. *Proceedings of the 2011 ACM SIGMOD International Conference on Management of data (SIGMOD '11)*, 337-348. <https://doi.org/10.1145/1989323.1989359>
- Fortier, P. J., y Michel, H. E. (2003). *Computer Systems Performance Evaluation and Prediction*, Digital Press.
- Ganapathi, A., Kuno, H., Dayal, U., Wiener, J. L., Fox, A., Jordan, M., y Patterson, D. (Marzo del 2009). Predicting Multiple Metrics for Queries: Better Decisions Enabled by Machine Learning. *2009 IEEE 25th International Conference on Data Engineering*, 592-603. <https://doi.org/10.1109/icde.2009.130>
- Ganapathi, A. S., Kuno, H. A., y Dayal, U. (2015). *Predicting Performance of Multiple Queries Executing in a Database* (US 9,189,523 B2). United States Patent and Trademark Office.
- Giusto, P., Martin, G., y Harcourt, E. (2001). Reliable Estimation of Execution Time of Embedded Software. *Proceedings Design, Automation and Test in Europe. Conference and Exhibition 2001*, 580-588. <https://doi.org/10.1109/DATE.2001.915082>
- Hadi, A. S., y Ling, R. F. (1998). Some Cautionary Notes on the Use of Principal Components Regression. *The American Statistician*, 52(1), 15-19. <https://doi.org/10.1080/00031305.1998.10480530>
- James, G., Witten, D., Hastie, T., y Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning: with Applications in R*. Springer.
- Kleinrock, L. (1976). *Queuing Systems, Volume II: Computer Applications*. John Wiley & Sons.
- Lam, H. T., Thiebaut, J. M., Sinn, M., Chen, B., Mai, T., y Alkan, O. (2017). *One Button Machine for Automating Feature Engineering in Relational Databases*. arXiv. <http://arxiv.org/abs/1706.00327>
- Lee, H., Park, Y. M., y Lee, S. (2015). Principal Component Regression by Principal Component Selection. *Communications for Statistical Applications and Methods*, 22(2), 173-180. <https://doi.org/10.5351/CSAM.2015.22.2.173>
- Mikolajczyk, Y., y Schmid, C. (2005). A Performance Evaluation of Local Descriptors. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27(10), 1615-1630.
- Panda, R., Erb, C., Lebeane, M., Ryoo, J. H., y John, L. K. (Octubre del 2015). Performance Characterization of Modern Databases on Out-of-Order CPUs. *2015 27th International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing*, 114-121. <https://doi.org/10.1109/SBAC-PAD.2015.31>

- Schkolnick, M., y Tiberio, P. (1985). Estimating the Cost of Updates in a Relational Database. *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, 10(2), 163-179. <https://doi.org/10.1145/3857.3863>
- Shawe-Taylor, J. (2004). *Kernel Methods for Pattern Analysis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511809682>
- Shyu, M. L., Chen, S. C., Sarinnapakorn, K., y Chang, L. (2003). A Novel Anomaly Detection Scheme Based on Principal Component Classifier. *Defense Technical Information Center*. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA465712>
- Smith, C. U., y Williams, L. G. (2000). Performance and Scalability of Distributed Software Architectures. *An SPE approach. Parallel and Distributed Computing Practices*, 3(4).
- Woodside, M., Franks, G., y Petriu, D. C. (Mayo del 2007). *The future of Software Performance Engineering. Future of Software Engineering (FOSE'07)*, 171-187. <https://doi.org/10.1109/FOSE.2007.32>
- Yu, P. S., Chen, M. S., Heiss, H. U., y Lee, S. (1992). On Workload Characterization of Relational Database Environments. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 18(4), 347-355. <https://doi.org/10.1109/32.129222>

Ambulancia McQueen: optimización de rutas para ambulancias a partir de la distancia entre el accidente y el centro de salud

Alexia Shariann Ríos Alarcón
as.riosa@alum.up.edu.pe

Carlos Felipe Mariños Oré
cf.marinoso@alum.up.edu.pe

Andrea Isabel Nepo Gamero
ai.nepog@alum.up.edu.pe

Juan David Amado Cárdenas Zúñiga
jd.cardenasz@alum.up.edu.pe

Víctor Andrés Ayma Quirita
va.aymaq@up.edu.pe

Universidad del Pacífico, Lima, Perú

Recibido: 9/8/2021 Aceptado: 28/9/2021
doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5583>

RESUMEN. Actualmente el transporte prehospitalario, como el que brindan las ambulancias para la atención médica de emergencia o soporte para atención primaria, enfrenta un gran problema en Lima: el tráfico, el cual además se ve afectado por el tiempo que transcurre desde que ocurre la emergencia hasta que el centro de salud envía una ambulancia para su atención. En ese sentido, es de suma importancia optimizar el tiempo de respuesta de este proceso para que la atención médica se brinde lo más rápido posible, ya que, durante una emergencia, el tiempo de atención es crucial. Por ello, este trabajo propone una metodología para optimizar la ruta y el tiempo de envío de una ambulancia para la atención de la emergencia tomando en consideración la distancia entre el centro de salud y el lugar de ocurrencia de la emergencia, específicamente, centrandolo nuestro piloto en el distrito de San Borja. Por otro lado, desde el punto de vista del paciente, se busca que este pueda pedir y acceder a una ambulancia lo más pronto posible a través de una única plataforma. Para ello se ha diseñado un programa de

código abierto, codificado en Python con las librerías OSMnx y Networks, el cual hace uso además del algoritmo de Dijkstra para la optimización de la ruta a seguir hasta el lugar de la emergencia. Las pruebas experimentales pudieron validar que mediante este proceso se logró optimizar el tiempo de acción requerido para la atención de estos casos al facilitar la logística necesaria para enviar las ambulancias, considerando, asimismo, que este tiempo ahorrado podría hacer posible salvar la vida de las personas involucradas en tales eventos.

PALABRAS CLAVE: teoría de grafos / atención de emergencias / optimización de rutas / OSMnx / OpenStreetMap, Dijkstra

MCQUEEN AMBULANCE: OPTIMIZATION OF ROUTES FOR AMBULANCES BASED ON THE DISTANCE BETWEEN THE ACCIDENT AND THE HEALTH CENTER

ABSTRACT. Currently, pre-hospital transport, such as that provided by ambulances for emergency medical care or support for primary care, faces a significant problem in Lima: traffic, which is also affected by the time that elapses from the emergency that occurs until the health center sends an ambulance for care. In this sense, it is essential to optimize the response time of this process so that medical attention is provided as quickly as possible, attention time is crucial during an emergency. Therefore, this work proposes a methodology to optimize the route and time of dispatch of an ambulance for emergency care, considering the distance between the health center and the place of occurrence of the emergency, specifically focusing our pilot on the district of San Borja. On the other hand, on the patient's side, it is sought that he can request and access an ambulance as quickly as possible through a single platform. For this, an open-source program has been designed and coded in Python with the OSMnx and Networks libraries, which also uses Dijkstra's algorithm to optimize the route to follow to the emergency site. The experimental tests were able to validate that through this process, it was possible to optimize the action time for the attention of cases by facilitating the logistics necessary to send the ambulances, also considering that this saved time could offer the possibility of saving the lives of the people involved in such events.

KEYWORDS: graph theory / emergency care / route optimization / OSMnx / OpenStreetMap / Dijkstra

1. INTRODUCCIÓN

Un estudio realizado por la compañía holandesa TomTom colocó a Lima en el tercer lugar de las ciudades con más congestión vehicular en el 2018 (TomTom, 2018). Si bien el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) creó la Autoridad de Transporte Urbano con el objetivo de organizar mejor el tránsito automovilístico en la ciudad, los cambios aún no han sido significativos.

Uno de los sectores más afectados por el tráfico en nuestro país es el Servicio de Atención Móvil de Urgencias y Emergencias (SAMU) (Reyna, 2018). En una entrevista con RPP Noticias, el médico de ambulancias, doctor Víctor Melgarejo, comentó:

La distancia y la falta de educación vial no nos permiten llegar en forma oportuna a una emergencia. Nos embarga la sensación de no poder ayudar en momentos en que queremos ayudar. Es por falta de conocimiento de la gente que no sabe que una unidad en camino puede salvar vidas.

El especialista menciona, además, que el tráfico vehicular puede convertir un viaje de 5 o 7 minutos en uno de 10 o más minutos (Reyna, 2018), lo cual es inaceptable en situaciones donde una pequeña demora en la atención puede definir la vida o la muerte de una persona, debido a la gran relación que existe entre el tiempo de atención y su resultado (Bürger *et al.*, 2018). Asimismo, es importante resaltar la importancia de la adecuada circulación de las ambulancias, porque según un estudio realizado por Enciso y Villanueva (2017), el 80 % de los pacientes con prioridad de atención I, que fallecieron hasta el momento, acudieron a un centro de salud con una unidad móvil particular, no médica.

Ante esta problemática, se desarrolló un sistema de código abierto, implementado en Python (<https://www.python.org/>), que, guiándose de la teoría de grafos y utilizando el algoritmo de Dijkstra, elige el hospital o clínica más adecuado dependiendo de la distancia a la cual se ubica respecto del paciente y del seguro al que este pertenezca; a su vez, nuestra plataforma encuentra la ruta óptima para enviarle una ambulancia. Es preciso mencionar que este piloto no es una aplicación móvil aún, pero su desarrollo está dentro de los trabajos futuros sobre esta investigación preliminar.

El presente trabajo se diferencia de las herramientas disponibles en otras plataformas, como Google Maps, en tres aspectos fundamentales. En primer lugar, la información empleada por nuestro sistema está actualizada y validada con datos reales de los hospitales y calles, a diferencia de otras herramientas que están implementadas con datos desfasados y poco confiables. En segundo lugar, el programa está diseñado específicamente para realizar una búsqueda directa entre los distintos centros de salud disponibles al momento de ocurrir la emergencia, a los que puede acudir un paciente, de modo que la selección se realiza de manera rápida y eficiente. Por otro lado, aunque muchas de las herramientas actualmente disponibles permiten realizar consultas similares, estas son más lentas, pues dependen de las habilidades de búsqueda y selección del usuario, hecho que es superado por nuestra propuesta. Finalmente, la herramienta

permite contactar al centro de salud directamente, en un mismo programa integrado, mientras que el uso de otros medios requiere de canales externos (Gobierno del Perú, 2021), como llamadas o mensajes de texto, para que el usuario pueda comunicarse con el centro de salud elegido; y es en consideración de estas características que nuestro trabajo hace referencia al personaje de Rayo McQueen, de la película *Cars*, por su rapidez de respuesta y eficacia en brindar una solución.

Por último, la estructura del artículo se dispone como sigue: en la sección 2 se exponen algunos de los fundamentos teóricos utilizados en este trabajo, la sección 3 describe la metodología desarrollada para implementar la solución; a continuación, en la sección 4 se presentan los resultados obtenidos y, finalmente, las conclusiones y recomendaciones del trabajo se describen en la sección 5.

2. FUNDAMENTOS

2.1 Grafos

Los grafos son tuplas compuestas por un conjunto finito de vértices, o nodos, y aristas (Moreno y Ramírez, 2012, p. 49). Usualmente se representa a los vértices con círculos y a las aristas con líneas:

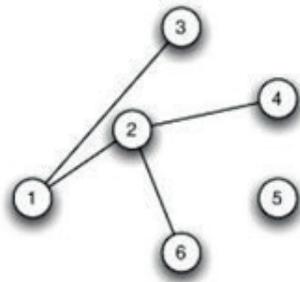


Figura 1. Grafo simple

Fuente: Moreno y Ramírez (2012)

Asimismo, los grafos que presentan un peso asociado a cada arista son conocidos como grafos ponderados. Por otro lado, cuando dos vértices se conectan mediante una arista, la relación es bidireccional. Si en el grafo se especifica solo un sentido de conexión, el grafo es conocido como grafo orientado o dígrafo. En este trabajo, a partir de la información del grafo del distrito de San Borja se crean las rutas para las ambulancias y se visualizan en el mismo grafo.

2.2 Algoritmo de Dijkstra

Diseñado por el físico y científico computacional Edsger Dijkstra (1930-2002), este algoritmo permite encontrar la ruta más corta entre un vértice de partida y otro de llegada. Según Salas (2008), el algoritmo de Dijkstra es voraz (algoritmo goloso), que genera uno a uno los caminos de un nodo al resto por orden creciente de longitud; usa un conjunto de vértices donde, a cada paso del algoritmo, se guardan los nodos que representan al camino mínimo desde el nodo de partida y devuelve un vector indexado por vértices, de modo que para cada uno de estos vértices podemos determinar el coste de un camino más económico (de peso mínimo) a tales vértices (p. 1). Este algoritmo forma parte del código para crear las rutas más cortas para las ambulancias a través de la función “nx.shortest path” de la librería NetworkX (Priyam, 2020).

2.3 OpenStreetMap

Esta plataforma es un proyecto colaborativo de nivel internacional que tiene como objetivo crear un mapa gratuito del mundo con todas las calles, nodos y etiquetas que describen la característica principal de un elemento como restaurantes o clínicas, y es de datos abiertos (Morales, 2021). Es necesario trabajar con esta plataforma para recolectar los datos sobre las coordenadas de los hospitales y clínicas en San Borja, y utilizar las funciones de librería OSMnx (Boeing, 2016) con el objetivo de mostrar el grafo y las rutas.

3. METODOLOGÍA

La problemática de las ambulancias en Lima puede aliviarse con la herramienta del presente trabajo porque permite encontrar la ruta con la menor distancia entre el paciente y el centro de salud más cercano en función del tipo de seguro con el que cuente el paciente.

En ese sentido, se siguieron cuatro pasos importantes para la creación de la herramienta utilizando el lenguaje de programación Python, tal como se muestra en la figura 2. El primero fue crear tablas con los datos relevantes de las clínicas y hospitales en San Borja. Una vez que se tuvieron esos datos, se modeló la data extraída para formar un grafo que permitirá un mejor manejo de la información. Esta data se utilizó en la aplicación del algoritmo de Dijkstra, para obtener la ruta más corta según la distancia. Por último, se creó una interfaz para que los usuarios puedan interactuar con el programa.

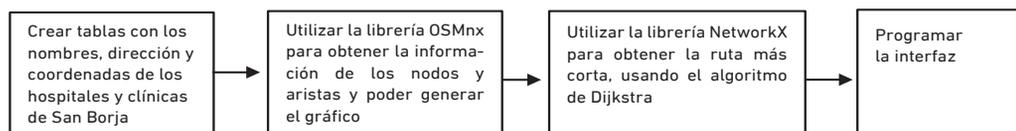


Figura 2. Procedimiento para construir la herramienta que permite obtener la ruta más corta
Elaboración propia

3.1 Descripción del lugar de estudio

San Borja es un distrito de la ciudad de Lima Metropolitana, tiene una extensión de 9,96 km², cuenta con una población aproximada de 112 048 habitantes y presenta una densidad poblacional de 11 249,8 habitantes/km². Asimismo, este distrito se caracteriza por la alta concentración de centros de salud (siete clínicas y cinco hospitales), por lo que fue el seleccionado para realizar la implementación de nuestro piloto.

3.2 Adquisición de datos

Para el primer paso de la solución, se requirió extraer información de los centros de salud disponibles en el distrito de San Borja, Lima. Estos datos se obtuvieron de Google Maps mediante una búsqueda simple. Luego, se contrastaron con la información disponible en OpenStreetMap (Morales, 2021).

Finalmente, se corroboró que los centros de salud preseleccionados cumplan con los requisitos mínimos para atender una emergencia, es decir, que cuenten con, al menos, una ambulancia para trasladar a los pacientes. Así, la información final generada para cada centro de salud verificado es la siguiente: nombre, dirección y referencia geográfica precisa (coordenadas X e Y).

3.3 Medición de las distancias en la red

Luego de haber identificado todos los centros de salud junto con sus coordenadas, continuamos con la generación del grafo; esto se logró utilizando la librería OSMnx (Boeing, 2016). La figura 4 permite apreciar la imagen del grafo $G(V, A)$, el cual está implementado sobre el mapa del distrito de San Borja; sus calles están representadas por las aristas del grafo, mientras que las esquinas por los vértices. Se utilizó todo el mapa del distrito para el grafo debido a que una emergencia podría suceder en cualquier parte de este, ergo, es necesario implementar toda su área para no tener que actualizar el grafo periódicamente. Finalmente se resaltó la ubicación de los hospitales, clínicas, así también como la ubicación de un punto de emergencia, aleatorio, para una mejor interpretación (revisar leyenda de la figura 4).

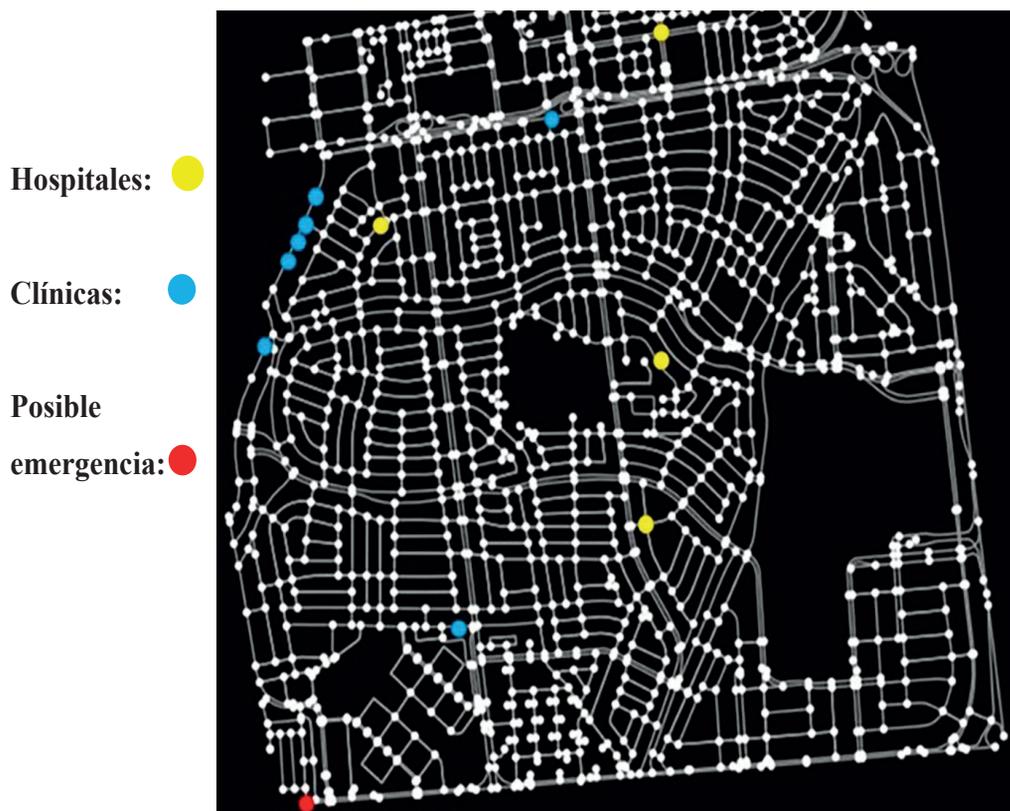


Figura 3. Grafo de San Borja con centros de salud resaltados

Elaboración propia

3.4 Proceso del desarrollo del programa

Para la creación de la interfaz, se siguieron distintos pasos, tal como se presenta en la figura 2. El primero fue definir funciones relevantes para el programa como las que evitan errores por los datos que se ingresan en el menú, otra que escoge el centro de salud más cercano al usuario dependiendo del seguro del paciente, y la función principal que permite generar la ruta con menor distancia a partir de las coordenadas del centro de salud y el usuario. Luego se definieron las clases, las cuales son Usuario, CentroSalud, Ambulancias, Hospitales y Clínicas.

Se crearon las listas de las clínicas y hospitales que se tomarían en cuenta, es decir, los que se encuentran en el distrito de San Borja y cuenten con servicio de ambulancias. En estas listas también se toma en cuenta el tipo de seguro del usuario, ya sea público o privado. Finalmente, se creó un menú para que los usuarios puedan utilizar el programa de manera sencilla.

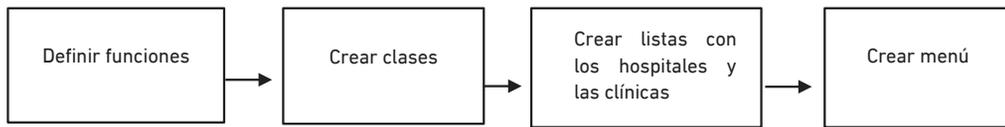


Figura 4. Creación de la interfaz

Elaboración propia

Para el correcto funcionamiento del código se crearon varias clases: Usuario y CentroSalud (a partir de esta se crearon dos clases hijas, que son Clínicas y Hospitales). La clase Usuario sirve para identificar a los clientes, tomando datos como su DNI, nombre, celular, correo electrónico, referencia geográfica precisa (coordenadas X e Y) y seguro al que pertenece.

En el caso de la clase CentroSalud, se toman datos como el nombre, la dirección, los seguros que son aplicables y sus coordenadas de OpenStreetMap. Luego, se crean listas que se utilizarán más adelante para relacionar al cliente con su centro de salud y que sirven para separar las clases Hospitales y Clínicas.

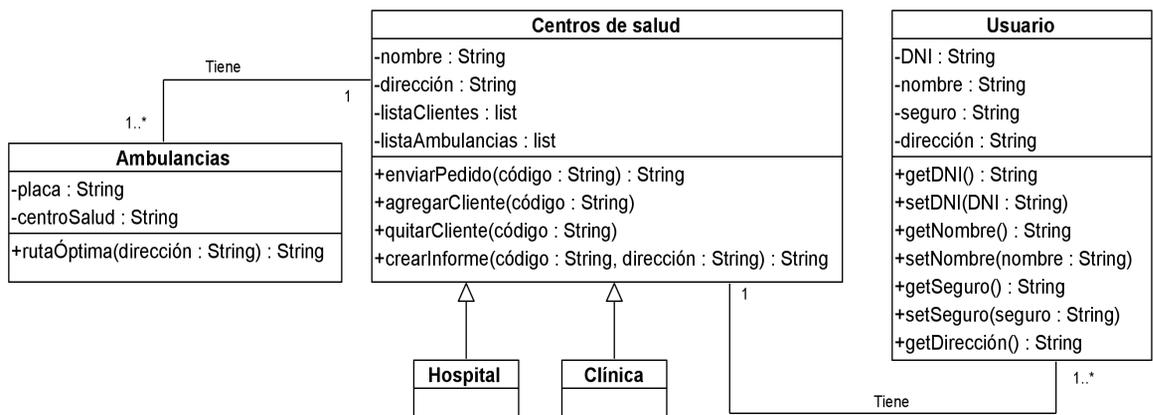


Figura 5. Diagrama de clases

Elaboración propia

Posteriormente, para implementar la solución, se programaron algunas funciones que nos permiten obtener la ruta óptima hacia el paciente de acuerdo con sus requerimientos específicos. Entre todas las funciones existen tres destacables.

La primera función es “conseguirCentroSalud”. Esta función se encarga de evaluar el tipo de seguro del paciente y asociarlo al centro de salud más cercano donde este se pueda aplicar y al cual será trasladado. La segunda función es “conseguirRuta”, la cual es empleada para obtener la ruta óptima entre el punto de emergencia y el centro de salud más cercano. Para este fin, la

función emplea el algoritmo de Dijkstra, que evalúa dinámicamente cada nodo de modo que al final se obtiene el camino más corto. Este proceso se desarrolla mediante la librería NetworkX (Priyam, 2020) que ya cuenta con el algoritmo anteriormente mencionado, el cual utiliza el grafo obtenido a partir de las calles y esquinas del distrito de San Borja.

Para ordenar y utilizar las diferentes funciones del programa, se implementó un menú con cinco opciones distintas, donde:

- La primera es “Registrarse”, y le permitirá al usuario ingresar los datos necesarios para usar las otras funciones (DNI, nombre, coordenadas en X e Y, correo electrónico, número de celular y el seguro con el que cuente). Esta opción también comprobará que el celular y el DNI ingresados sean válidos.
- La segunda opción, “Editar información”, le pedirá al usuario que ingrese su DNI y, después de comprobar que sea válido, permitirá que el usuario seleccione el dato que desee modificar.
- Al utilizar la tercera opción, “Pedir una ambulancia”, el programa pedirá al usuario ingresar su DNI y mostrará la ruta al hospital o clínica más cercano (esta ruta será utilizada por el conductor de la ambulancia), junto con la distancia en metros.
- Usar la opción 4, “Mostrar información”, le pedirá al usuario ingresar su DNI, y mostrará la información ingresada en la opción 1. En caso de que el usuario haya cambiado algún dato usando la opción 2, le mostrará la información actualizada.
- Por último, la opción 5, “Salir”, terminará el programa automáticamente.

4. RESULTADOS

En primer lugar, conforme se presenta en la figura 6, un resultado del proyecto es el mapa georreferenciado donde se resaltan los hospitales y las clínicas seleccionadas en el distrito de San Borja, el cual fue implementado gracias a la librería Folium (Story, 2015).



Figura 6. Visualización del mapa de San Borja con hospitales y clínicas
Elaboración propia

En esta figura se pueden observar doce centros de salud en total, de los cuales cinco son hospitales que envían ambulancias a personas que están afiliadas a EsSalud y al SIS, y los siete restantes son clínicas para personas con seguros privados como Rimac, Pacífico, Mapfre, La Positiva y Sanitas.

A continuación, la figura 7 presenta la dinámica de los menús de operación del programa desarrollado, mostrando la interacción con el usuario y dando un lugar determinado de un accidente dentro del distrito de San Borja. Además, la columna de la izquierda de la figura muestra cómo funciona el programa con una persona que cuenta con un seguro privado como Mapfre y en la columna de la derecha se presenta el mismo ejemplo, pero con una persona que cuenta con un seguro público como el SIS.

Para ello, el primer paso se realiza a través de la cuarta opción, donde se imprime la información del usuario; luego, se visualiza la ruta óptima junto con el nombre de la clínica y la distancia en metros al seleccionar la tercera opción. Conforme se ha mencionado previamente, en ambos ejemplos los usuarios tienen la misma referencia geográfica, esto con el fin de mostrar, de manera simultánea, el criterio de selección bajo la consideración de la menor distancia hacia el evento y el tipo de seguro asociado al paciente.



Figura 7. Ejemplos del funcionamiento de la herramienta con usuarios inventados
Elaboración propia

Estos resultados muestran que incluso con el mismo lugar de partida, representado por el punto rojo en la figura, el programa realiza el filtro por el tipo de seguro y busca el centro de salud más cercano al paciente, haciendo este proceso eficiente y de respuesta óptima para la correcta atención del transporte hacia la emergencia.

5. CONCLUSIONES

Luego de extraer información de OpenStreetMap, implementarla en un grafo que representa a San Borja y desarrollar una interfaz con funciones que utilizan la librería OSMnx y Networks, fue posible emplear el algoritmo de Dijkstra para hallar la ruta mínima entre el centro de salud más cercano y el lugar de la emergencia.

Mediante este proceso se logra optimizar el tiempo requerido de atención de la emergencia en estos casos, logrando facilitar la logística necesaria para enviar las ambulancias, la cual generalmente toma minutos valiosos, que podrían ser vitales para conseguir salvar una vida.

En cuanto a las recomendaciones y trabajos futuros que se pueden originar de esta investigación, podemos mencionar que el trabajo fue elaborado a partir de los nodos y aristas del distrito de San Borja con la información de OpenStreetMap; sin embargo, es posible ampliarlo a más distritos utilizando la misma metodología e incluso con la información de otras aplicaciones como Google Maps.

Asimismo, se plantea implementar mayores criterios para elaborar las posibles rutas a seguir por la ambulancia, tomando en consideración la información de posibles accidentes de tránsito, el tiempo que toma la ruta en función de la densidad de tránsito actual, o identificar la cantidad de ambulancias disponibles en el centro de salud más cercano. Además, considerando que el piloto de este trabajo fue desarrollado en una interfaz de escritorio, se tiene planeado, como trabajo futuro, desarrollar una aplicación móvil que permita conectar el dispositivo del usuario directamente con los centros de salud asociados.

REFERENCIAS

- Agencia EFE. (20 de junio del 2019,). Lima se enfrenta a una de sus peores caras: el tráfico caótico. *Gestión*. <https://gestion.pe/peru/lima-enfrenta-peores-caras-trafico-caotico-270759-noticia/>
- Boeing, G. (2016). *OSMnx: Python for Street Networks*. Geoff Boeing. <https://geoffboeing.com/2016/11/osmnx-python-street-networks/>
- Bürger, A., Wnent, J., Bohn, A., Jantzen, T., Brenner, S., Lefering, R., Seewald, S., Gräsner, J. T., y Fischer, M. (2018). The Effect of Ambulance Response Time on Survival Following Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Deutsches Arzteblatt international*, 115(33-34), 541-548. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2018.0541>
- Enciso, C., y Villanueva, J. (2017). *Sobrevida de pacientes asignados como prioridad de atención I y II, en emergencia de adultos de un Hospital General de Lima, según el tipo de transporte prehospitalario utilizado* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Cayetano

- Heredia]. Universidad Peruana Cayetano Heredia, Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12866/660>
- Gobierno del Perú. (8 de julio del 2021). *Solicitar atención médica en caso de emergencia, SAMU*. <https://www.gob.pe/1013-solicitar-atencionmedica-en-caso-de-emergencia-samu>
- Johnsonbaugh, R. (2005). *Matemáticas discretas* (6.^a ed.). Pearson Educación.
- Morales, A. (2021). *OpenStreetMap: la plataforma de mapas libre más grande del mundo*. MappingGIS. <https://mappinggis.com/2021/04/openstreetmap-la-plataforma-de-mapas-libre-mas-grande-del-mundo/>
- Moreno, E., y Ramírez, H. (2012). *Grafos: fundamentos y algoritmos*. J. C. Sáez Editor. <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaup/68438?page=50>
- Priyam, A. (2020). *Find and Plot your Optimal Path Using OSM, Plotly and NetworkX in Python*. Medium. <https://towardsdatascience.com/find-and-plot-your-optimal-path-using-plotly-and-networkx-in-python-17e75387b873>
- Reyna, R. (2018). *Un día con el SAMU: El tráfico de Lima es el principal problema ante una emergencia*. RPP Noticias. <https://rpp.pe/vital/salud/un-dia-con-el-samuel-trafico-de-lima-es-el-principal-problema-ante-una-emergencia-noticia-1125527>
- Rodríguez, L. Y., Solis, T., y Saromo, V. (2020). *Limpieza y desinfección de ambulancias luego de transportar un paciente confirmado con COVID-19*. IETSI. <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2020/05/1096333/desinfeccion-de-ambulancia-ietsi-2020.pdf>
- Salas, A. (2008). *Acerca del algoritmo de Dijkstra*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/0810.0075>
- Story, R. (2015). *Folium*. Pypi.org. <https://pypi.org/project/folium/0.1.5/>
- Tejeda, A. (2018). Plan de Gobierno Municipal San Borja 2019-2021. <http://peruvotoinformado.com/descargas/pg/plan-de-gobierno-de-carlos-alberto-tejada-noriega.pdf>
- TomTom. (2018). *Lima Traffic Report*. https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/lima-traffic/
- Torrubia, G., y Terrazas, V. (2001). Algoritmo de Dijkstra: un tutorial interactivo. *VII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2001)*.

The EU Trustworthy Artificial Intelligence: How the EU Wants to Regulate the Artificial Intelligence Practices

Miguel Adolfo Rodríguez Cuadros
migrodcuadros@gmail.com
Universidad de Lima, Perú
Johnson & Johnson Switzerland

Recibido: 11/8/2021 Aceptado: 20/9/2021
doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5585>

Abstract. The European Union (EU) recently proposed in April 2021 an Artificial Intelligence legal framework. The EU highlights the advantages of using Artificial Intelligence (AI) especially in prediction, optimizing operations, resource allocation and personalizing service delivery. Nevertheless, the EU considers that AI might bring new risks and negative consequences for individuals and society when an AI system violates the EU values and fundamental rights.

This paper explains how the EU is proposing a legal framework for trustworthy AI. Tech or nontech companies and professionals should know what kind of AI applications and practices might be prohibited or restricted within the EU. More specifically, this paper focuses on what type of AI system can be considered unacceptable risk, high or low risk AI.

KEYWORDS: European Union / EU / Artificial Intelligence /AI / trustworthy AI
/ fundamental rights

LA CONFIABLE INTELIGENCIA ARTIFICIAL DE LA UE: CÓMO LA UE QUIERE REGULAR LAS PRÁCTICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

RESUMEN. La Unión Europea (UE) ha propuesto recientemente, en abril del 2021, un marco jurídico para la inteligencia artificial (IA). La UE destaca los beneficios de usarla, especialmente en áreas de predicción, optimización de operaciones, asignación de recursos y servicios personalizados de entrega. Sin embargo, la UE también considera que la inteligencia artificial puede conllevar nuevos riesgos y consecuencias negativas a los individuos y a la sociedad cuando, por ejemplo, esta viola los valores y derechos fundamentales de la UE.

El propósito de este coloquio es explicar cómo la UE está proponiendo un marco jurídico para una IA confiable. Las compañías o profesionales en tecnología deben tener conocimiento sobre qué clase de aplicaciones y prácticas de IA puedan estar prohibidas o restringidas en la Unión Europea. Este coloquio les proporcionará información acerca de cuándo una IA puede ser considerada: (a) un riesgo inaceptable; (b) un riesgo alto; o (c) aplicación o herramienta de bajo o mínimo riesgo.

PALABRAS CLAVE: Unión Europea/ UE / inteligencia artificial / IA / IA de confianza
/ derechos fundamentales

INTRODUCTION

AI system can be defined as software with the particular ability to set human-defined objectives, to generate outputs such as content, predictions, recommendations, or decisions with influence to the environment with which the system interacts, be it in a physical or digital dimension.

There are three ways in how AI will reshape global technology. One way is that AI will exceed human intelligence and escape human control. The second way relates to the new industrial revolution where machines will disrupt and replace the human workforce in every or almost every area of society, e.g., transportation, military, healthcare. The third way focuses on surveillance, namely how the government will monitor, understand and control their citizens and foreigners (Wright, 2018).

China and other countries like Thailand, Vietnam, Sri Lanka, Russia, Zambia and Zimbabwe have started to use AI as tool to monitor their citizens. The Chinese government (directly or through stated own-private companies), for example had begun to build a digital authoritarian state, by using surveillance and machine learning tools and creating a so-called “social credit system”.

The Chinese AI company Yitu sold in 2018 wearable cameras with artificial intelligence-powered facial-recognition technology to Malaysian police department (Wright, 2018). Another example is the company BGI, a Chinese genome-sequence company (started as a government funded research group), that cooperated with 50 foreign laboratories to support foreign governments for the COVID-19 virus tests. Although this can be a legitimate way to support and fight against the COVID-19 pandemic, BGI runs China’s national library of genomics data. Some foreign DNA might end up in the BGI repository, especially as China has been collecting the DNA data from foreign minorities groups, such as Tibetans and Uighurs (Darby & Sewall, 2021)

By following the current Chinese approach, the AI is being using as a social control tool, that might draw data from several devices (computers, smartphones, smart tv, emails, video-cameras) and different sources e.g., tax returns, criminal records, medical records, bank statements, sexual health clinics, genetic screenings, physical information (location, biometrics, CCTV with facial recognition software) and biotechnology (Wright, 2018).

Biotechnology is an area that developed countries and their multinationals are increasingly investing in. Along with big data and powerful computers, researchers have mastered the gene editing tool CRISPR¹ with the support of AI, allowing them for example to grow

1 “CRISPR” stands for “clusters of regularly interspaced short palindromic repeats”. CRISPR is a technological tool for editing genomes. It allows researchers to easily alter DNA sequences and modify gene function, including correcting genetic defects, treating and preventing the spread of diseases and improving crops. However, its promise also raises ethical concerns.

wheat that resists plagues or encode the DNA of bacteria and viruses to produce drugs and vaccines. Despite of these positive results, there is a sensitive and controversial side of CRISPR technology, which relates to human DNA manipulation. Indeed, He Jiankui, a Chinese scientist, produced in 2018 genetically altered babies in a way to develop resistance to HIV and “spare the babies the possibility of becoming infected with HIV later in life” (Normile, 2019).

Regarding the United States AI approach, in 1983 the U.S. military’s research and development (R&D) department started a ten-year USD 1 Billion machine intelligence program, which focused to keep the U.S. ahead from their technological rivals (at that time Japan and Germany). The program failed and the AI – machine learning research was put on ice.

In 2020, there is growing sense of urgency around AI in the United States, especially in the Defence sector. Indeed, the U.S. government wants to incorporate AI into the U.S. military, however it will require disruptive changes and investment in new AI applications and algorithms to the existing processes (Ciocca *et al.*, 2021).

For example, the U.S. government will need to manage expectations about what AI can do for the military sector, particularly by making clear that AI would not replace humans but rather enhance their capabilities. They need to create algorithms more like computing power and less than science-fiction substitute weapons. More important, the U.S. government needs to modernize their defence infrastructure (hardware and software) and improve AI literacy among policymakers and government officials. They are lacking common programming languages used in the private sector and making it difficult to update or make them suitable for AI tools. There is also a deficit of technical and legal framework understanding about AI (Ciocca *et al.*, 2021).

The approach of the EU with regard AI is to work on a legal framework to become a global leader in the development of secure, trustworthy, and ethical artificial intelligence, that ensure the protection of ethical principles and fundamental rights (European Commission, 2021).

The EU AI legal framework sets harmonized rules for the development, placement on the market and use of AI systems in the European Union by following a risk-based approach. In other words, the EU wants to prevent harmful AI practices by regulating “prohibited artificial intelligence practices”, “high-risk AI systems” and “transparency obligation for certain AI systems”. (See figure 1).



Figure 1. The current AI industry landscape (China, EU, United States)

In the next section, we are explaining the scope of the EU AI legal framework (the so-called Artificial Intelligence Act), in particular which kind of AI tools, application or system might be prohibited, restricted in accordance with the EU fundamental rights.

2. AI BASED ON FUNDAMENTAL RIGHTS

The proposal of the EU to regulate the use of AI focuses on protecting fundamental rights. The use of AI has specific characteristics, such as opacity, complexity, dependency on data, autonomous behaviour, that can negatively affect fundamental rights.

Without deep diving into the legal analysis of these fundamental rights, the EU is proposing to regulate the use of AI based on the following rights:

- Human dignity
- Respect for private life and protection of personal data
- Non-discrimination
- Equality between woman and men
- Freedom of expression and assembly
- Right of defense and presumption of innocence
- Worker's right to fair and just working conditions
- High level of consumer protection and environmental protection and improving of the quality of environment.

Although the EU proposal relies on the protection and promotion of the above fundamental rights, it is important to mention that the same proposal is imposing restrictions to

other fundamental rights, for example on the freedom to conduct business and freedom of art and science. This is to ensure compliance with overriding reasons of public interest, such as health, safety, consumer protection and protection of other fundamental rights, when high-risk AI technology is developed and used.

To protect and promote fundamental rights, tech or non-tech companies that use or develop AI tools or systems will need to comply with transparency obligations. These obligations will not affect the right to the protection of intellectual property, because they will be limited only to minimum information for individuals to exercise their right to a remedy, and to the necessary transparency towards supervision and enforcement authorities. An important point of this EU proposal is that when public authorities must give access to confidential information or source codes, they are placed under binding confidentiality obligations.

In general, the development and use of a trustworthy AI tool, software or system should not violate the EU fundamental rights. Tech or non-tech companies, data science or programming specialists, tech and non-tech professionals should be aware about what kind of tools or software will be prohibited, restricted, or permitted. For this, the EU proposal follows a risk-based approach to categorize AI practices. These risk categories are unacceptable risk AI, high-risk AI or low-minimal risk AI. (See figure 2)



Figure 2. The EU trustworthy artificial intelligence legal framework

3. DISCUSSIONS

Prohibited AI or unacceptable risk AI

Under this category, the EU is prohibiting the development of AI practices that have the potential to manipulate persons through subliminal techniques beyond their consciousness

or exploit vulnerabilities of vulnerable groups such as children, persons with disabilities or elderly persons.

AI tools, applications or software that can cause psychological or physical harm to persons, environment or animals will be also considered as prohibited AI.

AI-based social scoring for general purposes performed by public authorities is prohibited. There is currently no official or standard definition of social scoring, but it can be understood as the analysis of massive behaviour, physical or health characteristics or actions of persons through algorithms and rate them for awarding, accessing, controlling, clustering and/or penalizing purposes.

Likewise, the EU is prohibiting the use of real time remote biometric identification systems in public spaces for law enforcement purposes, unless specific and limited exception apply, such as, targeting potential victims of crime, including missing children, prevention of a specific, substantial, and imminent threat to the life or physical safety of natural persons or of a terrorist attack, detention, localization, identification, prosecution of criminals.

High-risk AI

In general, high-risk AI are those that create high-risks to health, safety, or fundamental rights of natural persons. High-risk AI will be permitted in the EU if they meet mandatory requirements and a previous conformity assessment.

The EU classifies high-risk AI in two main categories: AI systems to be used as safety component of products and stand-alone AI systems. The first one refers to AI tools that are physically integrated into the product (embedded), while the second one works independently without being integrated in the product (non-embedded).

This classification is important, because the EU wants to apply the regulation to high-risk AI systems regardless their location. In other words, the EU regulation would be applicable to providers and users of high-risk AI systems that are established in a third country (e.g. China, U.S), provided that the output produced by those AI systems is used within the EU.

Examples of high-risk AI systems are autonomous robots for manufacturing or personal assistance and care. AI systems used in the health sector to perform diagnostics, operations or support human decisions (e.g., cancer treatment, radiography) are also considered as high-risk AI systems. Other examples of high-risk AI systems are:

- Real time and post remote biometric identification systems.
- AI systems used in education or vocational training to determine access or assigning persons to education or vocational trainings or to evaluate persons on tests as a precondition for their education.

- AI systems used in employment, employee management and access to self-employment for the recruitment and selection of persons for making decisions on promotion and termination, monitoring, or evaluation of persons in work-related contractual relationship are also considered as high-risk AI.
- AI systems used to monitor the performance and behavior of workers
- AI systems to evaluate the credit score or creditworthiness of natural person.
- AI systems used in migration, asylum, and border control management.
- AI systems intended for the administration of justice and democratic processes.
- AI systems intended to assist judicial authorities or support on the application or interpretation of law or facts

Low-minimal risk AI

Low-minimal risk AI are those systems that do not have a significant risk to health, safety, or fundamental rights of natural persons. These systems are mostly related to purely ancillary administrative activities tasks, translations, data analytics, anonymization of documents, communication between persons, resource allocation, process optimization, chatbots (when the user knows that a machine is answering).

In general, low-minimal risk AI systems relates to tools, applications or software used by companies and their processes, provided that these systems do not affect the health, safety, or fundamental rights of natural persons. (See figure 3)

Prohibited AI or unacceptable risk AI	High – risk AI	Low – minimal risk AI
<ul style="list-style-type: none"> • Manipulation to persons through subliminal techniques • Exploit vulnerabilities of vulnerable groups (children, elderly persons) • Psychological or physical harm to persons, animals and environment • AI-bases social scoring • Real time remote biometric identification (with some exception public security or national security) 	<ul style="list-style-type: none"> • Autonomous robots (manufacturing or personal assistance) • Diagnostics, operations or support human decision (cancer treatment or radiology) • Educational or vocational training or evaluation • Employment, employee and recruitment processes • Worker’s behaviors performance • Creditworthiness • Migration, asylum and border control management • Judicial authorities’ assistance and application or interpretation of law and facts 	<ul style="list-style-type: none"> • No risk to health, safety or fundamental rights. • Administrative tasks and activities • Translations • Data analytics • Anonymization of documents • Communication among people (chat) • Chatbots (when user knows it is a machine) • Processes, Quality or Maintenance check

Figure 3. The EU trustworthy artificial intelligence legal framework: Prohibited AI, High risk AI, Low minimal risk AI

4. CONCLUSIONS

AI is reshaping the global order. On one hand, China and other countries are having an authoritarian AI approach that focuses currently on citizen surveillance and big data control. On the other hand, the United States is focusing on implementing AI systems in their military and defence infrastructures, but they are lacking a suitable AI framework and infrastructure.

Unlike the U.S. and China, the EU is working on legal AI framework aimed to protect the interest and fundamental rights of EU citizens and companies. This approach promotes the development of AI technology and systems by humans and for humans and the environment. Although, this proposal is still pending to becoming a binding regulation within the EU, data science or software developers professionals should be ready to understand and include it in their IT projects. AI and algorithm compliance regulations and non-tech professionals should start learning and understanding more about AI technology.

REFERENCIAS

- Ciocca, J., Horowitz, M. C., & Kahn, L. (2021). The Perils of Overhyping Artificial Intelligence: For AI to Succeed, It First Must Be Able to Fail. *Foreign Affairs*. <https://www.foreignaffairs.com/articles/united-states/2021-04-06/perils-overhyping-artificial-intelligence>
- European Commission*. (2021). *Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Council Laying Down Harmonized Rules on Artificial Intelligence (artificial intelligence act): (COM/2021/206 final)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0206>
- Darby, C., & Sewall, S. (2021). The Innovation Wars: America's Eroding Technological Advantage. *Foreign Affairs*. <https://www.foreignaffairs.com/articles/unitedstates/2021-02-10/technology-innovation-wars>
- Normile, D. (2019). Chinese Scientist Who Produced Genetically Altered Babies Sentenced to 3 Years in Jail. *Science*. <https://www.sciencemag.org/news/2019/12/chinese-scientist-whoproduced-genetically-altered-babies-sentenced-3-years-jail>
- Wright, N. (2018). How Artificial Intelligence Will Reshape the Global Order. *Foreign Affairs*. <https://www.foreignaffairs.com/articles/world/2018-07-10/how-artificial-intelligence-willreshape-global-order>

Algoritmos de *deep learning* para la detección de neumonía en infantes a través de imágenes de radiografías del tórax

Juan Carlos Valero Gómez
jvalerog@unam.edu.pe

Alex Peter Zúñiga Incalla
azunigai@unam.edu.pe

Juan Carlos Clares Perca
jclaresp@unam.edu.pe

Universidad Nacional de Moquegua, Ilo, Perú

Recibido: 20/6/2021 Aceptado: 21/9/2021
doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5586>

RESUMEN. Una gran cantidad de infantes fallecen cada año a consecuencia de la neumonía en todo el mundo. Se reporta que aproximadamente más de un millón de casos de neumonía, dentro de este grupo, se da entre 0 y 5 años de edad, de los cuales 808 694 murieron en el 2017. Por ende, la neumonía es una de las principales causas de fallecimiento entre los niños, con un alto nivel de mortalidad en Asia y África. Incluso en un país desarrollado como Estados Unidos, esta enfermedad se encuentra entre las diez principales causas de muerte. La detección y el tratamiento tempranos de la neumonía pueden reducir significativamente las tasas de mortalidad entre los infantes en países emergentes. Por lo tanto, este trabajo presenta algoritmos de *deep learning* para detectar neumonía mediante imágenes de radiografías. Se entrenaron tres algoritmos de *deep learning* para clasificar las imágenes de radiografías en dos tipos: neumonía y normal. Se presentan tres algoritmos, a cada uno se añadió una capa *pooling* de 4×4 , se vectorizaron los datos con la técnica *flatten*, se agregaron seis capas *dense* de 1024, 512, 256, 128, 64 y 32 de valor de salida, y cada una con activación *relu*; asimismo, se aplicó un BatchNormalization y, finalmente, se agregó una capa *dense* de 2 con una activación *softmax* para la clasificación. Los tres algoritmos son modelos previamente entrenados, que son Xception, MobileNet e InceptionV3 y que obtuvieron en la métrica de *accuracy* 94,4 %, 96,2 % y 95,3 % respectivamente.

PALABRAS CLAVE: neumonía infantil / *deep learning* / Xceptio / MobileNet / InceptionV3

DEEP LEARNING ALGORITHMS FOR THE DETECTION OF PNEUMONIA IN INFANTS THROUGH CHEST X-RAY IMAGES

ABSTRACT. Worldwide, large numbers of infants die of pneumonia each year. It is reported that approximately more than 1 million cases of pneumonia in infants occur between 0 and 5 years of age, of which 920 136 died in 2015. Therefore, pneumonia is one of the leading causes of death among infants, with a high level of mortality in Asia and Africa. Even in a developed country like the United States, pneumonia is among the top 10 causes of death. Early detection and treatment of pneumonia can significantly reduce mortality rates among infants in emerging countries. Therefore, this work presents deep learning algorithms to detect pneumonia using radiographic images. Three deep learning algorithms were trained to classify X-ray images into two classes: pneumonia and normal. Three algorithms are presented, to each one, a 4x4 pooling layer was added, the data is vectorized with the flatten technique, six dense layers of 1024, 512, 256, 128, 64, and 32 of output value were added, and each one with relu activation; A BatchNormalization is applied; finally a dense layer of 2 is added with a softmax activation for classification. The three algorithms are previously trained models, which are Xception, MobileNet and InceptionV3 obtained in the accuracy metric 94,4%, 96,2% and 95,3% respectively.

KEYWORDS: childhood pneumonia / deep learning / Xception / MobileNet / InceptionV3

1. INTRODUCCIÓN

La neumonía es una infección aguda respiratoria que ataca a los pulmones. La neumonía es la principal causa individual de mortalidad infantil en todo el mundo. Se calcula que la neumonía mató a unos 808 694 niños menores de cinco años en el 2017, lo que supone el 15 % de todos los fallecimientos de infantes menores de cinco años a nivel mundial (WHO, 2019). En los países emergentes hay una escasa disponibilidad de profesionales médicos y radiólogos que cumplen un papel fundamental en el diagnóstico de la neumonía (Liu *et al.*, 2018). En la última década se ha empleado para el diagnóstico de enfermedades la asistencia por computadora basada en algoritmos de inteligencia artificial; estas tecnologías se pueden poner a disposición de una gran población a un costo mínimo. Un problema recurrente en la detección de enfermedades pulmonares es que, a veces, los patrones característicos de una enfermedad tienen algún grado de similitud con otras enfermedades, ocasionando que los médicos especializados tengan dificultades en realizar un diagnóstico preciso.

Entre las técnicas de *deep learning* (aprendizaje profundo), las redes neuronales convolucionales han demostrado ser eficientes en la clasificación de imágenes, son frecuentemente utilizadas por los investigadores para la visión computacional. Estas técnicas han comprobado ser tan útiles para el reconocimiento rápido y preciso de la neumonía que se equiparan o superan a un especialista médico. No obstante, las técnicas de *deep learning* no pueden sustituir a los médicos especialistas para realizar un diagnóstico, sino que son una herramienta más para el personal médico en la toma de decisiones clínicas (Hosny *et al.*, 2018; Kallianos *et al.*, 2019).

El presente trabajo emplea tres modelos basados en algoritmos de *deep learning* que son capaces de detectar automáticamente si un paciente padece de neumonía o no. En ese sentido, se plantea desarrollar tres algoritmos de *deep learning* que puedan superar las expectativas de la investigación; para ello se empleará algoritmos preentrenados y se importará los pesos de ImageNet para lograr un mejor desempeño (Deng *et al.*, 2014). Los resultados serán evaluados a través de métricas que determinarán si los algoritmos propuestos tienen resultados óptimos.

2. METODOLOGÍA

2.1 *Dataset*

En el presente trabajo se empleó un *dataset* publicado en la comunidad de ciencias de datos KAGGLE por Kermany *et al.* (2018); el *dataset* cuenta con un total de 5856 imágenes de radiografías del tórax de infantes anonimizados. El *dataset* cuenta con dos clases: pacientes con neumonía con un total de 4273 imágenes y pacientes sanos con un total de 1583 imágenes. Como se puede visualizar en la figura 1, el *dataset* se encuentra desbalanceado; no obstante, se cuenta con un número aceptable en pacientes sanos para la experimentación; en los resultados se podrá determinar el nivel de incidencia del desbalance en las métricas de evaluación.

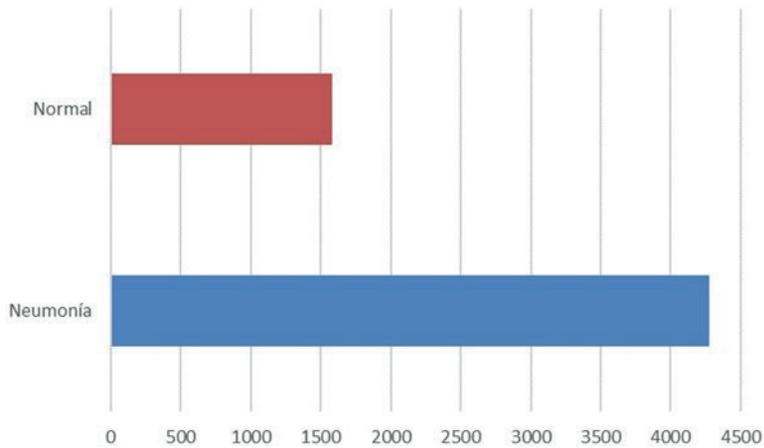


Figura 1. Distribución del dataset
Elaboración propia

El dataset se dividió en dos conjuntos: el conjunto de entrenamiento, con el 80 % del total (4696 imágenes), de las cuales 3458 imágenes son de pacientes con neumonía y 1238 imágenes de pacientes sanos; y el conjunto de test, con el 20 % del total (1160 imágenes), de las cuales 815 imágenes son de pacientes con neumonía y 345 imágenes son de pacientes sanos.

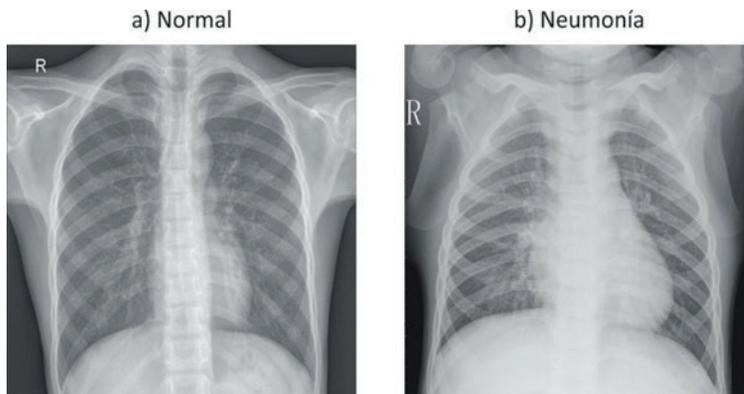


Figura 2. Distribución del dataset
Elaboración propia

Los datos del entrenamiento se dividen nuevamente en datos para entrenar y datos para la validación; en este caso del total de los datos de entrenamiento un 20 % se destinará para la validación cruzada, está conformado por 692 imágenes de pacientes con neumonía y 248 imágenes de pacientes sanos. Se puede ver una muestra en la figura 2.

Cada imagen del *dataset* ha sido preprocesada normalizándola para que pueda ser empleada en el entrenamiento de los algoritmos. Cada imagen fue reescalada a una resolución de 256 x 256 píxeles, esta resolución es aceptada por los tres algoritmos como valores de entrada, Además, cada píxel tiene un valor que se encuentra entre el rango de [0, 255], el valor del píxel ha sido convertido para que esté dentro del rango de [0, 1], esta conversión tiene como objetivo facilitar las operaciones matriciales.

2.2 Algoritmos

Se emplearon tres algoritmos de *deep learning* para el estudio: InceptionV3 (Szegedy *et al.*, 2016), MobileNet (Howard *et al.*, 2019) y Xception (Chollet, 2017). Para hacer uso de los algoritmos propuestos se utilizó la librería de Tensorflow y Keras. Para recortar los tiempos de entrenamiento de los algoritmos y una mejor eficacia de estos se utilizó la técnica de Transfer Learning con ImageNet (Deng *et al.*, 2014). El hecho de usar la misma arquitectura con los mismos parámetros que el modelo preentrenado otorgará a los algoritmos la capacidad de reconocer varias clases desde el comienzo, lo que además se traducirá en un tiempo de entrenamiento muy reducido. Para tener la capacidad de computo necesaria para ejecutar los algoritmos InceptionV3, MobileNet y Xception se empleó la plataforma de Google Colab que proporciona el uso de los GPU necesarios para la experimentación.

A la arquitectura del algoritmo Xception se sumó una capa *pooling* de 4 x 4, se vectorizaron los datos con la técnica *flatten*, se agregaron seis capas *dense* de 1024, 512, 256, 128, 64 y 32 de valor de salida y cada una con activación *relu*; se aplicó un BatchNormalization; finalmente, se agregó una capa *dense* de 2 con una activación *softmax* para la clasificación.

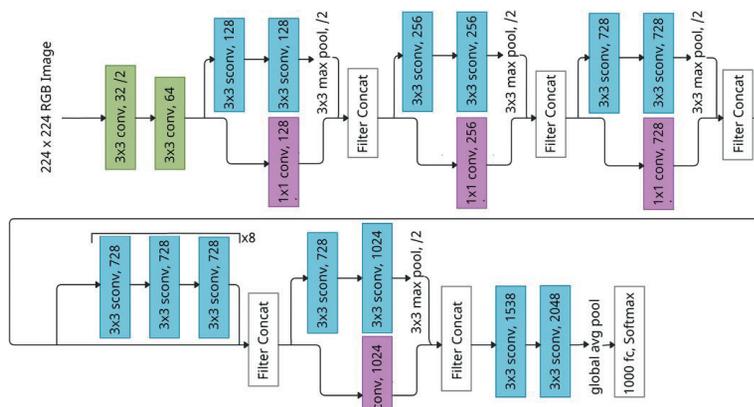


Figura 3. Arquitectura de Xception

Fuente: Adaptado del sitio <http://www.techscience.com>

A la arquitectura del algoritmo MobileNet se le sumó una capa *pooling* de 4 x 4, se vectorizaron los datos con la técnica *flatten*, se agregaron seis capas *dense* de 1024, 512, 256, 128, 64 y 32 de valor de salida y cada una con activación *relu*; se aplicó un BatchNormalization, finalmente se le agregó una capa *dense* de 2 con una activación *softmax* para la clasificación.

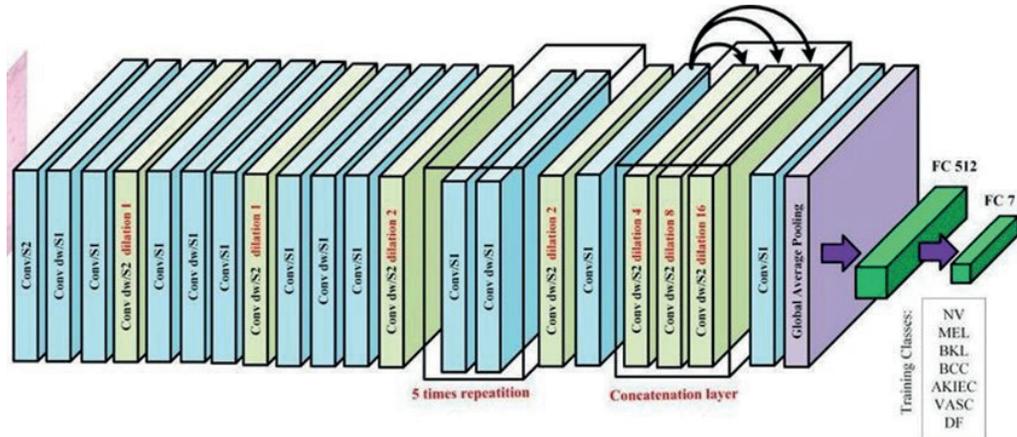


Figura 4. Arquitectura de MobileNet
Elaboración propia

A la arquitectura del algoritmo InceptionV3 se le sumó una capa *pooling* de 4 x 4, se vectorizaron los datos con la técnica *flatten*, se agregaron seis capas *dense* de 1024, 512, 256, 128, 64 y 32 de valor de salida y cada una con activación *relu*; se aplicó un BatchNormalization, finalmente se agregó una capa *dense* de 2 con una activación *softmax* para la clasificación.

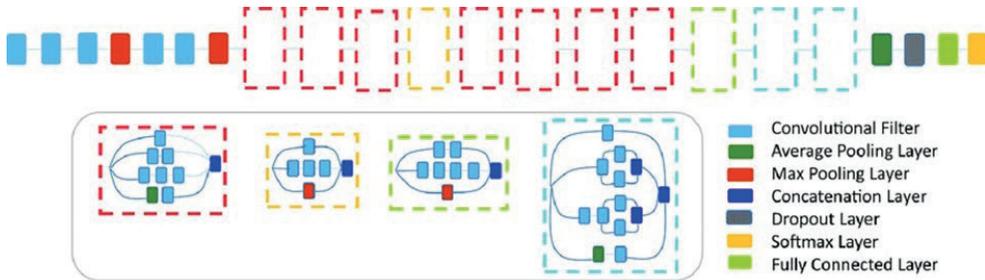


Figura 5. Arquitectura de InceptionV3
Elaboración propia

Los hiperparámetros empleados para los tres algoritmos fueron epochs = 100, batch_size = 20 y el optimizador SGD (Song *et al.*, 2013) con learning_rate a razón de 0,001. Esta configuración permitió obtener el mejor desempeño que pueden ofrecer InceptionV3, MobileNet y Xception.

La selección de las capas adicionales para cada modelo es en razón de darle más profundidad y que cada modelo pueda extraer y mapear adecuadamente las imágenes del *dataset*, debido a que los modelos ya han sido preentrenados con los pesos de ImageNet.

3. RESULTADOS

En la etapa de entrenamiento se puede observar el desempeño de cada algoritmo empleado para el presente estudio, se logró evaluar a través de las métricas de precisión (*accuracy*) y la pérdida de entropía cruzada (*cross entropy loss*). En el caso de Xception se visualiza que sufre de sobreajuste (*overfitting*) considerable después de la época 15, pero se mantiene estable (véase la figura 6). Para MobileNet se visualiza que desde las primeras épocas obtiene buenos resultados sin caer en el sobreajuste pronunciado, con pocas variaciones y manteniéndose constante (véase la figura 7). En el caso de InceptionV3 obtiene buenos resultados desde el inicio; además, los resultados de entrenamiento y validación son más semejantes en comparación de los resultados de Xception y MobileNet (véase la figura 8).

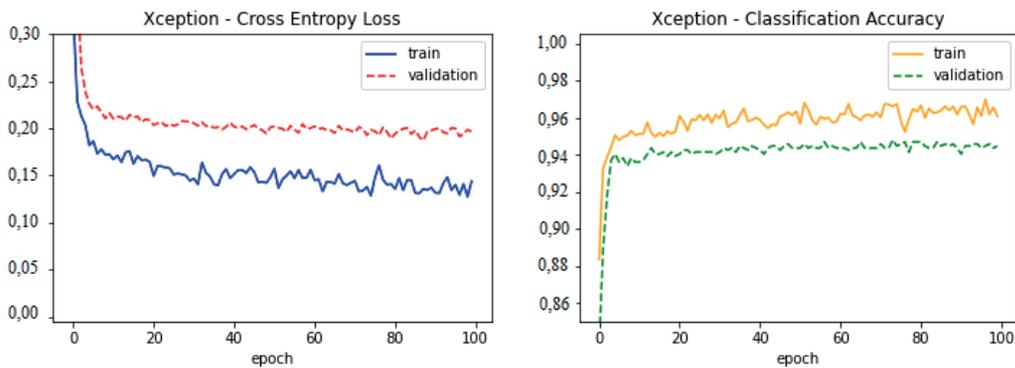


Figura 6. Evaluación del desempeño en la etapa de entrenamiento y validación de las métricas de precisión y la entropía cruzada para Xception

Elaboración propia

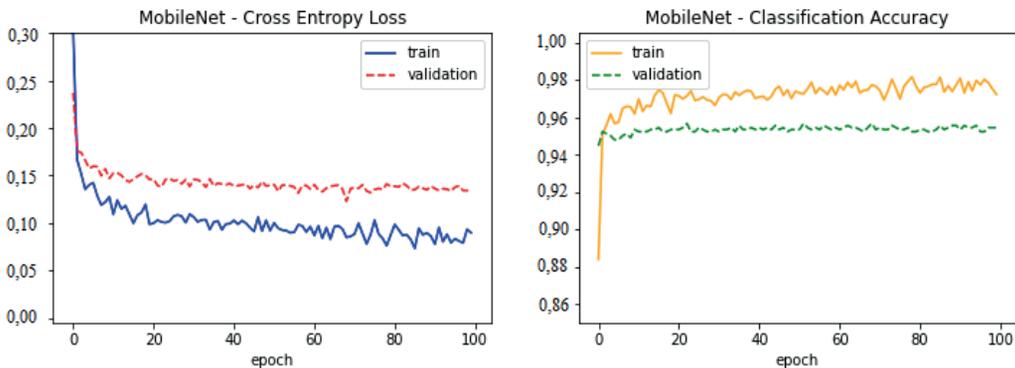


Figura 7. Evaluación del desempeño en la etapa de entrenamiento y validación de las métricas de precisión y la entropía cruzada para MobileNet

Elaboración propia

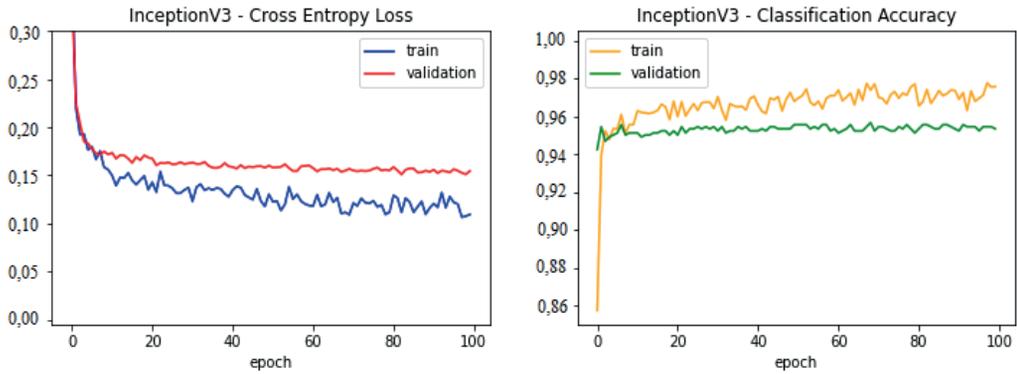


Figura 8. Evaluación del desempeño en la etapa de entrenamiento y validación de las métricas de precisión y la entropía cruzada para InceptionV3

Elaboración propia

Para la etapa de test se separaron 1160 imágenes; a este grupo de datos se aplicó el método *predict* que otorgó una estimación para cada clase, la estimación estará en el rango de 0 a 1; posteriormente, se aplicará el método *argmax* para que devuelva la clase con mayor estimación. De este modo, solo tendremos 0 (normal) y 1 (neumonía).

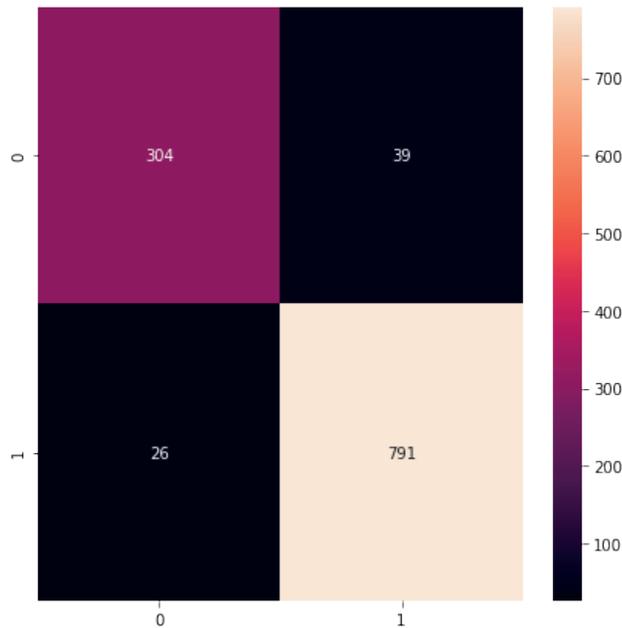


Figura 9. Matriz de confusión para los resultados con Xception, donde 0 = normal y 1 =neumonía

Elaboración propia

En la figura 9 se visualizan los resultados de la matriz de confusión para Xception; se acierta correctamente 304 y 791 veces para “normal” y “neumonía”, respectivamente. No obstante, también obtiene 26 falsos positivos y 39 falsos negativos; es decir, 26 veces predijo que era normal cuando realmente era neumonía y 39 veces predijo que era neumonía cuando era normal.

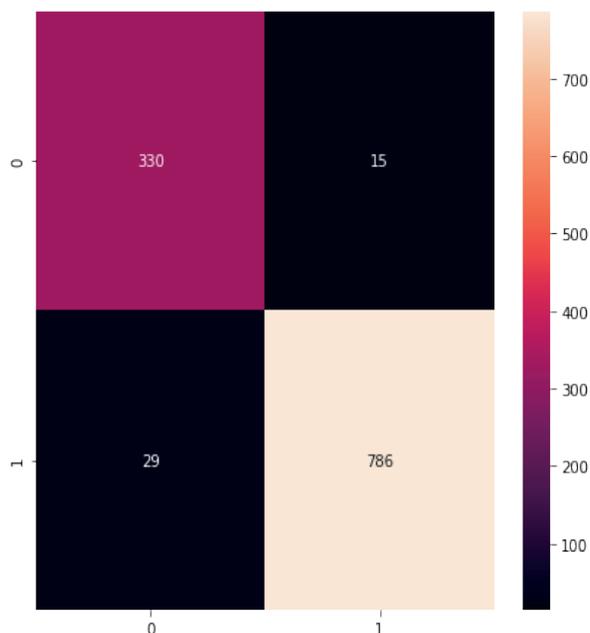


Figura 10. Matriz de confusión para los resultados con MobileNet, donde 0 = normal y 1 = neumonía

Elaboración propia

En la figura 10 se observan los resultados de la matriz de confusión para MobileNet, que acierta correctamente 330 y 786 veces para “normal” y “neumonía” respectivamente. No obstante, también obtiene 29 falsos positivos y 15 falsos negativos; es decir, 29 veces predijo que era normal cuando realmente era neumonía y 15 veces predijo que era neumonía cuando era normal.

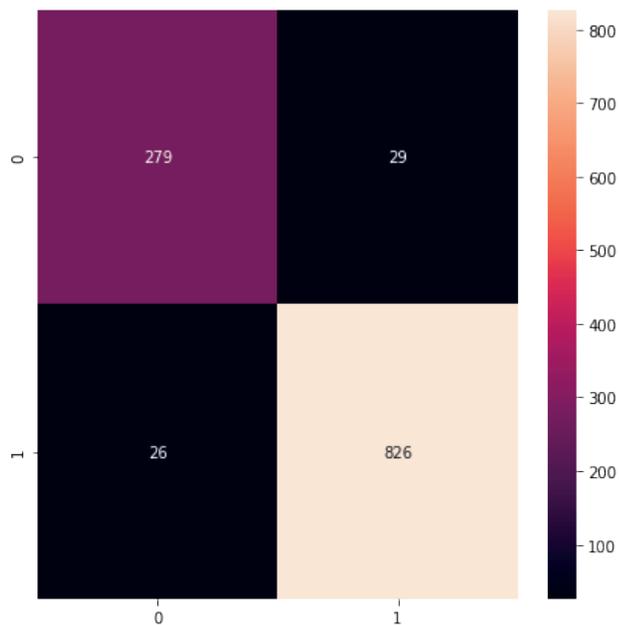


Figura 11. Matriz de confusión para los resultados con InceptionV3, donde 0 = normal y 1 = neumonía
Elaboración propia

En la figura 11 se observan los resultados de la matriz de confusión para InceptionV3, que acierta correctamente 279 y 826 veces para “normal” y “neumonía” respectivamente. No obstante, también obtiene 26 falsos positivos y 29 falsos negativos; es decir, 26 veces predijo que era normal cuando realmente era neumonía y 29 veces predijo que era neumonía cuando era normal.

Tabla 1
Métricas de evaluación para cada algoritmo

Algoritmo	Clase	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Xception	Normal	0,944	0,92	0,89	0,90
	Neumonía		0,95	0,97	0,96
MobileNet	Normal	0,962	0,92	0,96	0,94
	Neumonía		0,98	0,96	0,97
InceptionV3	Normal	0,953	0,91	0,91	0,91
	Neumonía		0,97	0,97	0,97

Elaboración propia

A partir de la matriz de confusión podemos calcular las métricas de *accuracy*, *precision*, *recall* y F1-Score de cada algoritmo empleado para el presente estudio. Podemos ver los resultados en la tabla 1, cada algoritmo ha demostrado un alto desempeño, pero MobileNet ha obtenido mejores resultados para cada métrica, le sigue InceptionV3, que por poco margen dista de los resultados obtenidos por MobileNet; en el caso de Xception se obtuvieron resultados por debajo de InceptionV3 y MobileNet, esto debido a que sufrió de un sobreajuste más pronunciado en la etapa de entrenamiento como se puede observar en la figura 3.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos son más que aceptables en comparación con otras investigaciones realizadas sobre el mismo *dataset*; en la investigación de Liang y Zheng (2020) se experimentó con VGG16, DenseNet121, InceptionV3, Xception y un modelo propuesto por ellos; el modelo que mejores resultados les proporcionó fue el que proponen, obteniendo un *accuracy* de 90,50 %, en Xception obtuvieron 87,80 % de *accuracy* y con InceptionV3 obtuvieron un 85,30 % de *accuracy*. Mientras que en la presente investigación se obtuvo con MobileNet un 96,20 % de *accuracy*, InceptionV3 obtuvo 95,30 % y Xception obtuvo un 94,40 %. Esta mejora significativa, en comparación de los resultados obtenidos por Liang y Zheng (2020), se debe a la profundidad con las seis capas densas que se añadieron a los tres modelos empleados en la investigación. Al poder extraer y mapear las características de cada imagen del *dataset*, los modelos han podido generalizar adecuadamente, esto se demuestra con los resultados obtenidos.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron tres algoritmos diferentes preentrenados para la aplicación en la detección de neumonía. Los algoritmos fueron Xception, MobileNet e InceptionV3 que obtuvieron resultados más que aceptables. Xception obtuvo un 94,4 % en la métrica de *accuracy*, 93,5 % en la métrica de *precision*, 93,0 % en la métrica de *recall*, 93,0 % en la métrica de F1-Score. MobileNet obtuvo un 96,2 % en la métrica de *accuracy*, 95,0 % en la métrica de *precision*, 96,0 % en la métrica de *recall*, 95,5 % en la métrica de F1-Score. Por último, InceptionV3 obtuvo un 95,3% en la métrica de *accuracy*, 94,0 % en la métrica de *precision*, 94,0 % en la métrica de *recall*, 94,0 % en la métrica de F1-Score. De los resultados podemos concluir que MobileNet ha demostrado un mejor desempeño ante Xception e InceptionV3 en las diferentes métricas empleadas. Además, su complejidad es muy inferior a los otros algoritmos con 8,1 millones de parámetros, llevando a la utilización de menos recursos computacionales. Los resultados indican que MobileNet cuenta con un nivel muy alto de eficiencia con relación a Xception e InceptionV3.

REFERENCIAS

- Chollet, F. (2017). Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 1800-1807. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.195>
- Deng, J., Russakovsky, O., Krause, J., Bernstein, M., Berg, A., y Fei-Fei, L. (2014). Scalable Multi-Label Annotation. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14)*, 3099-3102. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557011>
- Hosny, A., Parmar, C., Quackenbush, J., Schwartz, L. H., y Aerts, H. J. W. L. (2018). Artificial Intelligence in Radiology. *Nature Reviews Cancer*, 18(8), 500-510. <https://doi.org/10.1038/s41568-018-0016-5>
- Howard, A., Sandler, M., Chen, B., Wang, W., Chen, L. C., Tan, M., Chu, G., Vasudevan, V., Zhu, Y., Pang, R., Adam, H., y Le, Q. (2019). Searching for MobileNetV3. *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 1314-1324. <https://doi.org/10.1109/iccv.2019.00140>
- Kallianos, K., Mongan, J., Antani, S., Henry, T., Taylor, A., Abuya, J., y Kohli, M. (2019). How Far Have We Come? Artificial Intelligence for Chest Radiograph Interpretation. *Clinical Radiology*, 74(5), 338-345. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2018.12.015>
- Kermany, D. S., Goldbaum, M., Cai, W., Valentim, C. C., Liang, H., Baxter, S. L., McKeown, A., Yang, G., Wu, X., Yan, F., Dong, J., Prasadha, M. K., Pei, J., Ting, M., Zhu, J., Li, C., Hewett, S., Dong, J., Ziyar, I., ... Zhang, K. (2018). Identifying Medical Diagnoses and Treatable Diseases by Image-Based Deep Learning. *Cell*, 172(5), 1122-1131.e9. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.02.010>
- Liang, G., y Zheng, L. (2020). A Transfer Learning Method with Deep Residual Network for Pediatric Pneumonia Diagnosis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2019.06.023>
- Liu, N., Wan, L., Zhang, Y., Zhou, T., Huo, H., y Fang, T. (2018). Exploiting Convolutional Neural Networks with Deeply Local Description for Remote Sensing Image Classification. *IEEE Access*, 6, 11215-11227. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2798799>
- WHO. (2019). *Pneumonia*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pneumonia>
- Song, S., Chaudhuri, K., y Sarwate, A. D. (2013). Stochastic Gradient Descent with Differentially Private Updates. *2013 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing*, 245-248. <https://doi.org/10.1109/GlobalSIP.2013.6736861>
- Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., y Wojna, Z. (2016). Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2818-2826. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.308>

PÓSTERES

Clasificación de pacientes con COVID-19 con predisposición a cuidados intensivos usando técnicas de SVM y Random Forest

Juan Víctor Sanguinetti Valdivia

20153324@aloe.ulima.edu.pe

Universidad de Lima, Perú

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5631>

El COVID-19 es una enfermedad respiratoria de alto nivel de contagio causada por el SARS-CoV-2. Los algoritmos predictivos permitirían la identificación de aquellas personas que podrían ser admitidas a cuidados intensivos. En este trabajo se siguió una metodología que consiste en la selección de un conjunto de datos que luego será procesado mediante el uso de técnicas como One Hot Encoding, MICE y LASSO. Luego se desarrollarán y evaluarán los modelos propuestos de Random Forest y Support Vector Machine mediante las métricas de sensibilidad, especificidad y AUC. Los resultados indican que el modelo de Random Forest obtiene un mejor rendimiento para la clasificación de los pacientes que son admitidos a una sala de cuidados intensivos.

CLASSIFICATION OF PATIENTS WITH COVID-19 PREDISPOSED TO INTENSIVE CARE USING SVM AND RANDOM FOREST TECHNIQUES

COVID-19 is a highly contagious respiratory disease caused by SARS-CoV-2. Predictive algorithms would allow the identification of those who could be admitted to intensive care. In this work, a methodology was followed that consists of selecting a data set, which will then be processed through techniques such as One Hot Encoding, MICE, and LASSO. Then the proposed Random Forest and Support Vector Machine models will be developed and evaluated using sensitivity, specificity, and AUC metrics. The results indicate that the Random Forest model obtains a better performance for the classification of patients who are admitted to an intensive care ward.

Clasificación de pacientes con COVID-19 con predisposición a cuidados intensivos usando técnicas de SVM y Random Forest

Juan Víctor Sanguinetti Valdivia
20153324@aloe.ulima.edu.pe

RESUMEN. El COVID-19 es una enfermedad respiratoria de alto nivel de contagio causada por el SARS-CoV-2. Los algoritmos predictivos permitirían la identificación de aquellas personas que podrían ser admitidas a cuidados intensivos. En este trabajo se siguió una metodología que consiste en la selección de un conjunto de datos que luego será procesado mediante el uso de técnicas como One Hot Encoding, MICE y LASSO. Luego se desarrollarán y evaluarán los modelos propuestos de Random Forest y Support Vector Machine mediante las métricas de sensibilidad, especificidad y AUC. Los resultados indican que el modelo de Random Forest obtiene un mejor rendimiento para la clasificación de los pacientes que son admitidos a una sala de cuidados intensivos.

Introducción

La enfermedad del COVID-19 pone a prueba los sistemas de salud en todo el mundo, ya que se debe tener una capacidad máxima de hospitalización para tratar a los pacientes internados, y con mayor razón si es que la expansión del virus no es mitigada. La manera tradicional de analizar la evolución de los pacientes es de forma manual, lo cual a los encargados les toma tiempo. Los modelos predictivos permiten predecir la evolución de los pacientes que se encuentran en el hospital, con lo que se podría reducir la demanda pico, asegurando la priorización de recursos correctamente.



Metodología

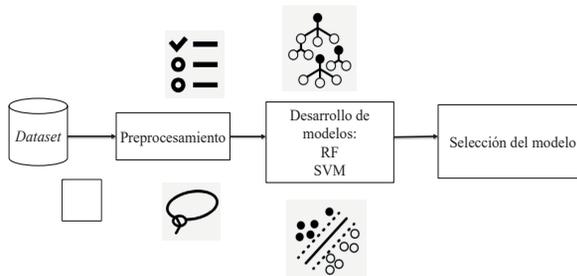
Se siguió una metodología que empieza con la exploración del conjunto de datos y la aplicación de técnicas de preprocesamiento como One Hot Encoding y MICE.



Representación de MICE

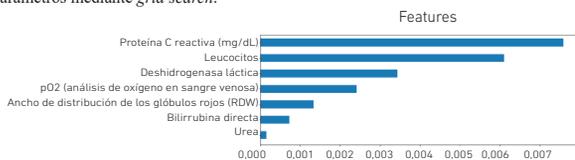
Fuente: Tomado de <https://cran.r-project.org/web/packages/miceRanger/vignettes/miceAlgorithm.html>

Para luego desarrollar los modelos de RF y SVM, los cuales serán posteriormente evaluados.



Experimentación

El conjunto de datos utilizado describía los resultados de pruebas de laboratorio tomadas al ingresar al hospital, además de información demográfica de los pacientes. Al aplicar LASSO se encontraron los atributos más relevantes para el rendimiento de los modelos. Adicionalmente, se hizo una selección de hiperparámetros mediante *grid search*.



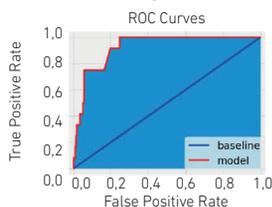
Resultados de la aplicación de LASSO. Elaboración propia

Modelo e hiperparámetro	Resultado
Random Forest	
Profundidad	5
Número de árboles	256
Support Vector Machine	
Regularización C	10
Kernel	rbf
Grado polinomial	-

Resultados de *grid search*. Elaboración propia

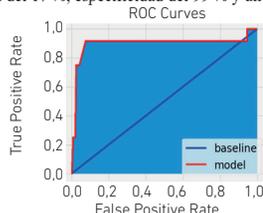
Resultados

Luego del desarrollo se siguió con la parte experimental, en la que Random Forest obtuvo una sensibilidad del 50 %, una especificidad del 95 % y un AUC del 90 %.



Curva ROC del Random Forest. Elaboración propia

En el caso de Support Vector Machine se observa que se tenía una sensibilidad del 17 %, especificidad del 99 % y un AUC del 90 %.



Curva ROC del SVM. Elaboración propia

Referencias

Burdick, H., Lam, C., Mataraso, S., Siefkas, A., Braden, C., Dellinger, R. P., McCoy, A., Vincent, J. L., Green-Saxena, A., Barnes, G., Hoffman, J., Gilbert, J., Pellegrini, E., y Das, R. (2020). Prediction of Respiratory Decompenation in COVID-19 Patients Using Machine Learning: The READY Trial. *Computers in Biology and Medicine*, 124, 103949. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2020.103949>

Liang, W., Liang, H., Ou, L., Chen, B., Chen, A., Li, C., Li, Y., Guan, W.,

Sang, L., Liu, J., Xu, Y., Chen, G., Guo, H., Guo, J., Chen, Z., Zhao, Y., Li, S., Zhang, N., Zhong, N., y He, J. (2020). Development and Validation of a Clinical Risk Score to Predict the Occurrence of Critical Illness in Hospitalized Patients with COVID-19. *JAMA Internal Medicine*, 160(6), 1061-1069. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2020.2033>

Schwab, P., DuMont Schütte, A., Dietz, B., y Bauer, S. (2020). Clinical Predictive Models for COVID-19: Systematic Study. *Journal of Medical Internet Research*, 22(10), e21439. <https://doi.org/10.2196/21439>

Agradecimientos

Agradezco a los profesores Víctor Ayma y Juan Gutiérrez por el apoyo en la realización de este trabajo.

Modelo de teletratamiento para la atención primaria de pacientes con COVID-19

Pool Jonathan Ramos Ramos

pool.ramos@unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5633>

Se propone utilizar un sistema experto que permita predecir si una persona presenta COVID-19 u otra enfermedad respiratoria, a partir de determinados síntomas comunes que determinen qué enfermedad respiratoria padece. Dicho modelo se implementará en una aplicación móvil; de esta manera, el paciente podrá registrarse, llenar un formulario y obtener un diagnóstico, el cual será evaluado por un médico para que determine un tratamiento adecuado.

TELE-TREATMENT MODEL FOR PRIMARY CARE OF COVID-19 PATIENTS

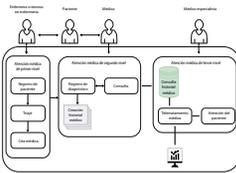
It is proposed to use an expert system to predict whether a person has COVID-19 or another respiratory disease from specific common symptoms that determine which respiratory disease they present. This way would allow the patient to register and fill out a form and obtain a diagnosis, which will be evaluated by a doctor and thus determine a treatment. Said model will be implemented in a mobile application.

Modelo de teletratamiento para la atención primaria de pacientes con COVID-19

Pool Jonathan Ramos Ramos
pool.ramos@unmsm.edu.pe

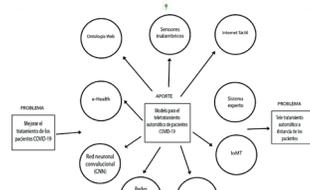
Resumen. Se propone utilizar un sistema experto que permita predecir si una persona presenta COVID-19 u otra enfermedad respiratoria, a partir de determinados síntomas comunes que determinen qué enfermedad respiratoria padece. Dicho modelo se implementará en una aplicación móvil; de esta manera, el paciente podrá registrarse, llenar un formulario y obtener un diagnóstico, el cual será evaluado por un médico para que determine un tratamiento adecuado.

Introducción: la actual pandemia por COVID-19 ha causado una tensión significativa en los recursos de los centros médicos; en este contexto es necesario proporcionar diagnóstico, tratamiento, monitoreo y seguimiento a los pacientes durante la pandemia. Los centros médicos responden adoptando herramientas y tecnologías digitales como la telemedicina y la atención virtual. El problema, actualmente, es el tratamiento de pacientes con COVID-19; al no contar con los recursos humanos, tecnológicos y científicos, vemos cómo cada día los casos aumentan y los centros médicos se ven rebasados y sin la capacidad de atender a tanta población afectada y mucho menos tratarlos. La enfermedad progresa y puede causar un daño considerable en los individuos afectados y, por ende, a complicaciones de salud que conducen a la muerte.

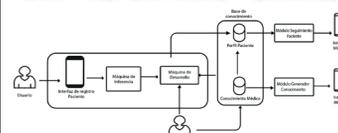


Propuesta

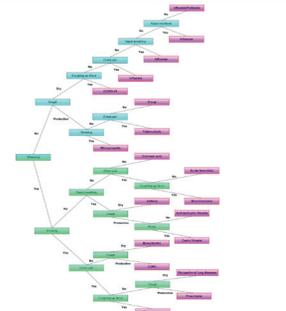
Una vez realizada la revisión bibliográfica de artículos en Scopus y Web of Science, se determinó que para desarrollar un modelo de teletratamiento automatizado se debe considerar el desarrollo de una aplicación móvil de fácil acceso a la población, además de un sistema experto que sea capaz de responder preguntas que el usuario realice y que sea de ayuda al personal médico para hacer un seguimiento de los pacientes a través del análisis de la información proporcionada por el usuario.



La solución plantea el uso de una aplicación móvil que cuenta con una interfaz para el médico y el paciente. El paciente crea una cuenta y se registra, luego llena un formulario en el que responderá a trece preguntas para determinar si presenta COVID-19 u otra enfermedad respiratoria. El médico podrá acceder a la historia clínica y de esta manera determinar el tratamiento a seguir, además de hacer un seguimiento al paciente.



El sistema experto fue desarrollado con base en un árbol binario en el que se detallan las siguientes enfermedades: bronquitis aguda, asma, bronquiectasias, bronquiolitis, COPD, COVID-19, influenza, cáncer de pulmón, fibrosis quística, tos ferina, enfermedades pulmonares ocupacionales, rinosinitis, tuberculosis.



Una vez completado el formulario, el paciente recibe una posible respuesta, queda registrado en la base de datos y el médico le indica qué tratamiento seguir.



Conclusiones. El desarrollo de una aplicación de teletratamiento automatizado permitirá tanto a los pacientes como al personal médico tener una mejora en la atención primaria de casos con COVID-19, debido a que la aplicación servirá de soporte tecnológico ante la deficiente atención por falta de recursos humanos y tecnológicos existente. Es una forma de llegar a la población que no tiene acceso a los servicios hospitalarios por el colapso del sistema de salud. Los retos para mejorar la atención de pacientes con COVID-19 son grandes, debido a la complejidad que implica la distribución de recursos a las zonas más alejadas del país. En este sentido, el presente trabajo tiene por objetivo mejorar su atención frente a la problemática que atraviesa el país actualmente.

Tecnologías usadas

La aplicación está basada en Flutter y el sistema experto se encuentra desarrollado en Node.js, tiene como base de datos a Firebase. El sistema experto se desarrolla utilizando Rools, un pequeño motor de reglas para Node.js, y Handlebars.js, un lenguaje de plantillas semántico para JavaScript.



Further information

© Copyright Colin Purrington. You may use for making your poster, of course, but please do not repost the template on your own site or upload to file-sharing sites such as docdoc.com. This verbiage sounds mean-spirited, perhaps, but I've had people siphon off my whole site and then claim my content was public domain because they found it via Google.

Bibliografía

Antes, A., Mingo, L. de, y Gómez, N. (2020). Tele-Treatment Application Design for Disabled Patients with Wireless Sensors. *Applied Sciences*, 10(3), 1142. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/3/1142>

Bokolo Jar, A. (2020). Use of Telemedicine and Virtual Care for Remote Treatment in Response to COVID-19 Pandemic. *Journal of Medical Systems*, 44(7), 132. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10916-020-01596-5.pdf>

Castillo, E., Gutiérrez, J. M., y Hadi, A. (1997). *Expert Systems and Probabilistic Network Models*. Springer.

Celik, D., y Ulasoy, A. H. (2019). Development of a Knowledge-Based Medical Expert System to Infer Supportive Treatment Suggestions for Pediatric Patients. *ETRI Journal*, 41(4), 515-527. <https://www.mandalee.com/catalogue/4882efce-e07e-3826-9864-6b0a4558ace>

Darvish, A., Hassanian, A., y Elboseny, M. (2019). The Impact of the Hybrid Platform of Internet Things and Cloud Computing on Healthcare Systems: Opportunities, Challenges, and Open Problems. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(15), 4111-4166.

Fadlis, A. (2018). The Digital Transformation of Healthcare Technology Management. *AAMI. Biomedical Instrumentation & Technology*, 52 (a2), 34-38. <https://meridian.allenpress.com/bio/article/52/a2/34/1421310/The-Digital-Transformation-of-Healthcare>

Freud, J., Lowe, C., Hodgson, G., Binks, R., Dougherty, K., y Kohli, J. (2018). Telemedicine: Is It Really Worth It? A Perspective from Evidence and Experience. *Journal of Innovation in Health Informatics*, 25(1), 14-18. https://www.researchgate.net/publication/323790150_Telemedicine_Is_it_really_worth_it_A_perspective_from_evidence_and_experience

García-Holgado, A., Marcos-Pablos, S., Theoin-Sánchez, R., y García-Peláez, F. (2019). Technological Ecosystems in the Health Sector: A Mapping Study of European Research Projects. *Journal of Medical Systems*, 43(4), 100. <https://doi.org/10.1145/2526336.2526623>

Juin Ming Tsai, Min-Jiuh Cheng, Her-Her Tsai y Shia-Wan Hung. (2019). Acceptance and Resistance of Telehealth: The Perspective of Dual-Factor Concepts in Technology Adoption. *International Journal of Information Manager*, 49(3), 34-44.

Kanits, T., Gattuso, D., Tsakanikas, V., y Peraldo, A. (2020). Designing Interoperable Telehealth Platforms: Bridging IoT Devices with Cloud Infrastructures. *Enterprise Information Systems*, 14(8), 1-25.

Navarro, J., Navarro-Alamin, J., Lacuesta, R., García-Magarino, I., y Gallardo, J. (2020). A Methodology for the Design and Development of Gamified Mobile Apps for Monitoring Cancer Survivors. *Journal of Biomedical Informatics*, 106, 103439. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2020.103439>

Nasir, J., Hussain, S., y Dang, C. (2018). An Integrated Planning Approach Towards Home Health Care. *Telehealth and Patients Group Based Care, Network & Computer Applications*, 17, 30-41. <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-network-and-computer-applications/vol17/issue1>

Rajan, P., y Rajan, S. (2018). An Internet of Things Based Physiological Signal Monitoring and Receiving System for Virtual Enhanced Health Care Networks. *Technology and Health Care*, 26(7), 1-7. https://www.researchgate.net/publication/323591161_An_Internet_of_Things_based_physiological_signal_monitoring_and_receiving_system_for_virtual_enhanced_health_care_network

Wu, K., y Hanssens, D. (2011). COPD24: From Future Internet Technologies to Health Telemonitoring and Tele-treatment Application. *12th IFIP/IEEE IM 2011: Application Security*, 812-826. https://www.academia.edu/26874885/COPD24_From_Future_Internet_technologies_to_health_telemonitoring_and_tele-treatment_application

Wright, J., y Canfield, R. (2020). Remote Treatment Delivery in Response to the COVID-19 Pandemic. *Psychother Psychosom*, 89(3), 130-132.

Agradecimientos

Al doctor David Mauricio Sánchez, por el asesoramiento y apoyo constante en la realización de presente trabajo de investigación.

Aplicación de aprendizaje por refuerzo para el estacionamiento automático de un automóvil en un ambiente simulado

Marcelo José Inocente Cornejo

20160717@aloe.ulima.edu.pe

Universidad de Lima, Perú

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5634>

En el presente trabajo se propone una solución de aprendizaje por refuerzo para efectuar el estacionamiento perpendicular automático en un vehículo de cuatro ruedas. Se centra en diseñar una función de recompensas que es usada para entrenar a los algoritmos *Proximal Policy Optimization* y *Soft Actor Critic*, además de la combinación de ambos en un ensamble. Finalmente, se logra obtener un éxito cercano al 99 % y una desviación final de aproximadamente un grado. Al entrenar los algoritmos con posiciones iniciales aleatorias se obtiene un desempeño pobre.

THE REINFORCEMENT LEARNING APPLICATION FOR THE AUTOMATIC PARKING OF A CAR IN A SIMULATED ENVIRONMENT

In the present work, a reinforcement learning solution is proposed to carry out automatic perpendicular parking in a 4-wheeled vehicle. It focuses on designing a reward function used to train the Proximal Policy Optimization and Soft Actor-Critic algorithms and combine both in an assembly. Training the algorithms with random starting positions gives poor performance. Finally, it is possible to obtain a success close to 99 % and an absolute deviation of approximately 1 degree.

Aplicación de aprendizaje por refuerzo para el estacionamiento automático de un automóvil en un ambiente simulado

Marcelo José Inocente Cornejo
20160717@aloe.ulima.edu.pe

Resumen

En el presente trabajo se propone una solución de aprendizaje por refuerzo para efectuar el estacionamiento perpendicular automático en un vehículo de cuatro ruedas. Se centra en diseñar una función de recompensas que es usada para entrenar a los algoritmos *Proximal Policy Optimization* y *Soft Actor Critic*, además de la combinación de ambos en un ensamble. Finalmente, se logra obtener un éxito cercano al 99 % y una desviación final de aproximadamente un grado. Al entrenar los algoritmos con posiciones iniciales aleatorias se obtiene un desempeño pobre.

Introducción

La tarea de estacionar un automóvil puede llegar a ser dificultosa, así como también provocar riesgos de accidentes asociados (Green, 2006). Este problema ya ha sido abordado por la industria automotriz. Diversos fabricantes han lanzado modelos al mercado con la funcionalidad de estacionamiento automático. Sin embargo, muchas quejas ponen de relieve el prolongado tiempo de detección de espacios o la incapacidad de estacionar al ser estos muy estrechos (Dyer, 2017). Por otro lado, estos mecanismos funcionan con base en métodos geométricos de cálculo de ruta (Ballinas *et al.*, 2018; Hsu *et al.*, 2008), mientras que muchos trabajos de la literatura actualmente proponen el uso de aprendizaje automático (Bojarski *et al.*, 2016; P. Zhang *et al.*, 2019; Zhuang *et al.*, 2018), de forma que el algoritmo determine por sí mismo la mejor manera de manejar un auto.

A diferencia de otros métodos de aprendizaje como el supervisado, el aprendizaje por refuerzo no requiere de una data predefinida para realizar su entrenamiento. En lugar de ello, este tipo de algoritmos reciben como entrada un ambiente y un agente que actuará dentro de él, junto con un conjunto de "reglas de juego" que servirán como recompensas para indicar al agente qué comportamiento debe seguir. Una vez terminado el entrenamiento del algoritmo bajo estos parámetros, el agente será capaz de llevar a cabo la tarea objetivo.

La propuesta presentada en este trabajo hace uso del aprendizaje por refuerzo para entrenar a un modelo que efectúe la tarea de estacionamiento automático. Para esto se hace uso de los algoritmos *Proximal Policy Optimization* (PPO) y *Soft Actor Critic* (SAC), y su posterior combinación en un ensamble, a fin de comparar los desempeños de estos modelos en el estacionamiento perpendicular tanto desde una posición de inicio fija como desde posiciones iniciales aleatorias.

Materiales y métodos

La metodología seguida en este trabajo se detalla en la figura 1.

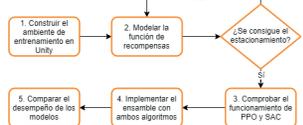


Figura 1. Diagrama de flujo de la experimentación
Elaboración propia

La etapa más crítica en este proceso es la modelación de la función de recompensas, pues consiste en definir cuáles serán las recompensas numéricas que se le darán al agente (por ejemplo, un valor de -1 cuando colisione y +1 cuando se estacione), las cuales impactarán en el posterior entrenamiento.

Materiales y métodos

Se construyó el ambiente de entrenamiento virtual haciendo uso del motor Unity mostrado en la figura 2. En este el agente, representado por un auto color verde, debía trasladarse hasta el espacio disponible entre los demás autos.



Figura 2. Escenario de estacionamiento construido usando el motor Unity
Elaboración propia

Para el entrenamiento de los modelos se hizo uso de la librería ML Agents, que permitía el uso de este escenario para entrenar implementaciones de los algoritmos a evaluar en este trabajo.

Resultados

Se entrenaron los algoritmos PPO y SAC hasta que fueron capaces de efectuar la maniobra de manera consistente. La evolución del ángulo y porcentaje de éxito a lo largo del entrenamiento puede verse en la figura 3. Posteriormente, fueron probados por 1000 episodios para poder extraer los resultados sobre su desempeño.

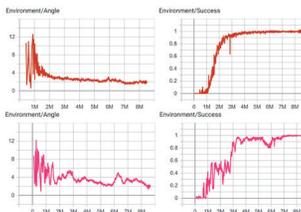


Figura 3. Evolución de la desviación (izquierda) y éxito (derecha) para PPO (arriba) y SAC (abajo)
Elaboración propia

Se logró obtener un éxito de 99 % en el escenario planteado utilizando el algoritmo PPO y uno del 99 con el algoritmo SAC. Por su parte, el ensamble logró un éxito de solo 96,8 %. En cuanto a los grados de desviación, PPO presenta un promedio de 1,86 grados, SAC tiene uno de 1,9 grados, y el ensamble registra uno de 1,71.

Para la lógica del ensamble se aplicó el cálculo del promedio de las acciones producidas por ambos algoritmos. Si las acciones diferían demasiado se asignaban pesos de 90 % para SAC y 10 % para PPO para evitar que se genere una "confusión" al recibir órdenes contradictorias.

Resultados

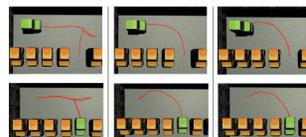


Figura 4. Traayectorias y posiciones finales del agente en el escenario perpendicular usando PPO (izquierda), SAC (centro) y ensamble (derecha)
Elaboración propia

Las trayectorias generadas por los algoritmos para estacionar el auto son mostradas en la figura 4. Se puede apreciar una clara diferencia entre las trayectorias de PPO y SAC, pues el primero se detiene para realizar una maniobra en reversa, mientras que SAC logra estacionar el auto de manera directa sin necesidad de detenerse. El ensamble exhibe una trayectoria similar a la de SAC debido a la preferencia configurada.

Al entrenar a los algoritmos en los escenarios, comenzando desde posiciones aleatorias, se obtuvieron resultados pobres, con porcentajes de éxito por debajo del 10 %.

Conclusiones

Se logró el objetivo de conseguir el estacionamiento automático perpendicular usando modelos de aprendizaje por refuerzo. La solución presentada obtiene resultados similares a los vistos en la literatura con respecto al éxito y grados de desviación, pues podemos notar que el porcentaje de éxito es alto, encontrándose cerca del 100 % que lograron Zhuang *et al.* (2018), mientras que los grados de desviación son mayores a los exhibidos por P. Zhang *et al.* (2019), quienes mostraron una desviación máxima de 0,747 grados en sus pruebas, aunque estos últimos ejecutaron su modelo con una posición inicial más favorable.

Pasando a hablar sobre la solución, la función de recompensas jugó un papel importante en este problema, pues fue modelada paso a paso para guiar el comportamiento de los modelos de forma que se logre el estacionamiento. En cuanto al comportamiento de los algoritmos, PPO mostró una mayor inclinación a la explotación de recompensas, mientras que SAC daba más prioridad a la exploración de su entorno.

La principal carencia de la solución presentada es la falta de adaptación a nuevas posiciones iniciales. Para contrarrestar esto se podría aplicar aprendizaje por currículo para un aumento gradual de la dificultad de las tareas o entrenar disjuntos modelos para las diferentes etapas como la detección, introducción al espacio y corrección de postura.

Referencias

Ballinas, E., Montiel, O., Castillo, O., Rubio, Y., y Aguilar, L. T. (2018). Automatic Parallel Parking Algorithm for a Car-Like Robot Using Fuzzy pd+i Control. *Engineering Letters*, 26(4), 447-454.

Hsu, T. H., Liu, J. F., Yu, P. N., Lee, W. S., y Hsu, J. S. (2008). Development of an Automatic Parking System for Vehicle. *2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2008*, 1-6.

Bojarski, M., Testa, D. del., Dworakowski, D., Firner, B., Flepp, B., Goyal, P., Jackel, L. D., Monfort, M., Muller, U., Zhang, J., Zhang, X., Zhao, J., y Zieba, K. (2016). *End to End Learning for Self-Driving Cars*. 1-9.

Dyer, E. (2017). *The Fallacy of the Self-Parking Car*. Popular Mechanics.

Faußer, S., y Schwenker, F. (2011). Ensemble Methods for Reinforcement Learning with Function

Approximation. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 6713 LNCS, 56-65.

Green, P. (2006). Parking Crashes and Parking Assistance System Design: Evidence from Crash Databases, the Literature, and Insurance Agent Interviews. *SAE Technical Papers*, 724.

Zhuang, Y., Gu, Q., Wang, B., Luo, J., Zhang, H., y Liu, W. (2018). Robust Auto-Parking: Reinforcement Learning based Real-time Planning Approach with Domain Template. *NIPS 2018 Workshop MLITS*.

Zhang, P., Xiong, L., Yu, Z., Fang, P., Yan, S., Yao, J., y Zhou, Y. (2019). *Reinforcement Learning-Based End-to-End Parking. Sensors*.

Comparación de técnicas de procesamiento de imágenes para la detección de fisuras en pinturas al óleo

Carla Valeria Rucoba Calderón

20161299@aloe.ulima.edu.pe

Universidad de Lima, Perú

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5635>

En el presente estudio se aplicaron tres técnicas de procesamiento de imágenes a pinturas al óleo digitalizadas con el objetivo de detectar el craquelado de estas y representarlo en mapas binarios, que posteriormente sean comparados. Las tres técnicas aplicadas fueron: filtro alargado orientado, filtro morfológico *top-hat* y algoritmo K-SVD. La primera técnica mostró la capacidad de detectar la continuidad de las fisuras, pero tuvo problemas en descartar píxeles aislados; la segunda técnica detectó continuidad y representó la anchura de las fisuras correctamente; sin embargo, no trabajó correctamente en zonas suavizadas y con una menor iluminación; y la tercera técnica identificó sin problema el craquelado en zonas oscuras y suavizadas. Es así que los resultados demostraron que las técnicas son complementarias entre sí.

COMPARISON OF IMAGE PROCESSING TECHNIQUES FOR CRACK DETECTION IN OIL PAINTINGS

In the present study, three image processing techniques were applied to digitized oil paintings to detect their crackle and represent it in binary maps, which are subsequently compared. The three techniques applied were: oriented elongated filter, top-hat morphological filter, and K-SVD algorithm. The first technique showed the ability to detect the continuity of cracks but had problems discarding isolated pixels. The second technique detected continuity and represented the width of the fissures correctly. However, it did not work correctly in softened areas and with less lighting; and, the third technique quickly identified cracking in dark and softened areas. Thus, the results showed that the techniques are complementary to each other.

Comparación de técnicas de procesamiento de imágenes para la detección de fisuras en pinturas al óleo

Carla Valeria Rucoba Calderón
20161299@aloe.ulima.edu.pe

Resumen. En el presente estudio se aplicaron tres técnicas de procesamiento de imágenes a pinturas al óleo digitalizadas con el objetivo de detectar el craquelado de estas y representarlo en mapas binarios, que posteriormente sean comparados. Las tres técnicas aplicadas fueron: filtro alargado orientado, filtro morfológico *top-hat* y algoritmo K-SVD. La primera técnica mostró la capacidad de detectar la continuidad de las fisuras, pero tuvo problemas en descartar píxeles aislados; la segunda técnica detectó continuidad y representó la anchura de las fisuras correctamente; sin embargo, no trabajó correctamente en zonas suavizadas y con una menor iluminación; y la tercera técnica identificó sin problema el craquelado en zonas oscuras y suavizadas. Es así que los resultados demostraron que las técnicas son complementarias entre sí.

Introducción

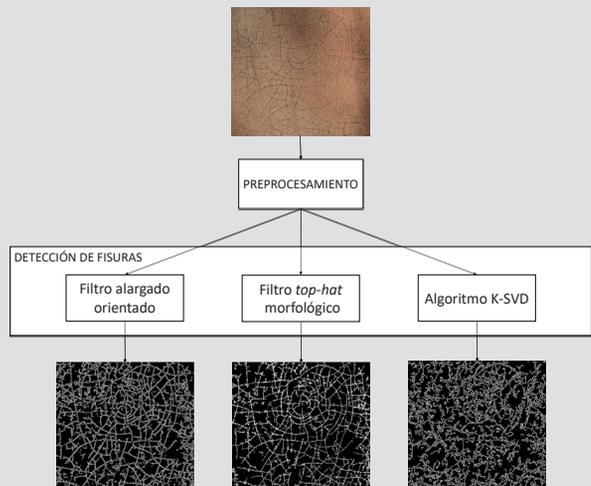
Las pinturas al óleo se encuentran constantemente expuestas a amenazas que pueden ser ambientales, biológicas y antrópicas (Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 2008). Frente a esta problemática, los cuadros son sometidos a una restauración, que para Martiarena (1992) es "el restablecimiento de la unidad potencial de la obra de arte, mientras sea posible alcanzarlo sin cometer una falsificación artística, ni histórica y sin borrar las huellas del paso del tiempo a través de la obra". Según el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (2008), la restauración inicia con un proceso de análisis de la capa pictórica de la obra, un trabajo arduo que se vale únicamente de la capacidad visual del restaurador. Es posible que pequeñas áreas dañadas no sean identificadas por el experto; y estas, en un futuro, generen un daño mayor a la pintura que finalmente la dirija a su pérdida total (South Florida Art Conservation, 2013). De este modo, los tres métodos se aplicarán a las imágenes de pinturas al óleo para generar un mapa de fisuras por cada método que permita comparar las técnicas y sus resultados y así definir cuál de los tres cuenta con una mayor capacidad para la tarea de detección de fisuras y de este modo apoyar a la restauración física de la pintura.

Metodología

La detección de fisuras en pinturas al óleo se inició con un preprocesamiento de las imágenes para mejorar el contraste solo en las áreas más oscuras de la pintura. A partir de este punto se realizó la detección de fisuras. Primero se aplicó un filtro alargado orientado, este consiste en detectar las fisuras con mayor sensibilidad y baja selectividad de su anchura. Este filtro se obtiene a partir de la combinación lineal de núcleos gaussianos de tipo 2D. Luego, se aplicó un filtro de tipo *top-hat* morfológico multiescala que se aplica a elementos de forma cuadrada y tamaños de entre 3 x 3 y 8 x 8 píxeles, para su posterior combinación. Este filtro se encarga de detectar fisuras de diferentes tamaños reduciendo los falsos positivos. Después, se aplicó la técnica de K-SVD que tiene como objetivo construir y adaptar diccionarios para generar representaciones de señales y así realzar las fisuras. Esta técnica busca representar correctamente la anchura de las fisuras.

Resultados

Los mapas de fisuras resultantes fueron evaluados por una artista experta en pinturas al óleo. Por un lado, la primera técnica "filtro alargado orientado", obtuvo un promedio de evaluación de 4,06, siendo 5 la mayor valoración posible. Los mapas de fisuras obtenidos de esta técnica demostraron detectar de forma correcta la continuidad del craquelado; esto puede ser inferido a partir de la técnica de histéresis aplicada en este método, donde se usó un umbral alto y bajo, manteniendo solo las fisuras que están relacionadas con los bordes más altos, conservando la continuidad del craquelado. Luego, la segunda técnica "filtro *top-hat*" obtuvo las mejores valoraciones con un promedio de 4,60, pues los mapas binarios cumplieron de forma positiva con la detección de fisuras, representando la continuidad de las fisuras, la anchura y las diminutas ramas existentes. Estas características de los resultados se deben a la combinación de los mapas de fisuras por cada escala usada. Así, los mapas de menor escala forman una base a los que se añadirán los mapas de mayor escala que tienden a identificar el craquelado de forma brusca. Es por ello que las imágenes obtenidas por esta técnica son fieles a la anchura de las fisuras y a su continuidad. Por último, la tercera técnica "algoritmo K-SVD", obtuvo una valoración de 2,92; los mapas binarios resultantes detectan las fisuras, pero sin continuidad, ya que el parámetro b , que controla la cantidad de coeficientes del diccionario que se convertirán a 0, se mantiene en 0,5. Esto hace que la reconstrucción de fisuras no sea continua; sin embargo, el algoritmo muestra un correcto desempeño identificando fisuras en zonas oscuras, difuminadas o donde el color cambia bruscamente.



Conclusiones

- El filtro alargado orientado demostró un buen rendimiento para detectar la continuidad de las fisuras; sin embargo, presentó problemas en descartar como fisuras píxeles aislados y en representar de forma correcta la anchura de cada fisura.
- El filtro *top-hat* tuvo la capacidad de representar la continuidad del craquelado y sus ramificaciones, así como reproducir la anchura de las fisuras, pero presentó problemas identificando fisuras que se encuentran en zonas suavizadas y oscuras.
- El algoritmo K-SVD presentó un buen desempeño identificando el craquelado y sus ramificaciones; no obstante, no pudo representar la continuidad de las fisuras.
- A partir de los presentes resultados, es posible reducir el tiempo previo de análisis de la capa pictórica de las pinturas.
- Posterior a la aplicación de estas tres técnicas, se propone reunir los resultados para obtener un solo mapa de fisuras de mayor precisión.

Referencias

Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. (2008). *Proyecto de conservación y restauración: las pinturas del techo de la casa del poeta Juan de Arguijo*. IAPH.

Martiarena, X. (1992). Conservación y restauración. *Cuadernos de Sección. Artes Plásticas y Documentales*, 10, 177-224.
South Florida Art Conservation. (2013). *Cracks on paintings*. Sflac.

Herramienta colaborativa basada en *blockchain* para el registro fiable de la información de origen de la uva

Gino Luis Chávez Pajuelo

ginoluis.chavez@unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5636>

La herramienta se encuentra en fase de diseño y desarrollo, con lo cual se propone mejorar la eficiencia en la emisión de certificados de origen a través de la implementación de una herramienta basada en *blockchain* para el registro de la información de origen de la uva de mesa, en el que se aprovechen las propiedades inherentes a esta tecnología, garantizando la fiabilidad, transparencia, integridad y seguridad de los datos.

COLLABORATIVE BLOCKCHAIN-BASED TOOL FOR THE RELIABLE RECORDING OF GRAPE ORIGIN INFORMATION

The tool is in the design and development phase. It is proposed to improve the efficiency in the issuance of certificates of origin through the implementation of a blockchain-based tool for the registration of the information of origin of the table grape, in which the properties inherent to this technology are taken advantage of, guaranteeing the reliability, transparency, integrity and security of the data.

Herramienta colaborativa basada en *blockchain* para el registro fiable de la información de origen de la uva

Bach. Gino Luis Chávez Pajuelo
ginoluis.chavez@unmsm.edu.pe

Resumen. La herramienta se encuentra en fase de diseño y desarrollo con lo cual se propone mejorar la eficiencia en la emisión de certificados de origen a través de la implementación de una herramienta basada en *blockchain* para el registro de la información de origen de la uva de mesa, en el que se aprovechen las propiedades inherentes a esta tecnología, garantizando la fiabilidad, transparencia, integridad y seguridad de los datos.

Introducción

Hoy en día, la cadena de suministros es una parte fundamental y de vital importancia en distintos niveles de la industria y el comercio. Del mismo modo, la cadena de suministro de alimentos y productos agrícolas requiere un alto grado de confiabilidad respecto a su calidad e inocuidad (Bragadeesh y Arumugam Umamakeswari, 2020).

Particularmente, en los sectores dedicados a la agricultura, la cadena de valor agroalimentaria juega un papel importante en el ámbito económico y de desarrollo. Actualmente se cuenta con tecnologías que podrían servir de apoyo en el aseguramiento de la calidad e inocuidad de los productos agrícolas o agroindustriales y de esa manera contribuir a una mejor gestión de la cadena de valor agroalimentaria (Murat Osmanoglu et al., 2020).

Blockchain es la tecnología que viene tomando fuerza en distintos sectores agrícolas. Las aplicaciones basadas en esta tecnología podrían resolver distintos aspectos en la agricultura, tales como una mayor transparencia de la seguridad alimentaria, o la procedencia certificada de determinados productos agrícolas de cara al consumidor final, mejora el aprovechamiento de la información que producen los dispositivos usados dentro de los procesos de producción. Todo ello en cada etapa de la cadena de valor y en general en toda la cadena de suministro (WeiJun Lin et al., 2020).

Blockchain se puede considerar como un paradigma de la computación distribuida, debido a su naturaleza descentralizada, la distribución en toda la red y la garantía de la confiabilidad e inmutabilidad (Xin Zhang et al., 2019).

La estructura de la cadena de bloques asegura la inmutabilidad y confiabilidad del libro mayor, esto debido a que contiene el hash del bloque anterior y se encuentra una copia exacta en cada nodo; ello garantiza que no puede ser manipulado, ya que al intentar hacerlo se originaría una inconsistencia entre los hashes de la cadena de bloques (Peter Gonczol et al., 2019).

La implementación de la propuesta permitirá reducir los riesgos de omisión y falsificación de información provista por el declarante en el formato de declaración jurada, respecto al origen de los lotes de uva a exportar. Asimismo, mejorará el tiempo de atención y emisión de la calificación y el certificado de origen.

Propuesta



Para efectos de la investigación, la herramienta que se propone cubrirá las cuatro primeras fases de la cadena de valor, las cuales son producción, acopio, procesamiento y almacenaje temporal. Esto se debe a que no es necesario cubrir todas las fases de la cadena de valor de la uva, sino únicamente aquellas que aporten información sobre el origen, así como la utilización de materiales para el empaquetado de los lotes de uva a exportar.

Para el acceso de escritura y lectura de datos, almacenados en la *blockchain*, se han definido las estrategias que garantizan la privacidad y confiabilidad de la información dentro de la red. Estas estrategias parten desde el uso de una red privada de *blockchain* hasta la gestión de roles y entidades participantes dentro de la red.

En la primera figura se aprecia el mecanismo de interacción de las entidades y la *blockchain*, aprovechando los contratos inteligentes de Hyperledger Fabric e integrando Interplanetary File System (IPFS) como sistema de archivos descentralizado para asegurar el acceso a archivos e imágenes que son el sustento de la información ingresada a través de la plataforma.

Cadena de valor de la uva de mesa

La cadena de valor de la uva de mesa comprende cuatro fases dentro del territorio nacional:



Cadena de valor de la uva de mesa dentro del territorio nacional. Elaboración propia.

El diseño de la solución propuesta ha sido planteado de acuerdo con las fases de que se compone la cadena de valor de la uva de mesa. Asimismo, se han identificado los roles asociados en cada fase, en la que cada rol cumple una función específica con respecto al producto. Las entidades identificadas son:

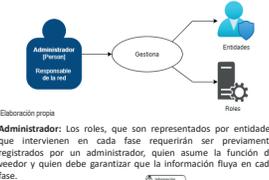
El productor: es la primera entidad en la cadena de valor y es responsable del sembrío, cultivo y cosecha de las uvas. Como tal, garantiza la producción de los lotes de uvas que serán exportados. Es también el primero que interactúa con la herramienta, invocando el contrato inteligente por primera vez.

El acopiador: en muchos casos es la misma empresa exportadora; tiene como responsabilidad la recolección, selección, clasificación y almacenamiento inicial de las uvas de mesa. Como participante dentro de la cadena de valor, garantiza el correcto almacenaje a niveles de temperatura entre 0 y 5 °C, y provee información que lo sustenta; además, le corresponde añadir información sobre la ubicación de los lotes, dentro de las instalaciones de almacenaje.

El procesador: se encarga de la limpieza, lavado, homogeneización y empaquetado de las uvas. Como parte de la fase de procesamiento, le corresponde registrar los materiales empleados para el empaquetado de los lotes de uvas de mesa.

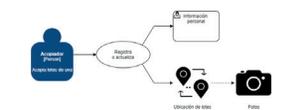
Interacciones individuales entre las entidades con la red *blockchain*

A continuación se explican las acciones que realizan las entidades sobre la red de *blockchain*.



Administrador (Provisor): Los roles, que son representados por entidades que intervienen en cada fase requieren ser previamente registrados por un administrador, quien asume la función de vendedor y quien debe garantizar que la información fluya en cada fase.

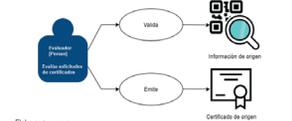
Productor: en la fase de producción, es quien se encarga de crear un contrato por cada lote a producir. Asimismo, registra los documentos de sustento y las fotos que evidencian los procesos de sembrío, cultivo y cosecha.



Acopiador: en la fase de acopio es el responsable de la selección, clasificación y almacenamiento de los lotes de uva, para lo cual registra su ubicación en los almacenes temporales poscosecha. Además, registra las fotos como evidencias de cada parte de esta fase.



Procesador: en la fase de procesamiento es quien lleva a cabo la limpieza, lavado, homogeneización y empaquetado de la uva de mesa. En esta fase el procesador registra la información y los detalles de los materiales que usa para el empaquetado de las uvas.



Evaluador: este es el proceso que justifica la implementación de la solución planteada, ya que en este punto el evaluador, funcionario de la entidad certificadora, valida la información de origen y la trazabilidad de los lotes de uva desde los campos de cultivo hasta su procesamiento.

Conclusiones

La tecnología *blockchain* garantiza la fiabilidad de la información en todas las fases de la cadena de valor de los productos agroalimentarios, y en particular, de la uva de mesa, los cuales califican como productos totalmente obtenidos en el territorio nacional.

En la literatura existen estudios en los que se han implementado soluciones similares a las propuestas en este trabajo; sin embargo, no están orientados a incentivar el comercio internacional, sino que su objetivo es garantizar la seguridad e inocuidad de los alimentos en la cadena de suministros de productos agroindustriales y agrícolas.

Nuestra solución basada en *blockchain*, para el registro fiable de la información de origen de la uva de mesa, aprovecha las propiedades inherentes a la tecnología, como son la inmutabilidad de los datos, la seguridad y la trazabilidad de la información del producto. Estas propiedades encierran un mecanismo más eficiente en la emisión de certificados de origen, ya que contribuye a reducir costos y tiempos para su obtención. También abre una serie de posibilidades que podrán ser aprovechadas para la obtención de otros documentos exigidos por la autoridad competente o usuario con fines comerciales de cara al consumidor final.

Como trabajo futuro se sugiere incorporar la emisión de certificados fitosanitarios a la red *blockchain*, lo cual permitiría una reducción significativa en los tiempos y costos asociados a la obtención de este documento. Además, dado que solamente se incluyen cuatro fases de la cadena de valor, sería recomendable abarcar todas las fases de la cadena, desde la producción en los campos de cultivo hasta el consumidor final en los mercados minoristas.

Bibliografía

Gonczol, P., Katsikouli, P., Herskind, L., y Dragoni, N. (2020). *Blockchain Implementations and Use Cases for Supply Chains-A Survey*. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964880>

Osmanoglu, M., Tugrul, B., Dogantuna, T., y Bostanci, E. (2020). An Effective Yield Estimation System Based on Blockchain Technology. *IEEE Transactions on Engineering Management*. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.2978829>

Bragadeesh, S. A., y Umamakeswari, A. (2020). Development of a Reliable Supply Chain System Using Blockchain. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. <https://doi.org/10.3233/JIFS-189156>

Lin, W., Huang, X., Fang, H., Wang, V., Hua, Y., Wang, J., Yin, H., Yi, D., y You, L. (2020). *Blockchain Technology in Current Agricultural Systems: From Techniques to Applications*. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3014522>

Zhang, X., Sun, P., Xu, J., Wang, X., Yu, J., Zhao, Z., y Dong, Y. (2020). *Blockchain-Based Safety Management System for the Grain Supply Chain*. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2975415>

Más información

© Copyright Gino Luis Chávez Pajuelo

ginoluis.chavez@unmsm.edu.pe

<https://www.linkedin.com/in/gino-chavez-pajuelo-67b340116/>



Agradecimientos

A la casa de estudios en donde se desarrolla la investigación, la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática (UPG-FISI) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. A los profesores David Mauricio Sánchez y José Herrera Quispe, por su invaluable aporte al desarrollo de esta investigación, asumiendo el rol de asesores y poniendo a disposición su experiencia en áreas investigativas y profesionales.

Modelo predictivo basado en *machine learning* para la estimación de vulnerabilidades de riesgo de inundación y deslizamiento. Caso de estudio: instituciones educativas del Perú

John Wilson López Vega

11200174@unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú

Juan Carlos Torres Lázaro

jctorres@inaigem.gob.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú

José Herrera Quispe

jherreraqu@unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5637>

El fenómeno de El Niño es un evento natural que sucede cada año en el territorio peruano, este trae consigo problemas como las lluvias torrenciales que provocan inundaciones. En el territorio peruano muchas instituciones educativas son construidas sin formar parte de un estudio de suelos o vulnerabilidades como las inundaciones o deslizamientos, debido, quizás, al coste de este estudio ya que se tienen que respetar normas técnicas gubernamentales exigidas para la construcción de una entidad educativa. En vista de ello, en el presente trabajo los autores proponen un modelo predictivo basado en *machine learning* para la estimación de vulnerabilidades a partir de los datos de la zona de una institución pública. A través de esta herramienta se ha entrenado el modelo usando diversos algoritmos y datos de un *dataset* con más de 65 000 registros publicados por el Ministerio de Educación del Perú.

A PREDICTIVE MODEL BASED ON MACHINE LEARNING TO ESTIMATE FLOOD AND LANDSLIDE RISK VULNERABILITIES CASE STUDY: EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF PERU

The El Niño phenomenon is a natural phenomenon that happens every year in Peruvian territory. It brings with it problems such as torrential rains that cause floods. Many educational institutions are built in the Peruvian territory without being part of a study of soils or vulnerabilities such as floods or landslides, perhaps due to the study's cost since they have to respect governmental technical standards required for the construction of an educational entity. Given this, in the present work, the authors propose a predictive model based on machine learning to estimate vulnerabilities from the data of the area of a public institution. Using Machine Learning, the model has been trained using various algorithms and data from a dataset with more than 65 thousand records published by the Ministry of Education of Peru.

Aplicación móvil para gamificar el aprendizaje de zampoña en niños y adolescentes mediante la detección de notas musicales

Leonardo Patrick Luna Palomino

20163263@aloe.ulima.edu.pe

Universidad de Lima, Perú

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5638>

El presente trabajo pretende mejorar el proceso de aprendizaje musical de zampoña en niños y adolescentes mediante la implementación de una aplicación móvil para iOS que incorpore técnicas de gamificación para motivar y enriquecer la experiencia de los alumnos y que reconozca, con alta precisión, las notas emitidas por el instrumento musical. Los resultados de la experimentación demostraron que el sistema cuenta con alta precisión para el reconocimiento de notas musicales (95 %), también un puntaje alto de usabilidad (80/100 según SUS) y una predisposición que indica que el sistema soluciona las deficiencias encontradas en la metodología de aprendizaje tradicional musical.

MOBILE APPLICATION TO GAMIFY THE LEARNING OF PANPIPES IN CHILDREN AND TEENAGERS BY DETECTING MUSICAL NOTES

The present work aims to improve the musical learning process of zampoña in children and adolescents by implementing a mobile application for iOS that incorporates gamification techniques to motivate and enrich students' experience and recognizes, with high precision, the notes emitted by the musical instrument. The experiment results showed that the system has high precision for the recognition of musical notes (95%), a high usability score (80/100 according to SUS), and a predisposition that indicates that the system solves the deficiencies found in the traditional musical learning methodology.

Aplicación móvil para gamificar el aprendizaje de zampoña en niños y adolescentes mediante la detección de notas musicales

Leonardo Patrick Luna Palomino
20163263@aloe.ulima.edu.pe

Resumen. El presente trabajo pretende mejorar el proceso de aprendizaje musical de zampoña en niños y adolescentes mediante la implementación de una aplicación móvil para iOS que incorpore técnicas de gamificación para motivar y enriquecer la experiencia de los alumnos, y que reconozca, con alta precisión, las notas emitidas por el instrumento musical. Los resultados de la experimentación demostraron que el sistema cuenta con alta precisión para el reconocimiento de notas musicales (95 %), también un puntaje alto de usabilidad (80/100 según SUS) y una predisposición que indica que el sistema soluciona las deficiencias encontradas en la metodología de aprendizaje tradicional musical.

Introducción

Aprender música, ya sea un instrumento o teoría musical, tiene un impacto positivo en el desarrollo del lenguaje, matemático, creativo, personal, social, el procesamiento perceptivo, la comprensión de lectura, entre otros (Hallam, 2010, pp. 281-282). Sin embargo, se ha identificado que un gran número de niños y adolescentes abandonan su aprendizaje musical durante su etapa inicial. King (2016) menciona que un 85 % de los estudiantes abandonan esta disciplina durante sus primeras lecciones (p. 3).

Se identifica a las deficiencias en la metodología de aprendizaje musical tradicional como el principal factor que produce el abandono de esta práctica. Esto, ya que la cantidad de retroalimentación que provee es bastante limitada, además de ser poco motivadora y productiva (Molloy *et al.*, 2019, p. 1).

Existen algunas propuestas que solucionan estas deficiencias mediante la gamificación del proceso de aprendizaje. Sin embargo, estas se centran en instrumentos conocidos, como el piano. Por lo tanto, se propone desarrollar una aplicación móvil para el aprendizaje de la zampoña en niños y adolescentes que pueda hacer frente a las limitaciones previamente mencionadas e incluya elementos gamificadores para motivar a los estudiantes y aproveche las frecuencias que producen los sonidos para reconocerlos y brindar retroalimentación pertinente a medida que el estudiante realice sus prácticas.

Materiales y métodos

La metodología seguida en este trabajo se detalla en la figura 1.

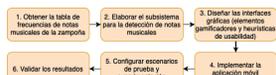


Figura 1. Diagrama de metodología. Elaboración propia

Para la obtención de la tabla de frecuencias de notas musicales de zampoña, se grabaron las 13 notas musicales del instrumento y, mediante un proceso de análisis de señales, se obtuvieron las frecuencias.

Para la elaboración del subsistema de detección de notas musicales, se utilizó una implementación de la transformada de Fourier para obtener las frecuencias de los sonidos y poder mapearlos con los valores definidos previamente en la tabla de frecuencias. En la figura 2 se presenta una captura de la interfaz gráfica de aprendizaje, donde se muestran algunos de los elementos gamificadores implementados.

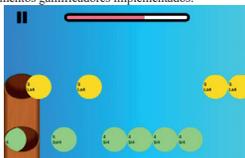


Figura 2. Interfaz gráfica de práctica de zampoña. Elaboración propia

Resultados

El trabajo evaluó 3 criterios: la precisión del subsistema de reconocimiento de notas musicales, la usabilidad del sistema y la efectividad de la aplicación para la enseñanza de zampoña. Respecto al primer criterio, se seleccionaron 2 canciones por cada dificultad (fácil, intermedio y avanzado). Además, en cada canción, por cada una de las 3 velocidades (lento, intermedio y rápido), se realizaron 3 pruebas acústicas: se reprodujo la pista musical correspondiente a la canción simulando una ejecución convencional de zampoña. Se obtuvo una precisión promedio total de 95 %, lo que significa una alta precisión. En la figura 3 se presentan los resultados individuales por cada nota musical en las 3 velocidades soportadas por la aplicación.

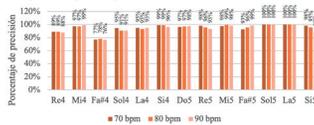


Figura 3. Resultados precisión promedio por nota. Elaboración propia

Respecto a la usabilidad del sistema, se aplicó el cuestionario de usabilidad SUS a 3 estudiantes que usaron la aplicación por 2 semanas. El puntaje de usabilidad promedio obtenido fue de 80, lo cual indica que la aplicación móvil cuenta con buena usabilidad por estar cerca del 100 y situarse sobre el umbral de aceptación de 68 puntos. Finalmente, se identifica una desviación estándar de 17,5 puntos. En la tabla 1 se presentan los resultados individuales de cada participante.

Tabla 1. Resultados individuales del cuestionario SUS

	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10	Tot.
E. 1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	2	97,5
E. 2	4	2	3	1	5	2	1	2	1	2	62,5
E. 3	4	2	4	1	4	1	4	3	4	1	80,0

Elaboración propia

Finalmente, respecto a la efectividad de la aplicación para la enseñanza de zampoña, se realizó la comparación de dos grupos de estudiantes: un grupo de experimentación conformado por 2 participantes, los cuales aprendieron zampoña mediante la aplicación propuesta, y un grupo de control conformado por 3 participantes que aprendieron zampoña mediante videos tutoriales. Luego de dos semanas de aprendizaje, se realizó una evaluación de desempeño bajo un instrumento de evaluación: se obtuvo un puntaje ponderado en base a los puntajes de diversas canciones obtenidos tras interpretarlas en la aplicación. En la figura 4 se presentan los puntajes obtenidos. El promedio del grupo de experimentación fue de 53,10 con una desviación estándar de 48,23, mientras que el promedio del grupo de control fue de 32,10 con una desviación estándar de 23,12.



Figura 4. Resultados de la evaluación de zampoña a los participantes del experimento. Elaboración propia

Conclusiones

El trabajo presentó una aplicación móvil para iOS con elementos gamificadores para la mejora del proceso de aprendizaje musical en niños y adolescentes. Se elaboró una metodología que englobe el desarrollo del sistema y una etapa experimental, en la cual se contó con 2 grupos (control y experimentación) para corroborar la efectividad del sistema. Los participantes fueron sometidos a una evaluación con un método propuesto con la intención de obtener un puntaje referente a su desempeño en el instrumento de la zampoña. Se recolectó el puntaje de 5 niños/adolescentes.

Durante el desarrollo se implementó, en su totalidad, el aplicativo móvil con elementos gamificadores y un subsistema de reconocimiento de notas musicales para brindar retroalimentación mediante el análisis de las frecuencias de los sonidos producidos. Asimismo, se pudo validar la alta precisión de este subsistema mediante pruebas acústicas donde este consiguió una precisión de 95 %. Adicionalmente, se corroboró la usabilidad del sistema, dado que obtuvo una puntuación promedio de 80/100 puntos según el cuestionario SUS, lo cual indica el correcto uso de las heurísticas de usabilidad, así como la adecuada implementación de los elementos gamificadores.

No obstante, debido al limitado grupo de participantes en la experimentación, no se puede concluir que el uso de la aplicación móvil haya incrementado las habilidades de zampoña en niños y adolescentes respecto a la metodología tradicional. Sin embargo, los resultados preliminares muestran la posible predisposición a que el aplicativo móvil mejore el proceso de aprendizaje musical de la zampoña.

Por lo tanto, para concluir con seguridad que el sistema logra solucionar las deficiencias del modelo de aprendizaje tradicional musical, a futuro se realizará, nuevamente, la etapa experimental con un grupo significativo y homogéneo de participantes, donde se tenga un rango de edades más limitado y cada grupo tenga el mismo número de integrantes. De igual manera, se planea agregar un tutorial guiado con la finalidad de facilitar el proceso de aprendizaje y adaptarlo al sistema. Finalmente, dado el caso de que el sistema consiga demostrar su efectividad para la enseñanza de zampoña, se podría implementar la aplicación en la plataforma Android.

Información adicional

Código QR para la descarga del póster:



Referencias

- Hallam, S. (2010). The power of music: Its impact on the intellectual, social and personal development of children and young people. *International Journal of Music Education*, 28(3), 269-289. <https://doi.org/10.1177/0255761410370658>
- King, K. (2016). *Parting ways with piano lessons: Predictors, invoked reasons, and motivation related to piano student dropouts* (Doctoral dissertation, Université d'Ottawa/University of Ottawa).

- Molloy, W., Huang, E., y Wünsche, B. C. (2019). Mixed Reality Piano Tutor: A Gamified Piano Practice Environment 2019 *International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)*, pp. 1-7, doi: 10.23919/ELINFOCOM.2019.8706474

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis profesores Víctor Ayma, Rosario Guzmán y Óscar Ramos, quienes aportaron con retroalimentación e información valiosa para el desarrollo de esta investigación, así como acompañarme a lo largo de las fases. Asimismo, agradecer a mi compañero Bruno Ríos quien me dio pautas y sugerencias para una mejor redacción.



UNIVERSIDAD
DE LIMA

Chatbot para el seguimiento de pacientes COVID-19 con sintomatología leve

Hugo Herrera Monje

hugoarturo.herrera@unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5639>

Se propone implementar un chatbot para el seguimiento de pacientes con sintomatología leve de COVID-19 que serviría como herramienta de apoyo durante el periodo de tratamiento, fortaleciendo así la comunicación entre pacientes y personal médico, además de permitir identificar la evolución diaria en los pacientes de una manera oportuna evitando la exposición de otras personas a fuentes de contagio.

CHATBOT FOR MONITORING COVID-19 PATIENTS WITH MILD SYMPTOMS

It is proposed to implement a chatbot for the follow-up of patients with mild symptoms of COVID-19. In this sense, that would serve as a support tool during the treatment period, thus strengthening communication between patients and medical personnel and allowing to identify the daily evolution in patients of on time avoiding the exposure of other people to contagion sources.

Chatbot para el seguimiento de pacientes COVID-19 con sintomatología leve

Hugo Herrera Monje
huguarturo.herrera@unmsm.edu.p



Resumen. Se propone implementar un chatbot para el seguimiento de pacientes con sintomatología leve de COVID-19 que serviría como herramienta de apoyo durante el período de tratamiento, fortaleciendo así la comunicación entre pacientes y personal médico, además de permitir identificar la evolución diaria en los pacientes de una manera oportuna evitando la exposición de otras personas a fuentes de contagio.

Introducción. El COVID-19 es una enfermedad que en el Perú ha significado hasta el momento la muerte de aproximadamente 196 600 personas, por lo que todos debemos sumar esfuerzos para luchar contra ella. Un chatbot es un *software* de mensajería basado en inteligencia artificial, que permite simular la conversación con personas haciendo uso de lenguaje natural, mostrando respuestas automatizadas a dudas o preguntas. Algunos ejemplos de los chatbots más conocidos incluyen Alexa de Amazon, Siri de Apple y Cortana de Microsoft.

Durante la pandemia del COVID-19, instituciones como los centros para el control y la prevención de enfermedades (CDC) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han utilizado chatbots para compartir información y ayudar a tomar decisiones sobre cómo buscar la atención médica adecuada.



Interfaz de usuario del chatbot de COVID-19. Disponible en los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC). Fuente: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/symptomtesting/testing.html>

Tecnologías usadas

Entre las tecnologías más representativas para el desarrollo de chatbots, dotadas con inteligencia artificial para el procesamiento y que pueden procesar lenguaje natural, tenemos a DialogFlow Watson, Lex y LUIS.

Tipo (Framework, Plataforma, Servicio)	Diagnóstico	Historia	Plan	LEIS
Expendidos regulares/instancias	✓	✓	✓	✓
NLP	✓	✓	✓	✓
Reconocimiento de voz	✓	✓	✓	✓
Soporte para intenciones	✓	✓	✓	✓
Soporte para entidades	✓	✓	✓	✓
Identificación de respuestas del bot	✓	✓	✓	✓
Número de lenguaje: alto (100), medio (100)	✓	✓	✓	✓
Integración con redes sociales/redes de mensajería, redes de alto (100), medio (100), 1 (expendidos regulares)	✓	✓	✓	✓

Tabla 1. Comparativa de herramientas de creación de chatbots

DialogFlow es un *framework* para la creación de chatbots de Google. En esta plataforma los bots se organizan en agentes y en cada agente se definirá una *intent* por cada intención del usuario que se pretenda capturar; además, se definirán las entidades para extraer la información que se precise de los mensajes del usuario.

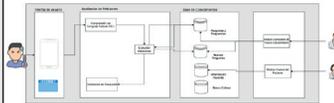


Fuente: <https://cloud.google.com/dialogflow/es/docs/basics?hl=es-419j>

Propuesta

Se propone la implementación de un chatbot para el seguimiento remoto que permitirá identificar la evolución diaria en los pacientes con sintomatología leve de COVID-19.

En la siguiente ilustración se muestra a un paciente que interactúa con un sistema y este le responde



La solución plantea el uso de una plataforma DialogFlow que usa técnicas de procesamiento del lenguaje natural para la generación de las respuestas. Se pretende ofrecer un seguimiento al tratamiento del paciente de manera diferenciada, que permitirá establecer el estado de salud del paciente.

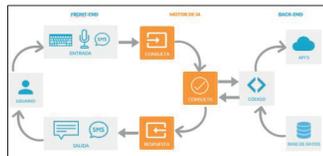


Diagrama general del sistema del chatbot

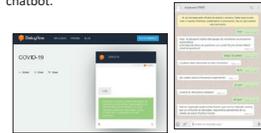
DialogFlow permitirá definir el flujo conversacional del chatbot, esto a partir de los *intents*, que van desde un saludo, hasta aquellas que intentan obtener información de la temperatura, frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca, porcentaje de saturación de oxígeno de un servicio, despedida y otra que se considere oportuna.

Asimismo, se definirán frases de entrenamientos que buscan representar posibles entradas de los pacientes y que servirán como modelo de aprendizaje para el motor de lenguaje de DialogFlow.



Especificación de *intents* (intenciones) en la plataforma DialogFlow. Estos están relacionados con el flujo conversacional para el seguimiento de pacientes con COVID-19 que presentan sintomatología leve.

Los pacientes podrán interactuar con el chatbot a través de una plataforma web o si lo prefieren con aplicaciones de mensajería tipo WhatsApp, Messenger, Telegram, etcétera. También se dispone de un aplicativo web que registrará los datos médicos del paciente que fueron extraídos de las conversaciones con el chatbot.



Pantalla web de chatbot y su equivalente integrado en el aplicativo de mensajería WhatsApp



Pantalla de aplicativo de gestión de monitoreo pacientes

Conclusiones

El seguimiento por medio del chatbot servirá para mejorar la comunicación entre médicos y pacientes con COVID-19 con sintomatología leve y viceversa. Asimismo, permitirá identificar y evaluar signos de alarma en los pacientes durante el período de la atención médica.

Por otro lado, el uso de la herramienta permitirá tener acceso a datos que podrían exponerse de manera abierta para su análisis y explotación.

Finalmente, se podría validar el uso de este tipo de solución en contextos similares al de la pandemia del COVID-19, donde puedan ser atendidos de manera remota pacientes garantizando los servicios de salud demandados, sin exponer al contagio de enfermedades a pacientes o a personal de salud.

Referencias

Amazon. (s. f.). *Amazon Lex Build Conversation Bots*. <https://aws.amazon.com/es/lex/>

Baby, C. J., Khan, F. A., y Swathi, J. N. (2017). Home Automation Using IoT and a Chatbot using Natural Language Processing. *2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (I-PACT)*, pp. 1-6. doi: 10.1109/I-PACT.2017.8245385

Bokolo, A. (2020). Use of Telemedicine and Virtual Care for Remote Treatment in Response to COVID-19 Pandemic. *Journal of Medical Sciences*, 44(7), 132.

Centers for Disease Control and Prevention (s. f.). <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/index.html>

Google. (s. f.). *DialogFlow*. <https://dialogflow.com/>

Habib F. A., Shaki G. S., Jebel S. S. M., y Sajid S. T. A. (2021). Self-Diagnosis Medical Chatbot Using Artificial Intelligence. En D. Goyal, P. Chaturvedi, A. K. Nagar y S. Purohit (Eds.), *Proceedings of Second International Conference on Smart Energy and Communication. Algorithms for Intelligent Systems*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6707-0_57

IBM. (s. f.). *IBM Watson*. <https://www.ibm.com/watson>

Microsoft. (s. f.). *Language Understanding (LUIS)*. <https://www.luis.ai/home>

Miner, A., Laranjo, L., y Kocaballi, B. (2020). Chatbots in the Fight against the COVID-19 Pandemic. *Digital Medicine*, 3, artículo 65.

Ni, L., y Liu, J. (2018). A Framework for Domain-Specific for Natural Language. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 27, 559-585.

Organización Mundial de la Salud. (s. f.). *Información básica sobre la COVID-19*. <https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19>

Otoom, M., Otoom, N., Alzubaidi, M., Etoom, Y., y Banihani, R. (2020). An IoT-Based Framework for Early Identification and Monitoring of COVID-19 Cases. *Biomedical Signal Processing and Control*, 62, 102149.

Plataforma Digital Única del Estado Peruano. (s. f.). *Coronavirus en el Perú: casos confirmados*. <https://www.gob.pe/8662-coronavirus-en-el-peru-casosconfirmados>

Polignano, M., Narducci, F., Lovine, A., Musto, G., Gemmi, M. de, y Semeraro, G. (2020). HealthAssistantBot: A Personal Health Assistant for the Italian Language. *En IEEE Access* (vol. 8, pp. 107479-107497). doi: 10.1109/ACCESS.2020.3000815

Praba, B., Sen, S., Chauhan, C., y Singh, D. (2019). AI Healthcare Interactive Talking Agent Using Nlp. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 9(1), 3470-3473.

Roca, S., Sancho, J., García, J., y Alesanco, A. (2019). Microservice Chatbot Architecture for Chronic Patient Support. *Journal of Biomedical Informatics*, 102, 133305.

Wright, J., y Caudill, R. (2020). Remote Treatment Delivery in Response to the COVID-19 Pandemic. *Psychother Psychosom*, 89, 130-132.

Agradecimientos

A los doctores José Herrera y David Mauricio por el asesoramiento y apoyo constante recibido durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Monitoreo basado en visión computacional de aves en peligro de extinción de la reserva Pantanos de Villa

Luis Giancarlo Sánchez Huamán

20161333@aloe.ulima.edu.pe

Universidad de Lima, Perú

doi: <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5640>

Los gobiernos, junto con numerosas organizaciones de conservación, trabajan para proteger las aves, en especial en las reservas naturales como los Pantanos de Villa, Perú. Sin embargo, sus poblaciones están descendiendo a escala global, fundamentalmente por causa de la contaminación. Por ello, es necesario realizar censos permanentes para monitorear la cantidad de aves, de manera ágil y a bajo costo, sin requerir la intervención de un experto humano. El presente trabajo propone un sistema de monitoreo formado por un modelo de detección utilizando Mask R-CNN con un *dataset* público Open Images Dataset V6 y un clasificador Deep Convolutional Neuronal Network con un *dataset* de cuatro especies de aves de la reserva de Pantanos de Villa. El sistema se basa en imágenes capturadas por los propios trabajadores, donde se realice la detección y clasificación. Tras varias evaluaciones diarias se determinará la población existente de aves y, cuando se presente una disminución, la reserva tomará acciones. El sistema propuesto logró detectar y clasificar las especies de aves para la realización del monitoreo con una exactitud de 82,49 % logrando mejorar los valores obtenidos previamente empleando únicamente el clasificador.

MONITORING BASED ON COMPUTER VISION OF ENDANGERED BIRDS IN THE PANTANOS DE VILLA RESERVE

Governments, along with numerous conservation organizations, work to protect birds primarily in nature reserves, specially in the Pantanos de Villa reserve in Peru. Therefore, it is necessary to carry out permanent censuses to monitor these populations, in an agile way and at a low cost, without requiring the intervention of a human expert. The present work proposes a monitoring system consisting of a detection model using Mask R-CNN with a public Open Images Dataset V6 dataset and a Deep Convolutional Neuronal Network classifier with a dataset of four bird species from the Pantanos de Villa reserve, Peru. The system will be used to monitor images captured by the workers themselves, where the detection and classification are carried out; After several daily evaluations, the existing population of the birds will be determined, and when there is a decrease, the reserve will take action. The proposed system managed to detect and classify bird species for monitoring, obtaining an accuracy of 82,49%, improving the values previously obtained using only the classifier.

Monitoreo basado en visión computacional de aves en peligro de extinción de la reserva Pantanos de Villa

Luis Giancarlo Sánchez Huamán

20161333@aloe.ulima.edu.pe

Resumen. Los gobiernos, junto a numerosas organizaciones de conservación, trabajan para proteger las aves, principalmente en las reservas naturales. Sus poblaciones están descendiendo a nivel global, inclusive numerosas especies están en peligro de extinción, fundamentalmente por efectos de la contaminación. Prueba de ello es que en el año 2012 se presentaron reportes de aves muertas en la reserva de Pantanos de Villa, Perú, por lo que es necesario realizar censos permanentes para monitorear dichas poblaciones, de manera ágil y a bajo costo, sin requerir la intervención de un experto humano. El presente trabajo propone un sistema de monitoreo formado por un modelo de detección utilizando Mask R-CNN con un *dataset* público Open Images Dataset V6 y un clasificador Deep Convolutional Neural Network con un *dataset* de cuatro especies de aves de la reserva de Pantanos de Villa, Perú; el sistema será empleado para realizar un monitoreo a partir de imágenes capturadas por los propios trabajadores, donde se realice la detección y clasificación. Tras varias evaluaciones diarias se determinará la población existente de las aves, y cuando se presente una disminución, la reserva tomará acciones. El sistema propuesto logró detectar y clasificar las especies de aves para la realización del monitoreo con una exactitud de 82,49 % logrando mejorar los valores obtenidos previamente empleando únicamente el clasificador.

Introducción

En el año 2009 el Perú se encontró en el tercer lugar del mundo en riqueza de especies de aves, con alrededor de 1729 especies. La mayoría de estas se encuentran en zonas protegidas por el país como el Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa (RVSPV).

En el 2012, el Gobierno peruano registró un gran número de aves marinas muertas en la costa peruana (Valle B., 2013), lo cual generó la realización de un monitoreo por parte del RVSPV que se volvió prioritario. Según Valle B. (2013), "se registraron 199 aves muertas, que corresponden a ocho especies: pelicano peruano, piquero, cormorán neotropical, cormorán guanay, gaviota peruana, gaviota de capucha gris, gaviota gris, gaviota de Franklin".

Adicionalmente, se han realizado otros estudios ornitológicos como fue el caso de Iannacone *et al.* (2010) que demandó una gran cantidad de tiempo y personas; por ello, la realización de estos estudios es complicada al no contar con un sistema que lo facilite. Igualmente en la actividad diaria, los trabajadores no cuentan con una herramienta de apoyo que permita dejar de lado el empleo de técnicas simples, pero que demandan una cantidad de tiempo considerable (Requena *et al.*, 2014).

Para apoyar en esa problemática, se propuso un sistema de monitoreo para las especies en peligro con la finalidad de tener un control de estas.

Materiales y métodos

Se construyó un sistema de monitoreo compuesto de Mask Region Based Convolutional Neural Network (Mask R-CNN) para la detección y Deep Convolutional Neural Network (DCNN) para la clasificación de las aves (véase la figura 1).



Figura 1. Diagrama de la metodología propuesta. Elaboración propia

Se utilizó un *dataset* público (Open Images Dataset V6) para la detección y otro privado para la clasificación. Para la detección se utilizaron 500 imágenes (300 de entrenamiento, 100 de validación y 100 de prueba) y para la clasificación 2000 imágenes (1200 de entrenamiento, 400 de validación y 400 de prueba), 500 por cada especie aproximadamente.

En la etapa de detección se empleó un modelo preentrenado del repositorio de Abdulla (2017) modificando la salida y entrenándolo con Open Images Dataset V6; por otro lado, en la etapa de clasificación se construyó un modelo *ad hoc* de 7 Convolutional Layer (ReLU function), 7 Pooling Layer, 7 Dropout Layer, 1 Flatten Layer y 1 Dense Layer (Softmax Function) utilizando *data augmentation*.

Se implementaron los modelos utilizando como lenguaje de programación Python y librerías de TensorFlow, Keras, NumPy, Scikit-learn y OpenCV en Google Colab.

Referencias

Abdulla, W. (2017). *Mask R-CNN for Object Detection and Instance Segmentation on Keras and TensorFlow*. GitHub Repository.

Iannacone, J., Atasi, M., Bocanegra, T., Camacho, M., Montes, A., Santos, S., Zúñiga, H., y Alayo, M. 2010. Diversidad de aves en el humedal pantanos de villa, Lima, Perú: período 2004-2007. *Biota Neotropica*, 10(2), 295-304.

Kumar, A., y Das, S. D. (2018). Bird Species Classification Using Transfer Learning with Multistage Training. *Communications in Computer and Information Science*, 1019 CCIS (pp. 1-9).

Resultados

Se realizó una comparación entre un modelo de clasificación directa y el sistema de monitoreo (detección y clasificación conjunta), con la finalidad de conocer el impacto de emplear la etapa de preprocesamiento. El mismo *dataset* ha sido utilizado en ambos para evaluar su rendimiento.

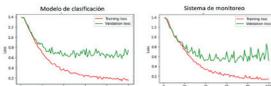


Figura 2. Pérdida por época para la etapa de entrenamiento y validación del modelo de clasificación y el sistema de monitoreo. Elaboración propia

Las gráficas presentadas en la figura 2 corresponden a la pérdida. Ambas tienen una tendencia a reducir el valor de la pérdida por cada época, siendo el modelo de clasificación más estable en el tiempo y el sistema de monitoreo menos estable, pero con mayor tendencia a obtener menores valores. Para el subconjunto de entrenamiento, el modelo de clasificación tiende a valores cercanos a 0,2 y para el subconjunto de validación, los valores oscilan entre 0,6 a 0,78; ambas líneas se mantienen cercanas hasta la época 18. Por otro lado, el sistema de monitoreo para el subconjunto de entrenamiento presenta valores cercanos a 0,13 y para el subconjunto de validación los valores oscilan entre 0,5 a 0,8, siendo inferiores a los presentados por el modelo de clasificación. Las líneas presentan valores cercanos hasta la época 24.

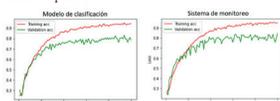


Figura 3. Exactitud por época para la etapa de entrenamiento y validación del modelo de clasificación y el sistema de monitoreo. Elaboración propia

En la figura 3 ambas gráficas corresponden a la exactitud y presentan un comportamiento similar al de las pérdidas, donde el modelo de clasificación presenta valores con poco margen de variación, mientras que el sistema de monitoreo tiene más margen entre los valores. Para el subconjunto de entrenamiento el modelo de clasificación presenta valores cercanos a 1, mientras que para el subconjunto de validación los valores se acerca a 0,8 por cada época, aunque existen ciertas épocas donde el valor baja hasta 0,76; cabe resaltar que ambas líneas crecen juntas hasta la época 18. Por otro lado, el subconjunto de entrenamiento para el sistema de monitoreo presenta valores cercanos a 1 mientras que el subconjunto de validación presenta valores cercanos a 0,84, pero en algunas épocas el valor baja hasta 0,75 presentando un mayor rango que el modelo de clasificación, pero obteniendo mejores valores dentro de ello; las líneas se mantienen unidas hasta la época 24.

Por otro lado, para el subconjunto de pruebas el sistema obtuvo una exactitud de 82,49 % y una pérdida de 0,51 siendo superior a las métricas presentadas solo por el clasificador, 80,62 % de exactitud y 0,64 de pérdida; esto demuestra un

impacto real al utilizar la etapa de detección previamente a la etapa de clasificación.

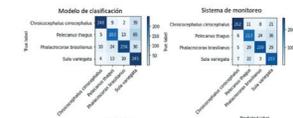


Figura 4. Matriz de confusión del modelo de clasificación y el sistema de monitoreo. Elaboración propia

En la figura 4 las predicciones para ambas matrices de confusión presentan valores similares, pero hay registros de aves para el sistema que presentan mejores resultados, como el caso de *Choricocephalus cirrocephalus* y *Pelecanus thagus*, y otro presenta peores resultados, *Sula variegata*. El acierto o fallo que presenta el sistema corresponde a las imágenes de entrada, ya que se ha eliminado el fondo obteniendo solo las características más importantes (efecto positivo), pero perdiendo calidad por el recorte y el dimensionamiento del ave (efecto negativo).

En la tabla 1 se presentan las métricas obtenidas para el modelo de clasificación y el sistema.

Etapas de clasificación	Exactitud	Pérdida	Precisión	Exhaustividad	Valor-F
Modelo de clasificación	80,62 %	0,64	80,74 %	82,37 %	80,77 %
Sistema de monitoreo	82,49 %	0,51	82,54 %	82,37 %	81,87 %

Tabla 1. Resultados de desempeño del modelo de clasificación y sistema de monitoreo. Elaboración propia

El sistema obtuvo un 82,49 % en el reconocimiento de la especie del ave presentada, cabe resaltar que la imagen puede presentar varias aves y la etapa de detección se encarga de separarlos para pasar a la etapa de clasificación.

Conclusiones

El presente trabajo tuvo como objetivo elaborar un sistema de monitoreo de especies de aves en peligro de una reserva natural basado en Visión Computacional; para ello, se creó el sistema a partir de la unión de dos modelos, detección (Mask R-CNN preentrenado) y clasificación (DCNN propio), empleando un *dataset* de 500 imágenes de Open Images Dataset V6 de Google para la detección y 2000 imágenes recopiladas de eBirds.org para la clasificación; obteniendo una exactitud de 82,49%.

La inclusión del modelo de detección como etapa anterior a la clasificación tuvo un impacto positivo permitiendo la mejora de la exactitud en un 1,87 %. En esta versión el sistema solo trabaja con cuatro especies de aves; sin embargo, esto puede expandirse trabajando con un *dataset* robusto que proporcione una mayor cantidad de especies de aves. El principal aporte de esta investigación es que permite la detección y clasificación de algunas aves en peligro de la investigación de Valle B. (2013), sin tener que recurrir a expertos ornitólogos; además facilita el monitoreo diario por parte de los propios trabajadores, ya que lo realizarán con imágenes y conocerán la población de cada especie. De este modo, si existe un caso de decrecimiento poblacional o desaparición de la especie, la reserva tendrá conocimiento para tomar acciones.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis profesores, Paul Quiroz, Victor Hugo Ayma, Rosario Guzmán y José Antonio Taquia, quienes con sus conocimientos me apoyaron a través de cada una de las etapas de esta investigación. Asimismo, agradecer a mi familia por el apoyo para terminar esta investigación.



UNIVERSIDAD DE LIMA

**DATOS
DE LOS AUTORES**

MARÍA BLANCA CAMINERO

Profesora titular de Arquitectura y Tecnología de Computadores en el Departamento de Sistemas Informáticos de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). Doctora en Informática por la UCLM, investigadora en el Grupo de Redes y Arquitecturas de Altas Prestaciones (RAAP) del Instituto de Investigación Informática de Albacete (I3A). Áreas de interés de investigación: el soporte de QoS y la gestión eficiente de recursos en sistemas distribuidos (Cloud, Fog, Edge).

CARLOS NÚÑEZ-GÓMEZ

Ingeniero informático por la Universidad de Castilla-La Mancha (2016). Desarrollador de *software* y gestor de proyectos para el sector industrial. Máster en seguridad de la información y las comunicaciones en la Universitat Oberta de Catalunya. Doctorando en Tecnologías Informáticas Avanzadas en la UCLM. Miembro del Grupo de Redes y Arquitecturas de Altas Prestaciones (RAAP) del Instituto de Investigación Informática de Albacete (I3A). Áreas de interés: seguridad de la información y entornos de computación en la niebla.

CARMEN CARRIÓN

Profesora titular de Arquitectura y Tecnología de Computadores en el Departamento de Sistemas Informáticos de la Universidad de Castilla-La Mancha. Doctora en Física por la Universidad de Cantabria. Áreas de interés: la educación superior, los esquemas de gestión de recursos, las tecnologías de virtualización y la QoS en entornos Fog-IoT.

CHUCK EASTTOM

Doctor en Ciencias (D.Sc.) en Ciberseguridad, doctor en Nanotecnología, doctor en Ciencias de la Computación y magíster en Ciencias de la Computación Aplicadas, en Educación y en Ingeniería de Sistemas. Miembro sénior del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) y de la Asociación de Maquinaria de Computación (ACM). Orador distinguido de la ACM y visitante distinguido del IEEE. Profesor contratado (*adjunct professor*) en la Universidad de Georgetown y la Universidad de Dallas.

EFFIE LAI-CHONG LAW

Profesora a tiempo completo de Ciencias de la Computación en el área de Interacción Persona-Computador (HCI) en la Universidad de Durham, Reino Unido. Exdocente a tiempo completo en la especialidad de Interacción Humano-Computadora (HCI) en la Escuela de Informática de la Universidad de Leicester, Reino Unido. Sus investigaciones a largo plazo se centran en las metodologías de usabilidad y experiencia del usuario (UX), las cuales ha aplicado con éxito en diversas áreas, tales como el aprendizaje potenciado por la tecnología (TEL), la computación afectiva (AC) y los sistemas autónomos de confianza (TAS). Desempeño en dos acciones COST (Cooperación Europea en Ciencia y Tecnología): MAUSE, relacionada con la usabilidad, y TwinTide, referida a la UX. Asimismo, ha participado en proyectos internacionales —entre ellos, el Sistema Educativo Interactivo de Realidad Aumentada (ARETE, 2020-2024), que forma parte del programa Horizonte 2020 (H2020) de la Unión Europea (UE), y la Plataforma de Ejercicios de Tecnología Espacial Personalizada (P-STEP, 2021-2023) de la Agencia Espacial Europea (ESA)— y nacionales, como el Nodo de Verificabilidad de Sistemas Autónomos de Confianza (2020-2024) de la entidad pública UK Research and Innovation (UKRI). Miembro del consejo editorial de las revistas *Interacting with Computers* (Oxford University Press), *International Journal of Human-Computer Studies* (Elsevier) y *Quality and User Experience* (Springer). Ha publicado más de 200 artículos revisados por pares. Áreas de investigación: la medición multidimensional de la UX, el reconocimiento automático multisensorial de las emociones, la IA conversacional (chatbots) y la realidad mixta.

MARTÍN JESÚS ADRIANZÉN TORRES

Estudiante de último ciclo de la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Lima con formación en aprendizaje automático/profundo. Conocimientos de los lenguajes de programación en Java y Python e interés y participación en proyectos de investigación de procesamiento de lenguaje natural, ingeniería social y análisis en redes sociales.

EDWIN JHONATAN ESCOBEDO CÁRDENAS

Doctor en Ciencias de la Computación con una sólida formación en aprendizaje automático /profundo y más de seis años de experiencia en el uso de modelos predictivos y algoritmos de procesamiento de datos. Experto en los lenguajes de programación Matlab y R/Python e involucrado en la investigación de reconocimiento del lenguaje de acción/gesto/signo.

ÁLVARO ANTONIO AURES GARCÍA

Ingeniero de Computación y Sistemas. Magíster en Ciencia de la Información y doctor en Ingeniería de Sistemas. Exmiembro del equipo de los proyectos de Incubadoras de Empresas de Base Tecnológica en el Technologie Park Herzogenrath (Alemania), Gestión del Conocimiento en la Universidad Málaga (España), MétróMéta de la Universidad de Montreal (Canadá) y Procesamiento de Imágenes Médicas (Brasil). Estudios de especialización en Gestión de la Innovación Tecnológica (Fraunhofer Institute), Gestión del Conocimiento y Tecnologías de la Información en países como España, Alemania, Canadá, Brasil y Uruguay. Responsable de la gestión del conocimiento en el sector público. Docente en universidades peruanas.

ADELAIDA ESTELA BALVÍN LANDEO

Ingeniera Empresarial y de Sistemas por la Universidad San Ignacio de Loyola. Máster en Dirección de Sistemas por la Universidad de Barcelona de España. Especialista en tecnologías de la información. Interés por la gestión del conocimiento en las organizaciones.

MARCO A. FERNÁNDEZ DEL POMAR

Ingeniero de sistemas por la Universidad de Lima, con posgrado del Programa Internacional de Desarrollo de Habilidades Gerenciales por el Tecnológico de Monterrey, sede Perú. Cursa la Maestría en Administración de Tecnologías de Información en la misma institución. Más de siete años de experiencia en el rubro de TI y gestión de proyectos. Apasionado por la gestión de personas, equipos de alto desempeño y el planeamiento estratégico del gobierno corporativo de TI, posee certificado como PMP, *Agile Coach*, *Scrum Trainer*, entre otras certificaciones relacionadas con la rama de gestión de proyectos. *Scrum master* en la Dirección de Transformación Digital de Alicorp, gestionando proyectos de gran envergadura con equipos multidisciplinarios.

YANA GONCHAROVA

Doctora en literatura rusa por la Universidad Estatal de Pyatigorsk (tema de investigación de doctorado: texto italiano en la literatura rusa contemporánea). Especialista en Escritura Creativa y Traducción Literaria por la Universidad Estatal de Pyatigorsk, ciudad de Pyatigorsk, Rusia. Doctoranda en Arquitectura, Diseño Industrial y Patrimonio Cultural de la Universidad

de Campania Luigi Vanvitelli (tema actual de investigación de doctorado: imagen de Italia en la cultura rusa entre los siglos XIX y XX). Ámbito de investigación: literatura y cultura rusa, historia de los contactos transculturales entre Rusia e Italia, traducción literaria, educación y lingüística.

TATYANA SAVCHENKO

Candidata de Ciencias Filológicas, profesora titular de la Cátedra de Lingüística, Filología Rusa, Literatura y Periodismo. Funcionaria del laboratorio científico y de investigación “Lengua rusa en el Cáucaso Norte”. Se graduó de la Universidad Estatal de Kuban con especialización en docencia del idioma Ruso como Lengua Extranjera y Filología Rusa. Área de especialización: estudios sobre métodos de enseñanza de la lengua y literatura rusa en la escuela superior, el ruso como lengua extranjera, el estudio del “texto del Cáucaso” de la literatura rusa contemporánea, así como la lengua rusa y la promoción de logros en la globalización contemporánea mundial, el fortalecimiento de las posiciones del idioma ruso como medio de diálogo intercultural e interétnico. Savchenko ha publicado artículos científicos en revistas académicas científicas rusas y extranjeras, que figuran en la base de datos internacional Scopus. Docente de Historia de la Literatura Rusa (Literatura Rusa Antigua, Literatura Rusa en los siglos XVIII-XIX), Estilística Teórica, Estilística Práctica y Edición en el Departamento de Arte Literario; así como Lengua Rusa, Lengua y Cultura del Habla Rusas, Literatura Rusa, Fundamentos de Guion y Dirección, Práctica Tecnológica de la Actividad Social y Cultural en la Educación Secundaria Profesional.

OLGA SHEVELEVA

Estudiante del segundo año del doctorado en la Universidad Estatal de Dubna (tesis doctoral: *Desarrollo de un sistema de gestión inteligente de competencias en el campo de las TI*). Magíster en Análisis y Gestión de Sistemas (ámbito de investigación: computación cognitiva y análisis de negocios), por la Universidad Estatal de Dubna (trabajo del fin de la maestría: *Desarrollo de la conciencia espacial de los estudiantes con el uso de tecnologías 3D*). Bachiller en Análisis y Gestión de Sistemas (ámbito de investigación: informática empresarial), por la Universidad Estatal de Dubna, región de Moscú, Rusia.

JOSÉ LUIS PONCE VERGARA

Candidato a doctor en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Nacional de Ingeniería. Magíster en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Nacional de Ingeniería. Ingeniero Industrial CIP de la Universidad Nacional de Ingeniería (primer puesto de la promoción “Waldo Rodríguez Franco”). Estudios de maestría en Telecomunicaciones. Desempeño en planeamiento y gestión de tecnología de información, modelamiento y desarrollo de sistemas

de información, así como administración de plataformas y *software* en importantes empresas privadas, tales como Grupo CARSA, Banco Wiese, IBM, Axxess Financial y Global Business Solutions. Cuenta con varias certificaciones internacionales de *software*, entre ellas las de IBM (RUP, SOA, Base de Datos), Oracle (Big Data, Cloud Computing, Base de Datos) e ISACA (Auditoría Informática). Profesor de pregrado y posgrado en la Universidad Nacional de Ingeniería y la Universidad Pedro Ruiz Gallo. Ha publicado artículos de investigación en congresos de la Universidad de Lima y la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

ALEXIA SHARIANN RÍOS ALARCÓN

Estudiante de la Carrera de Ingeniería de la Información en la Universidad del Pacífico.

CARLOS FELIPE MARIÑOS ORÉ

Estudiante del cuarto ciclo de la Carrera de Ingeniería de la Información en la Universidad del Pacífico.

ANDREA ISABEL NEPO GAMERO

Estudiante de la Carrera Ingeniería de la Información en la Universidad del Pacífico desde el año 2020. Estudiante a tiempo completo.

JUAN DAVID AMADO CÁRDENAS ZÚÑIGA

Estudiante del cuarto ciclo de la Carrera de Ingeniería de la Información en la Universidad del Pacífico. Áreas de investigación: *optimization methods*.

VÍCTOR ANDRÉS AYMA QUIRITA

Estudiante de un doctorado en la Pontificia Universidad Católica del Perú, magíster en Ingeniería Eléctrica por la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro (PUC-Rio). Graduado en Ingeniería Electrónica con énfasis en Telecomunicaciones en la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. De marzo a septiembre del 2014 fue investigador invitado en la Universidad de Extremadura en Cáceres, España, con desempeño en métodos de procesamiento y clasificación de imágenes hiperespectrales con *big data*. Revisor de varias revistas indexadas de alta calidad. Profesor en la Pontificia Universidad Católica del Perú y la Universidad del Pacífico. Áreas de investigación: procesamiento de imágenes digitales, detección remota, *big data*, computación en la nube, aprendizaje automático, computación de alto rendimiento, análisis de imágenes hiperespectrales de detección remota, procesamiento de señales, métodos de optimización, visión por computadora, reconocimiento de patrones, e implementaciones eficientes de problemas científicos de larga escala en arquitecturas informáticas de alto rendimiento, más específicamente, para aquellas implementadas en la nube.

MIGUEL ADOLFO RODRÍGUEZ CUADROS

Abogado fiscal por la Universidad de Lima, Perú, LL.M Taxation por la Freie Universität Berlin, Alemania y máster en Economía y Comercio Internacional por la Universidad de Berna, Suiza. Más de diez años de experiencia laboral en Cadena de Suministro Digital, Fiscalidad Digital, Fiscalidad Internacional y de Aduanas. Industrias de experiencia: consultoría, logística, ciencia vital, textil, calzado, minería agroindustrial, automovilística, joyería, salud del consumidor. Responsable de cumplimiento comercial y de cadena de suministros para las divisiones de consumo, productos farmacéuticos y dispositivos médicos en Johnson & Johnson Suiza.

JUAN CARLOS VALERO GÓMEZ

Ingeniero de Sistemas e Informática de profesión, con estudios en ciencias de datos, visión computacional, administración de sistemas operativos Linux, desarrollo de aplicaciones web tanto en *backend* y *frondend*.

ALEX PETER ZÚÑIGA INCALLA

Consultor y especialista en Ingeniería de Sistemas de Información con amplia experiencia en la gestión e implementación en modelamiento de procesos y datos estructurados y alto énfasis en el sector educativo para el servicio del sector público y privado. Actualmente, está especializándose en el rubro del procesamiento de imágenes y videos para ejercer la auditoría forense y peritaje informático. Ejerce la docencia universitaria desde el año 2002 en la Universidad José Carlos Mariátegui y desde el año 2008 en la Universidad Nacional de Moquegua y otras universidades de la Macro Región Sur.

JUAN CARLOS CLARES PERCA

Ingeniero en Informática y Sistemas, magíster en Administración de la Educación, actualmente docente en la Universidad Nacional de Moquegua.

JUAN VÍCTOR SANGUINETI VALDIVIA

Estudiante de la Carrera de Ingeniería de Sistemas en la Universidad de Lima. Áreas de interés: investigación centrada en *machine learning* y sus diferentes aplicaciones.

POOL JONATHAN RAMOS RAMOS

Egresado de la Maestría en Ingeniería de Sistemas e Informática con mención en Ingeniería de *Software* por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Bachiller en Ingeniería de Sistemas e Informática por la Universidad Alas Peruanas. Temas de investigación: desarrollo de *software* y la inteligencia artificial.

MARCELO JOSÉ INOCENTE CORNEJO

Egresado de la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Lima. Desempeño en el área de Ingeniería de *Software* (2019), especializado en el desarrollo web. Áreas de interés: tecnologías disruptivas, como el aprendizaje de máquina, en específico el área de aprendizaje por refuerzo.

CARLA VALERIA RUCOBA CALDERÓN

Egresada de Ingeniería de Sistemas por la Universidad de Lima. Asistente comercial de la compañía Interseguro. Áreas de interés: desarrollo de soluciones tecnológicas para mejorar la gestión.

GINO LUIS CHÁVEZ PAJUELO

Egresado de la Maestría en Ingeniería de *Software* por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Bachiller en Ingeniería de Sistemas e Informática por la Universidad Nacional de Ucayali, Ucayali, Perú. Área de investigación: tecnología *blockchain* y la aplicación de esta a la agricultura y el comercio internacional. Consultor *senior* en desarrollo de *software* para instituciones del Gobierno de Perú y la empresa privada.

JOHN WILSON LÓPEZ VEGA

Estudiante de posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en la especialidad de Maestría en Ingeniería de Sistemas e Informática con mención en Ingeniería de *Software*. Egresado en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. *Analyst software engineer* en el Banco BBVA (Perú), desarrolla aplicaciones para la banca empresarial. Áreas de interés: tecnologías que abordan la ingeniería de *software*, así como los algoritmos de computación como el *machine learning*.

JUAN CARLOS TORRES LÁZARO

Candidato a magíster en Geología, mención Geotecnia por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Obtuvo el título de ingeniero geólogo (2011) y bachiller (1998) en Ingeniería Geológica en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Evaluador del riesgo de desastres originados por fenómenos naturales, reconocido por Cenepred (2018) y exalumno del Taller de Preparación para la Certificación Project Management Professional, PMP (2015). Subdirector de Riesgos Asociados a Glaciares del INAIGEM, coinvestigador científico y formulador del proyecto de investigación “Lagunas de origen glaciar en el Perú: evolución, peligros e impactos del cambio climático, GLOP”. Con estudios e investigaciones orientados a conocer y entender la peligrosidad de las lagunas glaciares en los Andes peruanos y sus impactos mediante el análisis de la susceptibilidad temporal y espacial de dichas lagunas

y de la susceptibilidad a la condición climática, considerando el actual escenario del cambio climático. Líder de la línea de investigación sobre los peligros asociados a los glaciares tropicales de los Andes peruanos.

JOSÉ HERRERA QUISPE

Doctor en Ciencia de la Computación por la UNSA con BECA CONCYTEC y pasantía de formación en el LMTG de la Universidad Paul Sabatier de Francia. Miembro del programa de profesionalización del MIT (Massachusetts Institute of Technology, USA) en Innovación y Tecnología; exalumno del Mastering in Design Thinking. Líneas de investigación: la inteligencia artificial, la minería de datos y la computación aplicada al medio ambiente. Exdirector de investigación en la UNSA. Creador, en convenio con CONCYTEC, de la marca UNSA-Investiga. Excoordinador del programa de Maestría en Informática financiado por CIENCIAACTIVA y profesor de la escuela de Ciencias de la Computación, la primera acreditada por ICACIT en el área. Logro: el manejo de fondos canon y su impacto en el aumento de la producción científica. Coordinador del programa de maestría, logró la sustentación del 100 % de los alumnos con un artículo en una revista indexada. Profesor principal en la UNMSM.

LEONARDO PATRICK LUNA PALOMINO

Egresado de la Carrera de Ingeniería de Sistemas en la Universidad de Lima (2016-2021). Se ha desenvuelto en el área de Ingeniería de *Software*, trabajando en diversos proyectos. Áreas de interés: las tecnologías móviles, especialmente en el desarrollo de *apps* móviles para la plataforma de iOS.

HUGO HERRERA MONJE

Ingeniero de sistemas con estudios de Maestría en Ingeniería de Sistemas en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Áreas de interés: inteligencia artificial, desarrollo de chatbot y desarrollo de *software*.

LUIS GIANCARLO SÁNCHEZ HUAMÁN

Egresado de la Universidad de Lima, de la Carrera de Ingeniería de Sistemas. Exalumno de la Universidad de Lima (2016-2021). Exmiembro del laboratorio SAP NEXT GEN de la Universidad de Lima (marzo 2020-mayo 2021), Corporación Sapia (junio 2021-septiembre 2021). Desempeño en la consultora Cognitiva (desde octubre del 2021 a la fecha).



UNIVERSIDAD
DE LIMA

La cuarta edición del Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas (CIIS 2021) gira en torno a los nuevos desafíos de la sociedad digital en estos tiempos de cambios e incertidumbres, pero también de oportunidades. Sus conferencias magistrales y ponencias presentan trabajos innovadores en los que confluyen la tecnología, las capacidades de investigación y el conocimiento de las demandas del contexto para generar productos científicos de trascendencia social.

Especialistas de diversas instituciones presentan soluciones de tecnología enfocadas en aspectos críticos para nuestra sociedad, como los sectores de salud, educación, economía, derecho y la propia tecnología. En los pósteres, los alumnos expusieron temas relacionados con el uso de técnicas de aprendizaje automático, aprendizaje por refuerzo, visión computacional y sistemas expertos.

Debido a la pandemia por el COVID-19, todas las sesiones del congreso se llevaron a cabo de forma virtual. Agradecemos a los docentes, alumnos y personal administrativo de la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Lima por su colaboración en la realización de este evento.